



Éléments de géomatique

Observation de la
Terre
Devis TUIA

EPFL, semestre de
printemps 2025

L'observation de la Terre, c'est quoi?

Observation à large échelle



L'observation de la Terre, c'est quoi?

La très haute résolution



L'observation de la Terre, c'est quoi?

Les séries temporelles



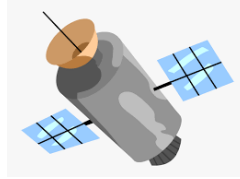
L'observation de la Terre, c'est quoi?

Les capteurs actifs (ici le LiDAR)



- Nous allons voir des notions de base en Observation de la Terre
- On ne parlera pas de design de capteurs
- On se focalisera sur les principes de la télédétection **optique**
 - Intéressés à d'autres planètes? → mineur en Space Technologies (Master)
 - Intéressés à la télédétection radar? → cours bachelor ENV-341
 - Intéressés à la photogrammétrie? → cours bachelor ENV-241 , cours master ENV-542
 - Intéressés au machine learning → cours master ENV-540 (avec moi 😊)

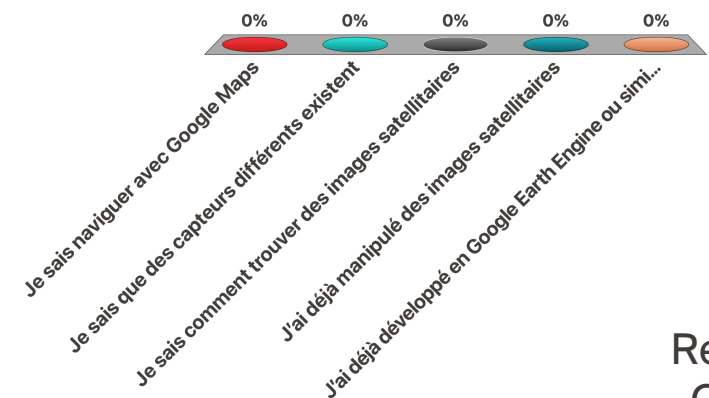
Vous et les images satellitaires



URL: tppoll.eu

Session ID: **EG2025td**

- A. Je sais naviguer avec Google Maps
- B. Je sais que des capteurs différents existent
- C. Je sais comment trouver des images satellitaires
- D. J'ai déjà manipulé des images satellitaires
- E. J'ai déjà développé en Google Earth Engine ou similaire



Response
Counter

C'est quoi, l'observation de la Terre?

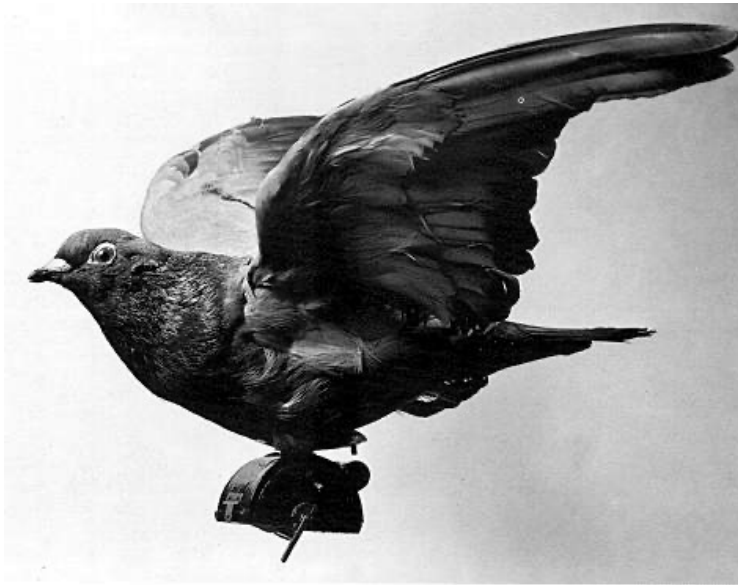
Un peu d'histoire

1858: Premières images aériennes par Gasper Felix Tournachon
"Nadar"



Un peu d'histoire

1902-1914: images aériennes par le Bavarian Pigeon Corps



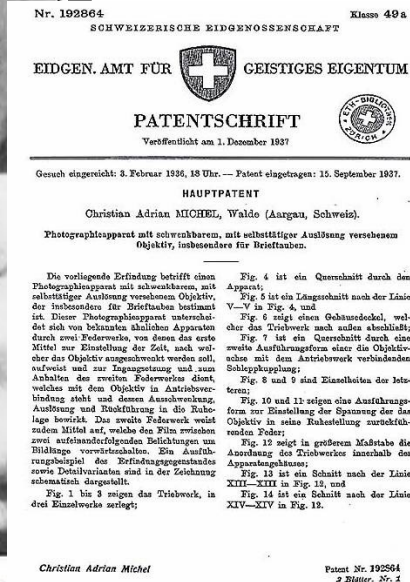
Un peu d'histoire

1902-1914: images aériennes par le Bavarian Pigeon Corps

In pictures: World's hero pets

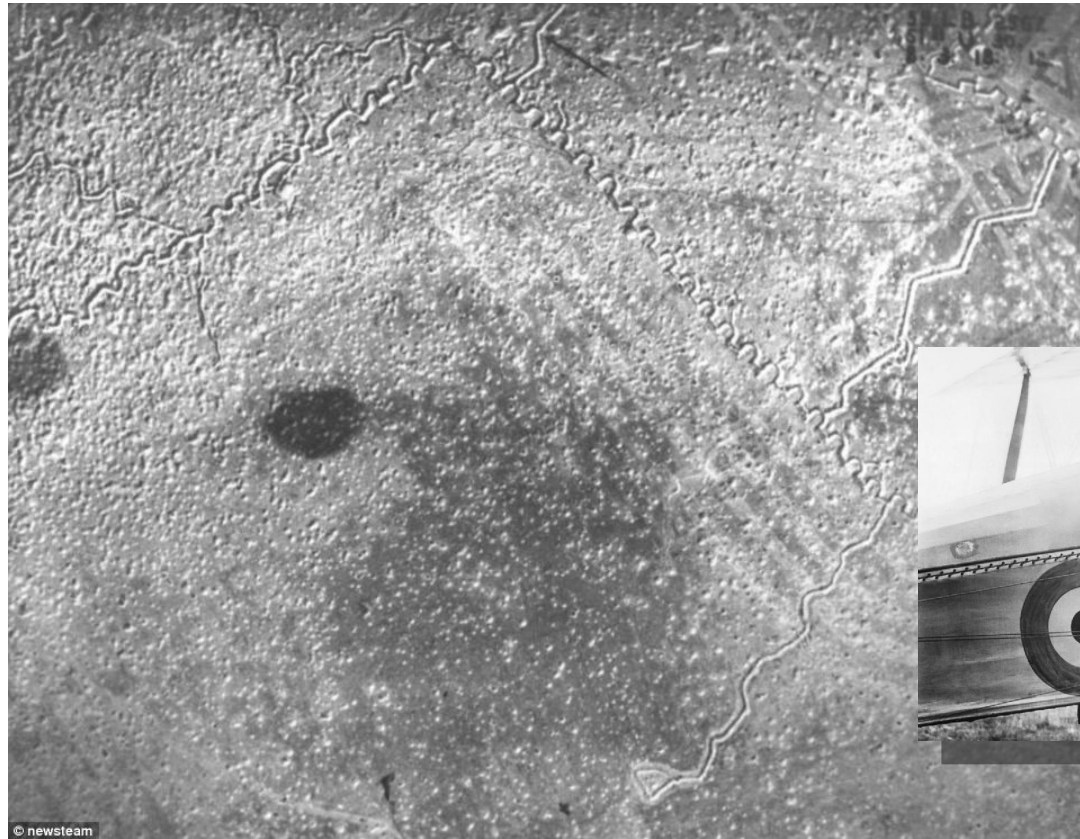


Other animals not buried at Ilford but which have received the Dickin medal include GI Joe, a pigeon which prevented troops in an Italian village from becoming victims of 'friendly fire'.



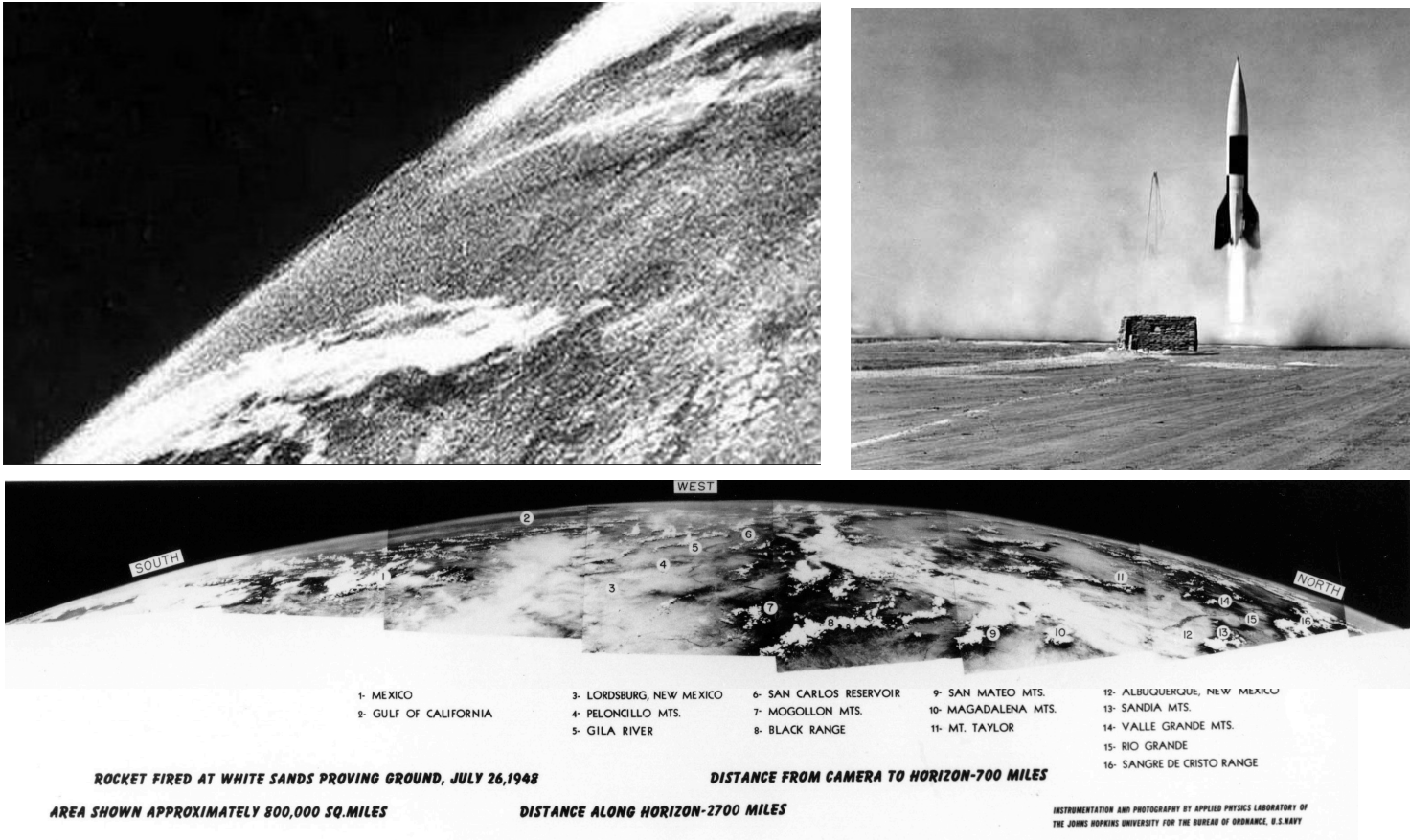
Un peu d'histoire

1914-1918: images aériennes militaires pendant la WWI



Un peu d'histoire

1946: premières images depuis l'espace



Un peu d'histoire

1960: militaires, 2000s commerciales



Keyhole satellite



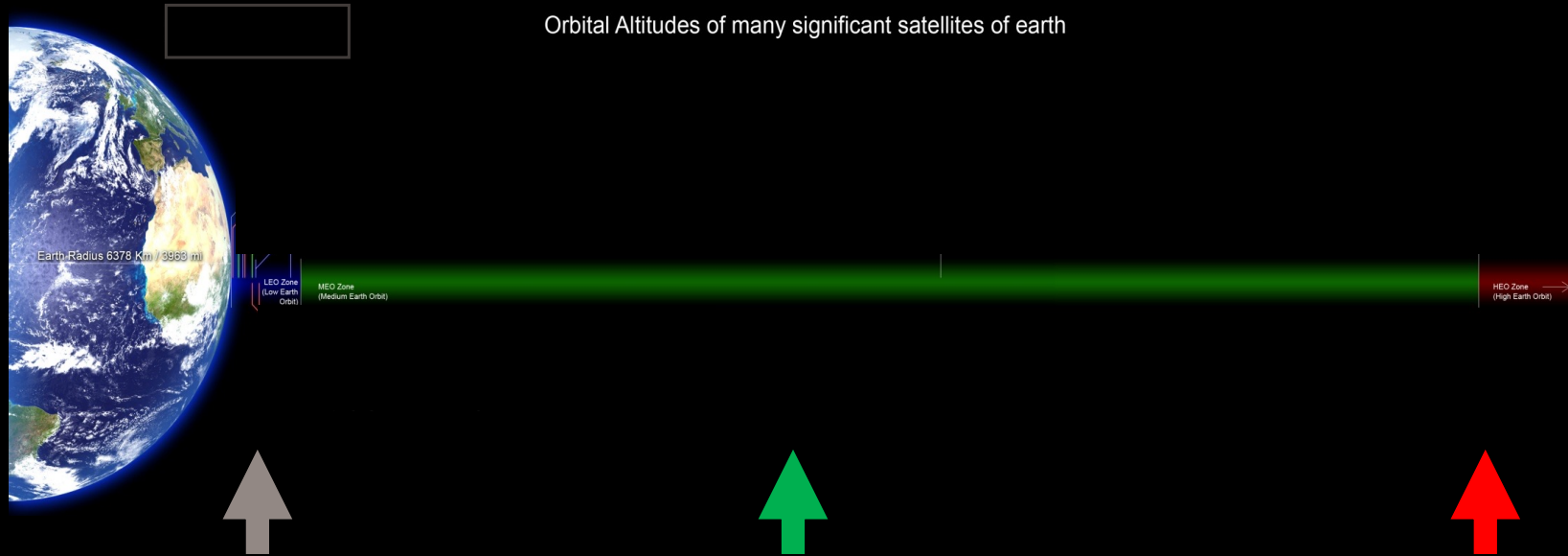
Quickbird satellite

La place de l'observation de la Terre dans le système solaire proche





Orbital Altitudes of many significant satellites of earth



< 2'000 KM
ORBITE TERRESTRE
BASSE

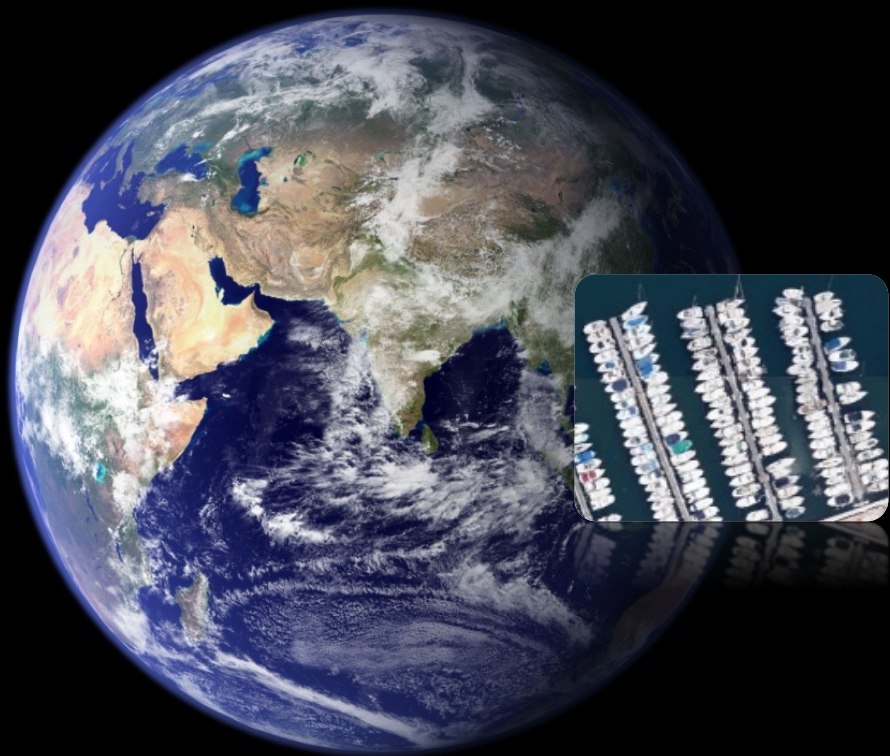


ORBITE TERRESTRE
MOYENNE

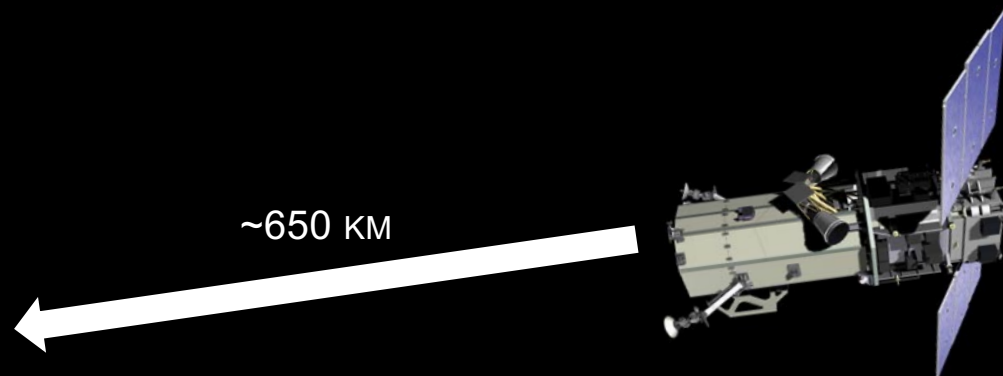


> 36'000 KM
ORBITE TERRESTRE
HAUTE (SATELLITES
GEO-STATIONNAIRES)



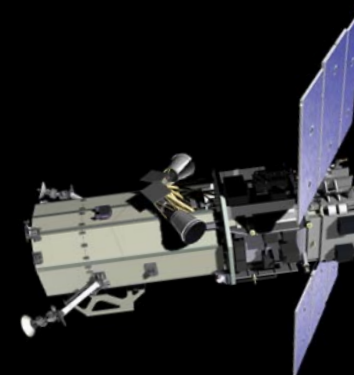
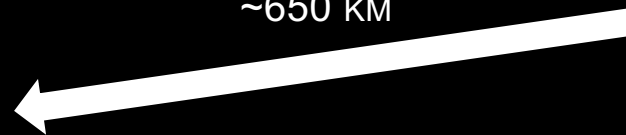


~650 KM





~650 KM

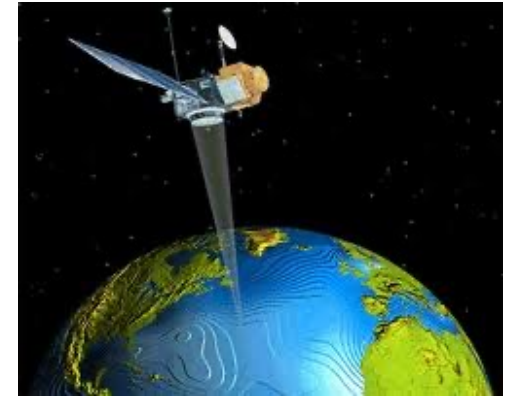


~650 KM



Observation de la Terre

- Dans ce cours, on se limitera aux capteurs digitaux (satellites, sur avion ou drone)
- Ces capteurs enregistrent l'énergie électromagnétique réfléchie (ou émise) par les surfaces.



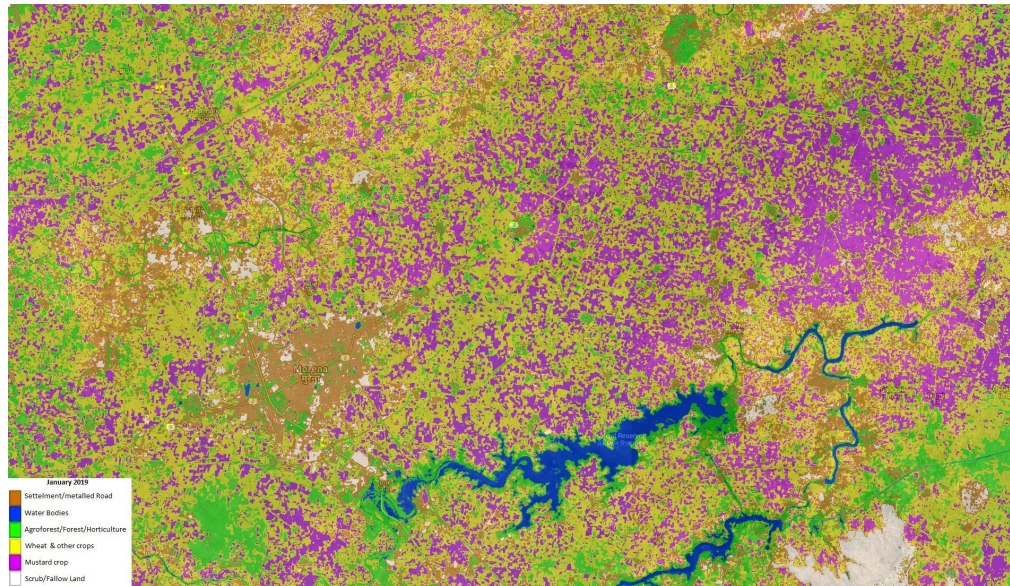
Observation de la Terre

- On utilise l'observation de la Terre pour
 - Monitorer et modéliser les processus à la surface
 - Estimer quantitativement des paramètres géo-bio-physiques
 - Identifier des matériaux
 - Identifier et tracker les changements

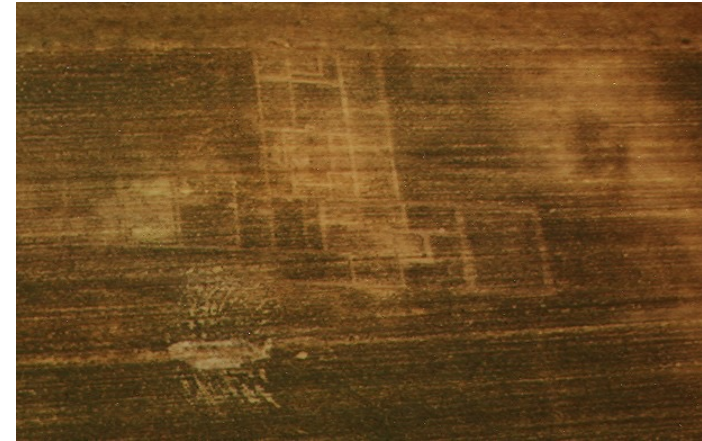
Observation de la Terre

- C'est important pour une grande quantité de domaines!
 - Géologie, géomorphologie (identification des minéraux, glissements)
 - Topographie, cartographie (cartes thématiques, utilisation du sol)
 - Agriculture (monitoring des cultures, phénologie, estimation des récoltes)
 - Foresterie (cartographie des arbres, de leur taille, biomasse)
 - Hydrologie (détecter les inondations, qualité de l'eau)
 - Science de la cryosphère (mapping de glacier, épaisseur de la glace)
 - Planification (reconstruction en 3D, scénarios)
 - Science forensique (preuves, reconstruction 3D de scènes de crime)
 - Assurances (estimation de dommages, vérification de plaintes)
 - ...

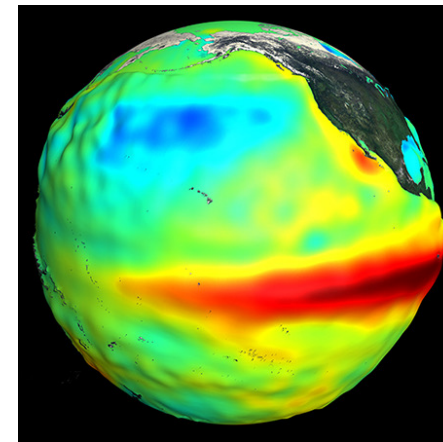
Observation de la Terre



Cultures dans le Madya Pradesh



Archéologie



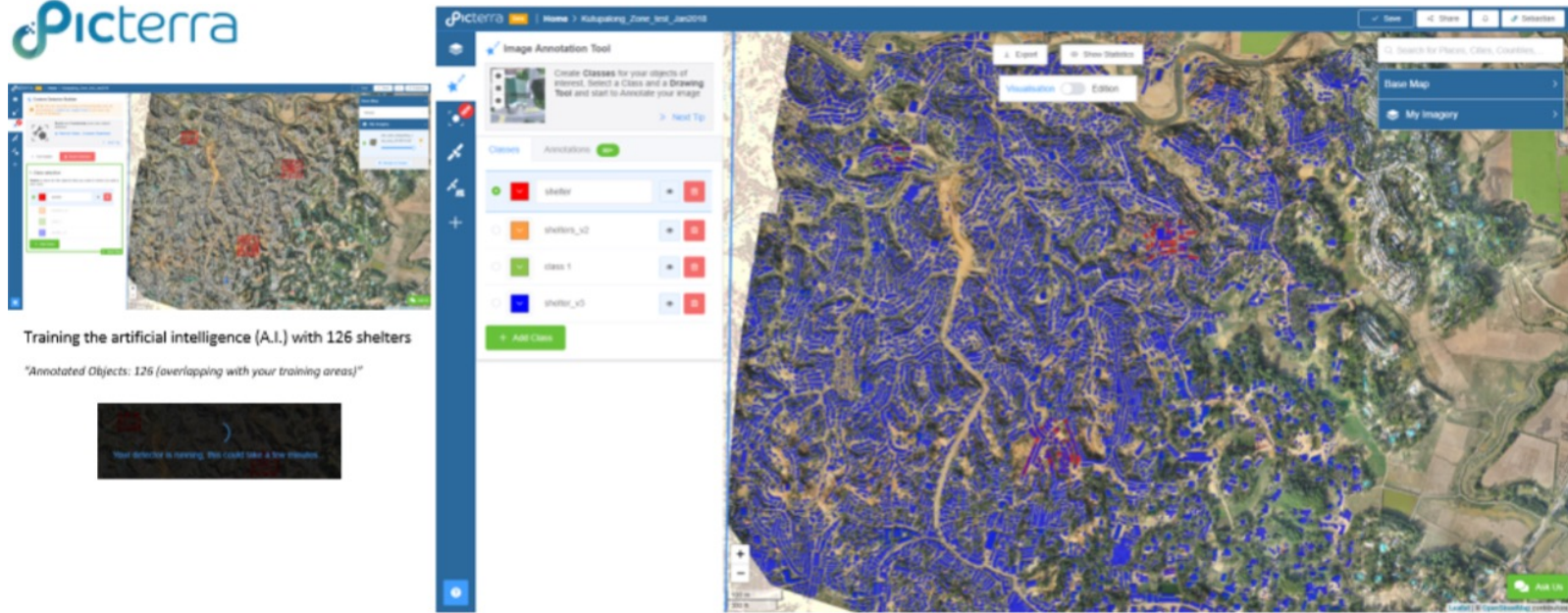
Température de la surface de l'eau (el Niño)

Observation de la Terre

USE OF DRONES AND GIS TO SUPPORT
ROHINGYA REFUGEE EMERGENCY RESPONSE IN COX'S BAZAR, BANGLADESH

Artificial intelligence and machine learning based on UAV (drone) imagery

Picterra



Training the artificial intelligence (A.I.) with 126 shelters

"Annotated Objects: 126 (overlapping with your training areas)"

Picterra A.I. platform detected automatically more than 26.000 shelters inside the 2.5km² test area.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR MIGRATION - JANUARY 2019

Traitement d'image pour l'observation de la Terre

Traitement d'image pour l'observation de la Terre

Tacloban airport damaged by Yolanda (Photo credits: sunstar.com.ph)



De l'évènement
physique

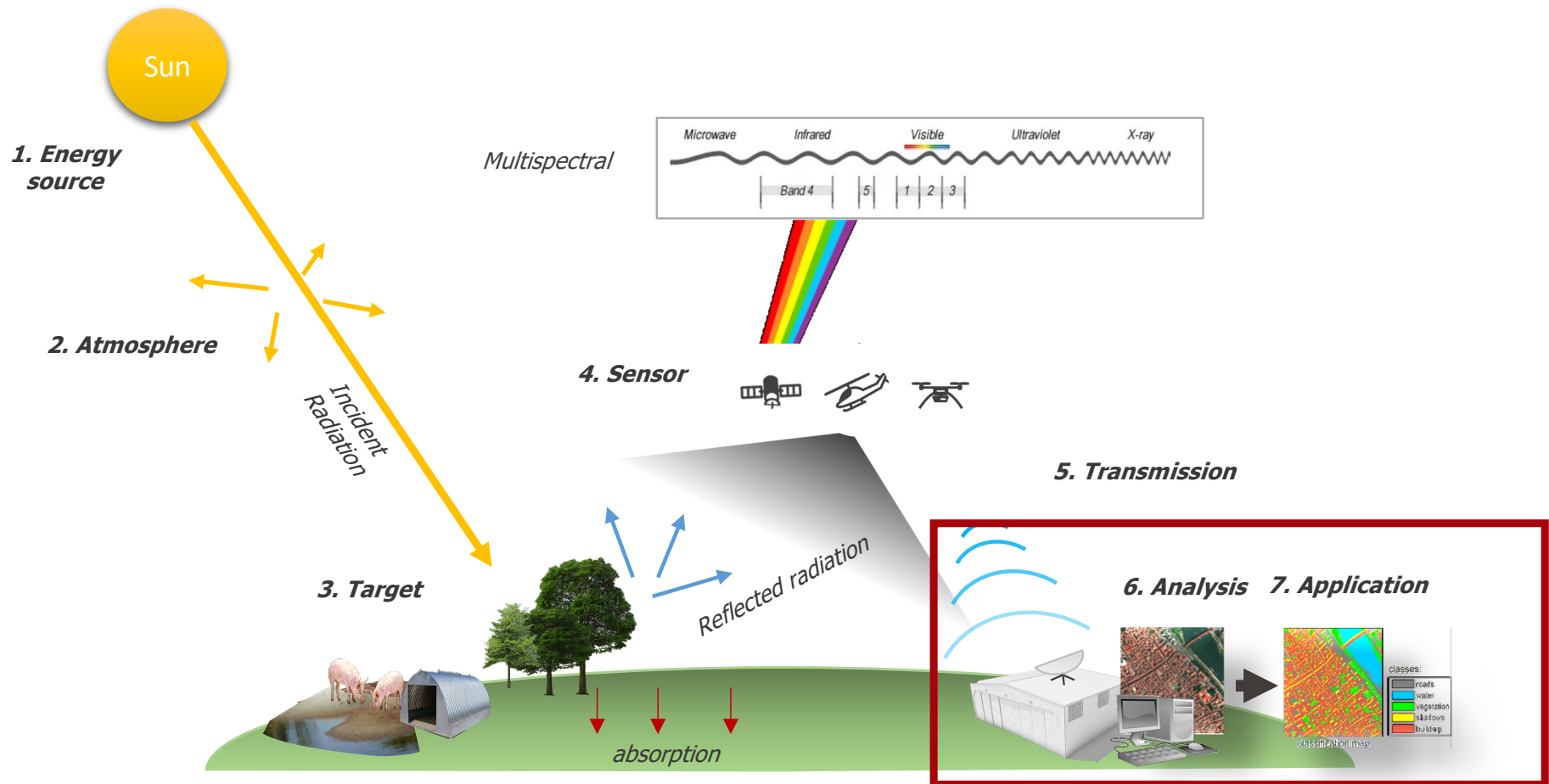


À la cartographie de situation



Source: Worldview3, Digital Globe

Etapes de création d'image

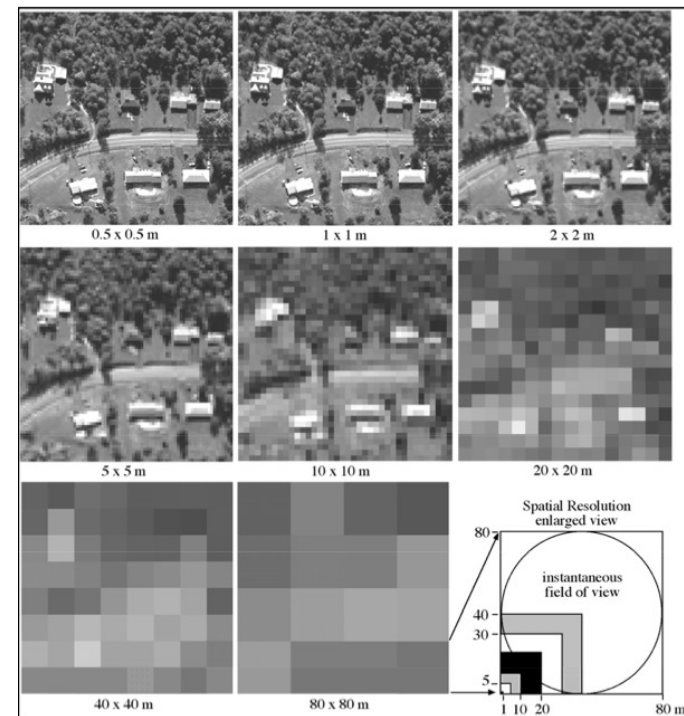


La résolution des images

- Il y a quatre types de résolution
 - Spatiale
 - Spectrale
 - Radiométrique
 - Temporelle

Résolution spatiale

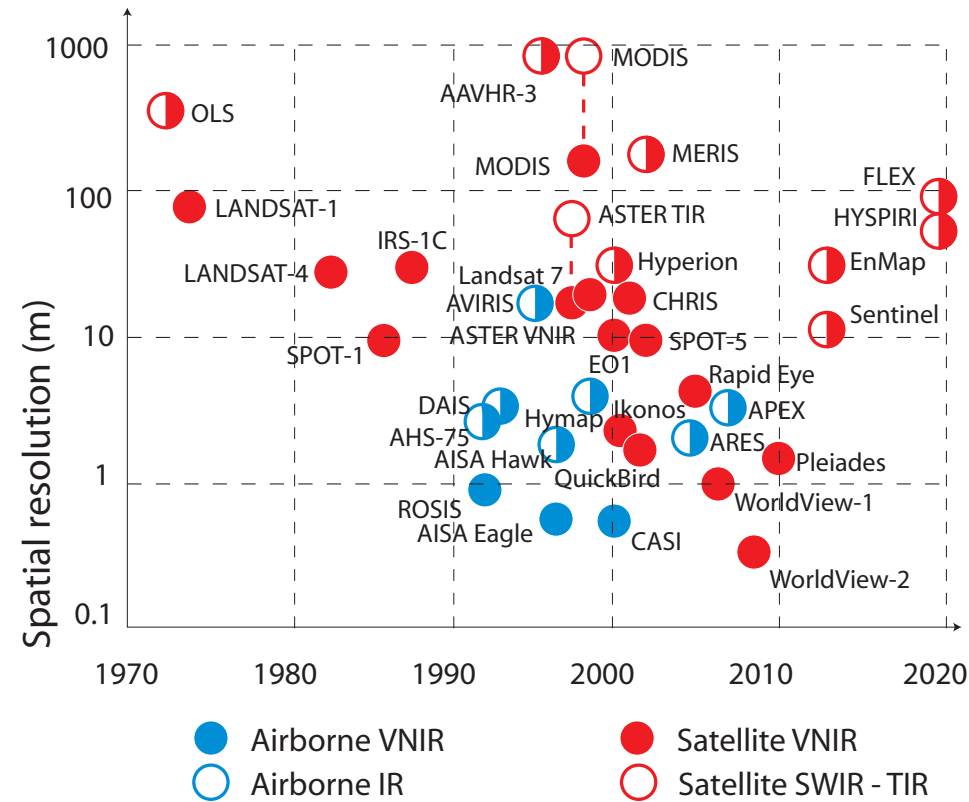
- En gros, la taille des pixels à terre.
- Elle évolue avec les avancées technologiques
- Haute résolution spatiale = pixels qui couvrent des petites surfaces



[Source: Jensen]

Résolution spatiale

VNIR = visible et proche infrarouge
 SWIR = infrarouge à ondes courtes
 TIR = infrarouge thermique

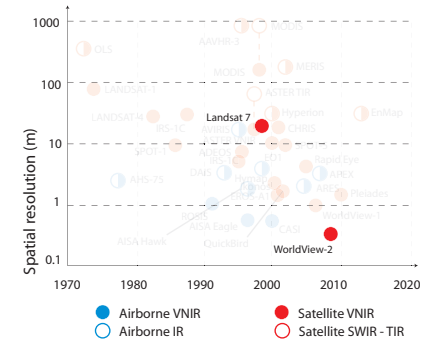


Evolution de la résolution spatiale

Landsat 7 (ETM+), 2000, 30m



WorldView II, 2009, 0.5m

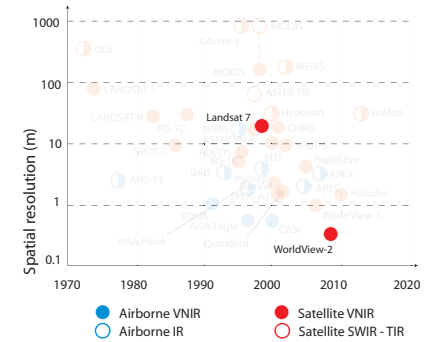
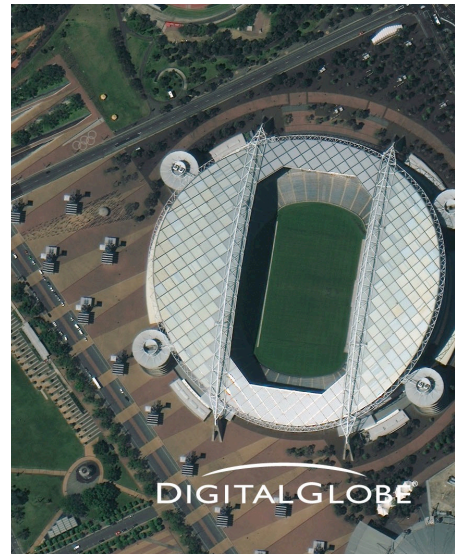


Evolution de la résolution spatiale

Landsat 7 (ETM+), 2000, 30m



WorldView II, 2009, 0.5m

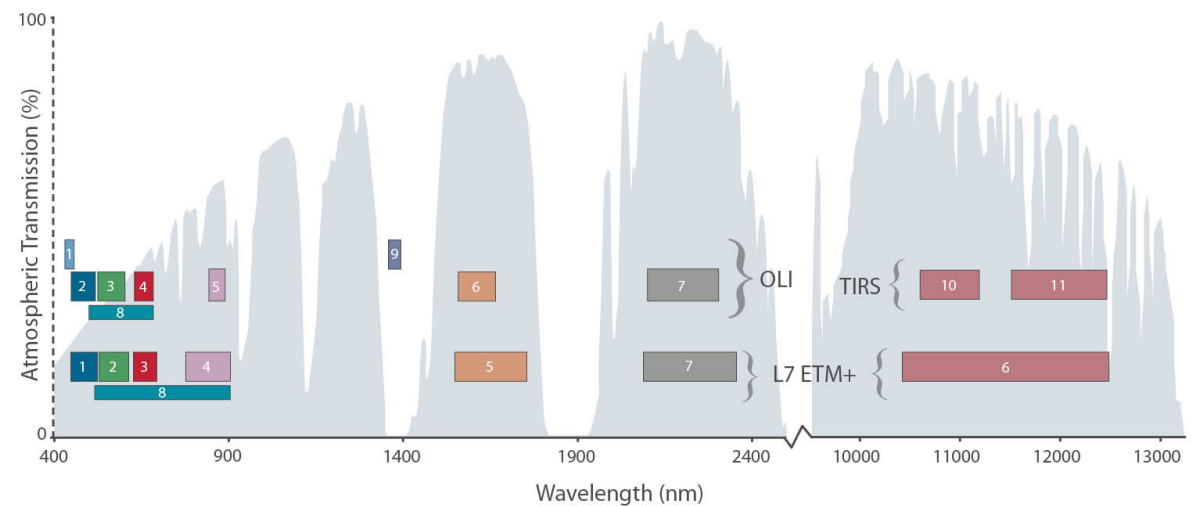


Résolution spectrale: bandes spectrales

- Une bande est une image couvrant l'énergie réfléchiée dans des fréquences spécifiques du spectre électromagnétique
- C'est une intégration sur ces fréquences

- Ex:

- Landsat 7 (L7)
- Landsat 8 (OLI+TIRS)



[Source: NASA]

Résolution spectrale: bandes spectrales

- Les bandes spectrales peuvent être de
 - Basse résolution spatiale, mais haute résolution spectrale
 - capteurs multispectraux (dizaines de bandes, larges),
 - capteurs hyperspectraux (centaines de bandes, étroites)
 - Basse résolution spectrale, mais haute résolution spatiale
 - bande panchromatique
- Ceci est dû à
 - Contraintes techniques de l'optique (bandes spectralement plus larges ou moindre résolution pour collecter plus de photons)
 - Besoins en stockage de données
 - Les capteurs aéroportés peuvent avoir les deux (ils couvrent des régions moins étendues)

Panchromatique vs multispectrale

panchromatique

multispectrale



[Source: Fonseca et al., Image fusion and its applications]

Panchromatique vs multispectrale

panchromatique



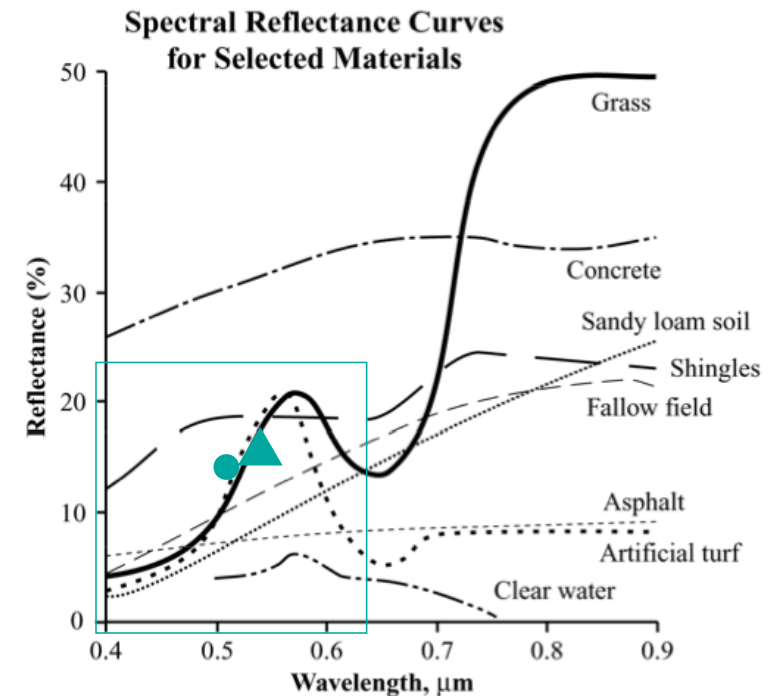
multispectrale



[Source: Fonseca et al., Image fusion and its applications]

Signatures spectrales

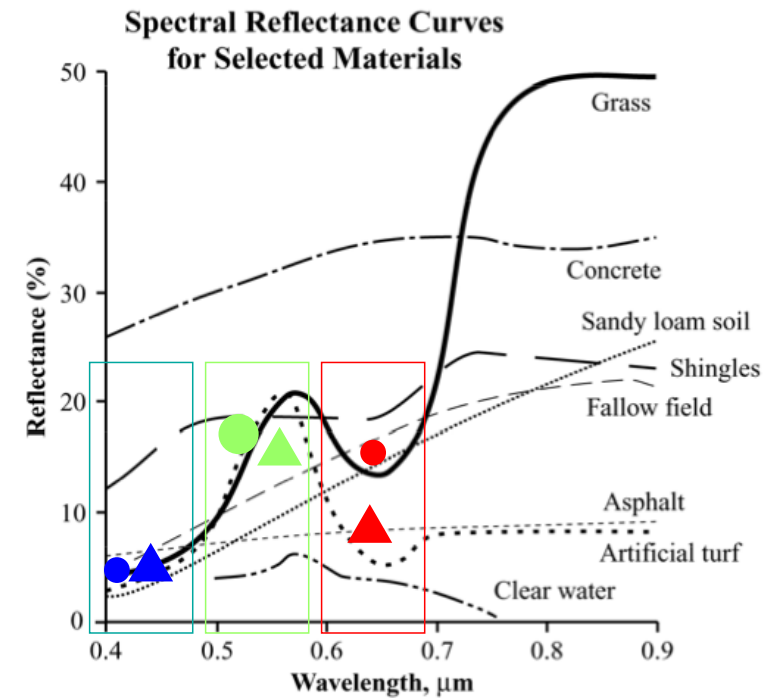
- Les matériaux qui composent un pixel réfléchissent la lumière d'une manière spécifique, une signature spectrale.
- Les bandes sont des discrétisations de cette signature: 1 bande, 1 valeur
- Ex1: herbe vs asphalte
● ▲
- Panchromatique: ~même valeur!



[Source: Jensen 2005]

Signatures spectrales

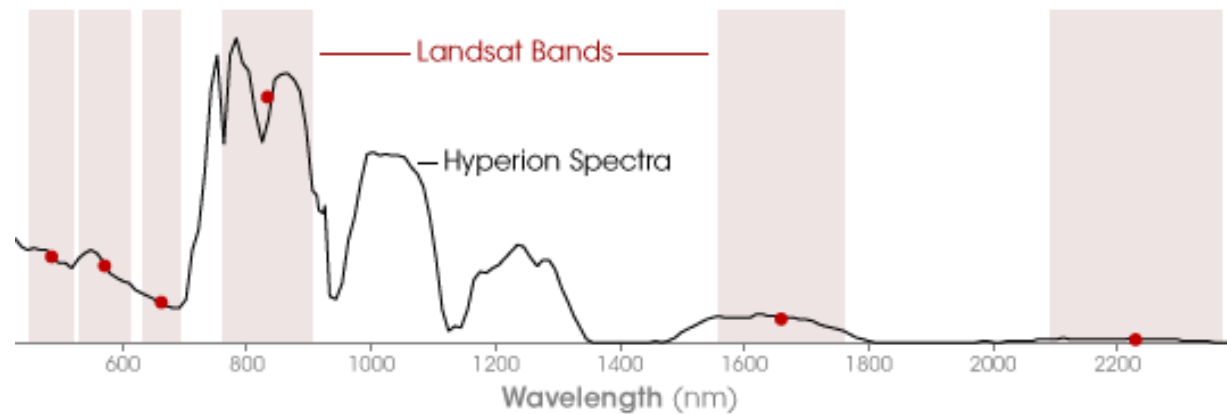
- Les matériaux qui composent un pixel réfléchissent la lumière d'une manière spécifique, une signature spectrale.
- Les bandes sont des discrétisations de cette signature: 1 bande, 1 valeur
- Ex1: herbe vs asphalte
- Multispectrale: valeurs différentes!



[Source: Jensen 2005]

Résolution spectrale: bandes spectrales

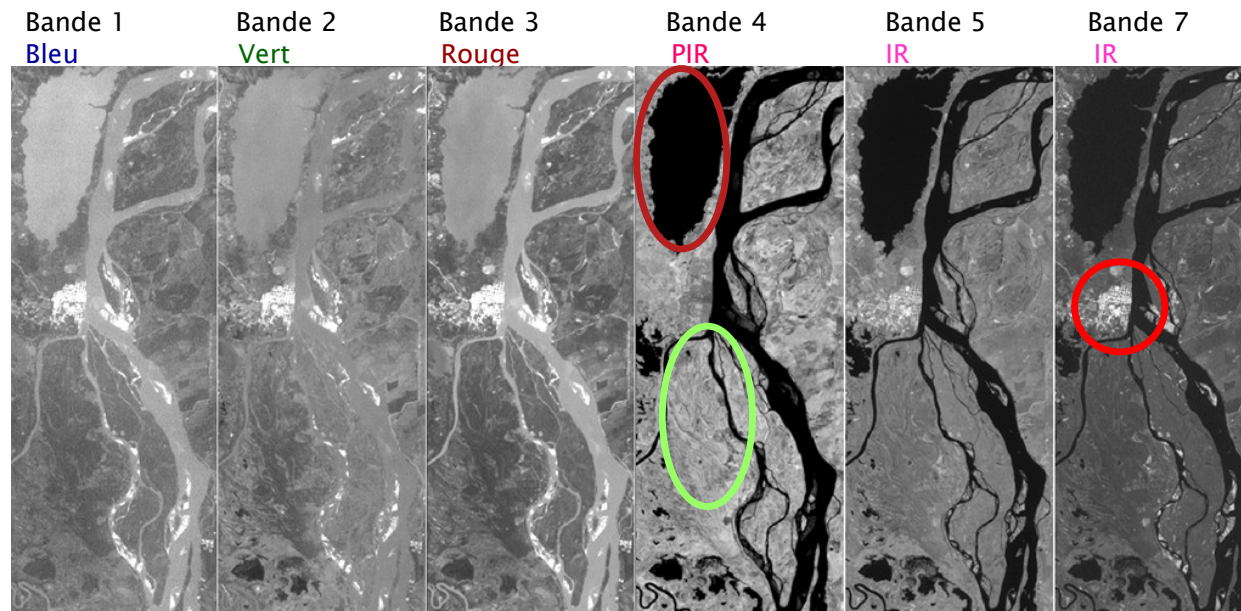
- 1 bande, 1 valeur par pixel
- Chaque pixel a autant de valeurs que de bandes spectrales



earthobservatory.nasa.gov

Résolution spectrale: bandes spectrales

- 1 bande, 1 valeur par pixel
- Chaque pixel a autant de valeurs que de bandes spectrales

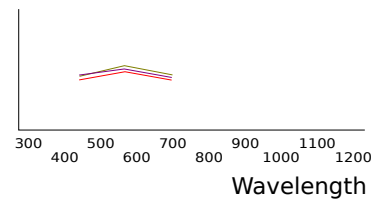


LANDSAT ETM+ 7

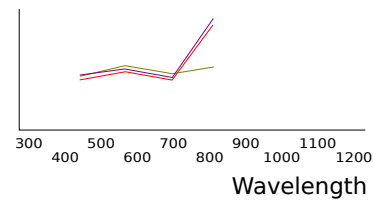
Résolution spectrale.

Chaque caméra a des fonctions différentes

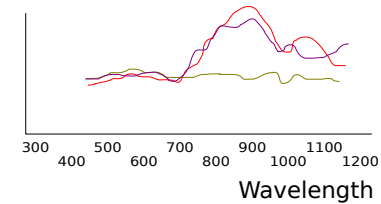
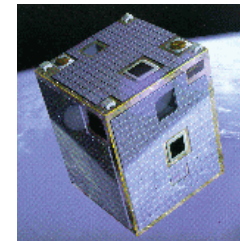
Digital camera



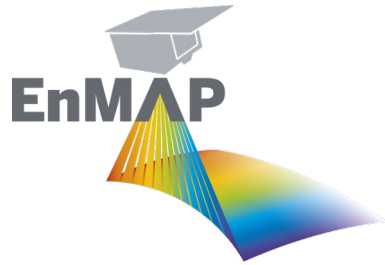
Multispectral



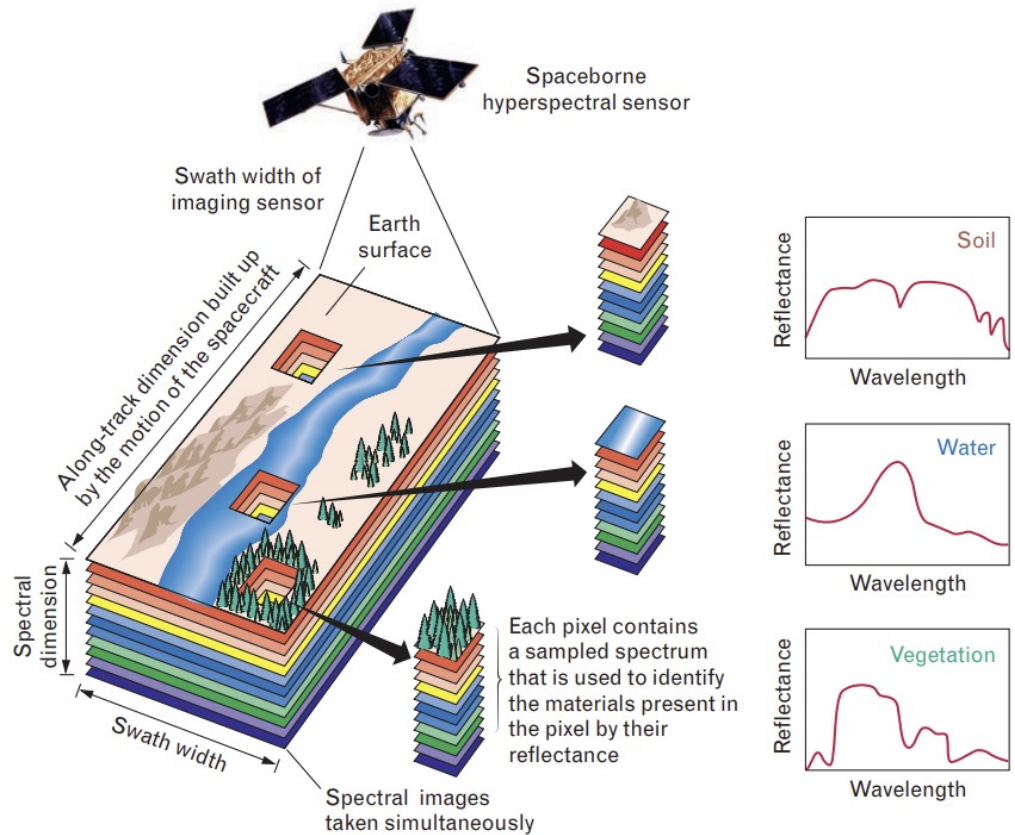
Hyperspectral



Satellites hyperspectraux



<https://www.enmap.org>

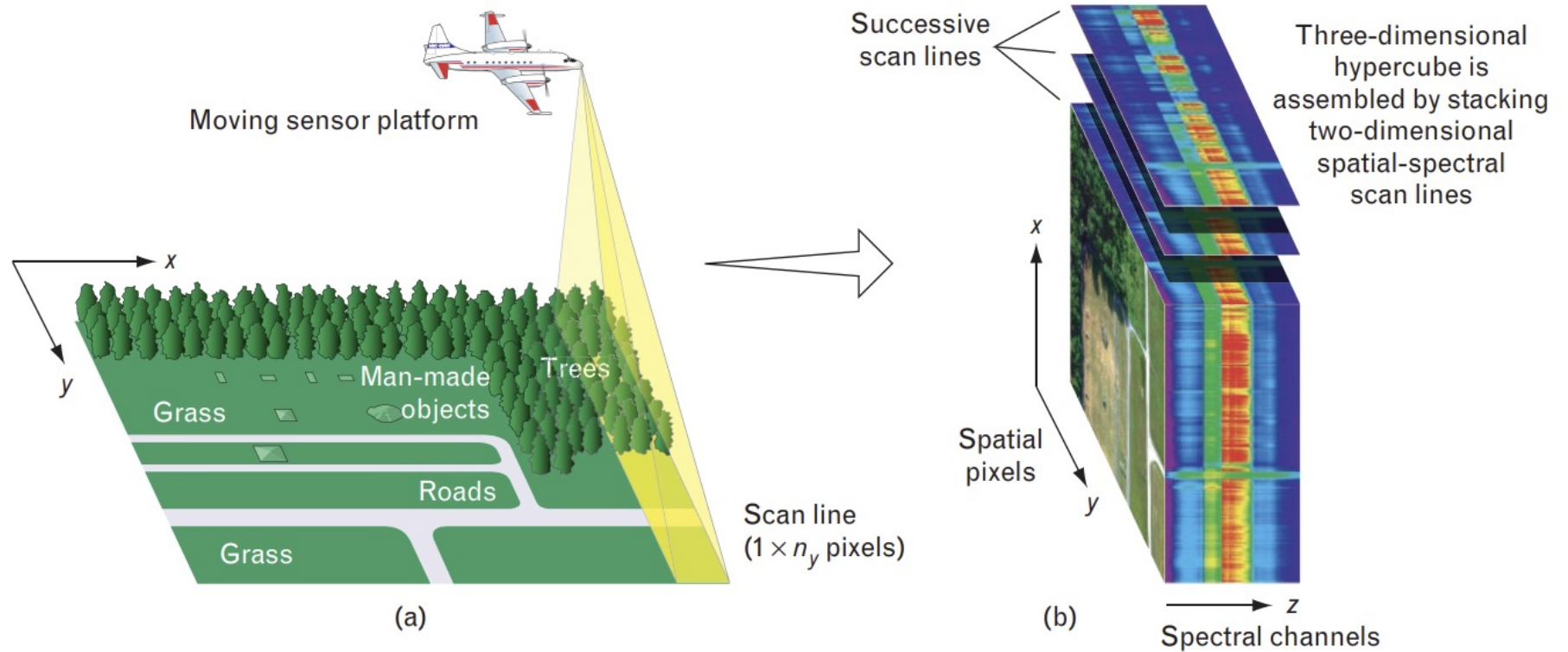


Source: <https://www.eoportal.org/other-space-activities/hyperspectral-imaging>

Cameras hyperspectrales aeroportées

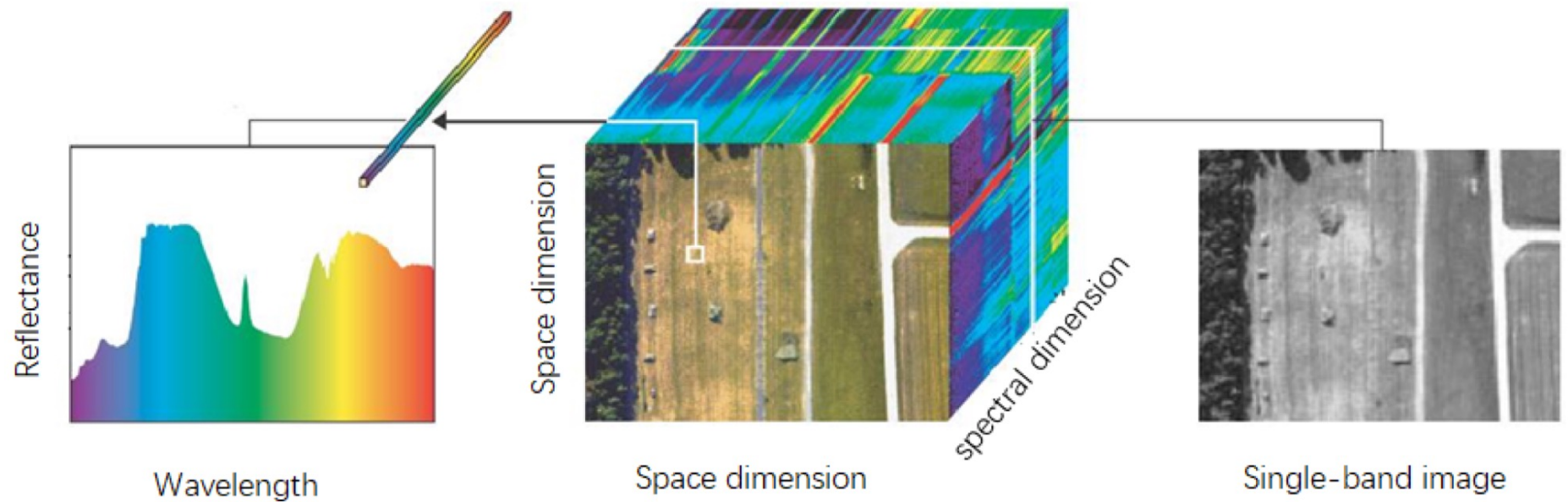


neon
Operated by Battelle



Source: <https://www.eoportal.org/other-space-activities/hyperspectral-imaging>

Cameras hyperspectrales aéroportées

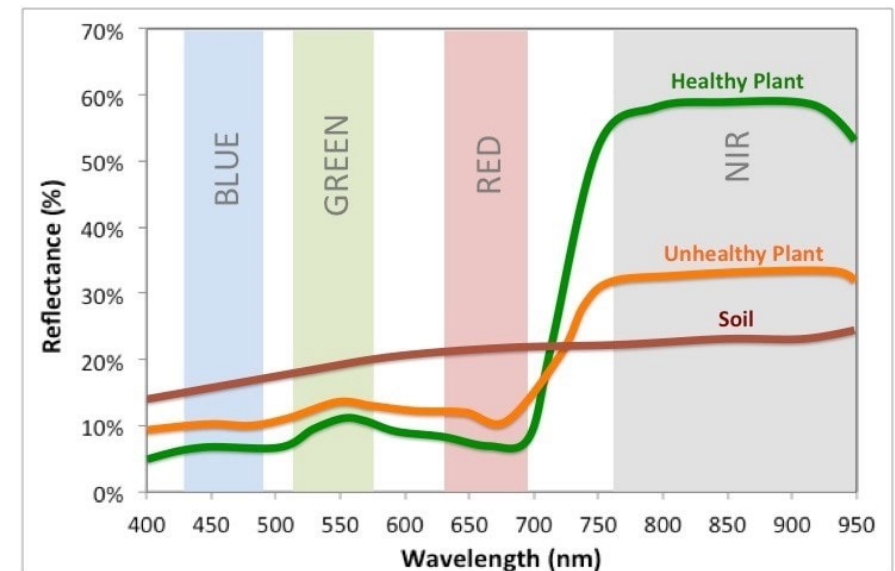


Source: <https://www.eoportal.org/other-space-activities/hyperspectral-imaging>

Un exemple de ce que multiples bandes apportent: le NDVI

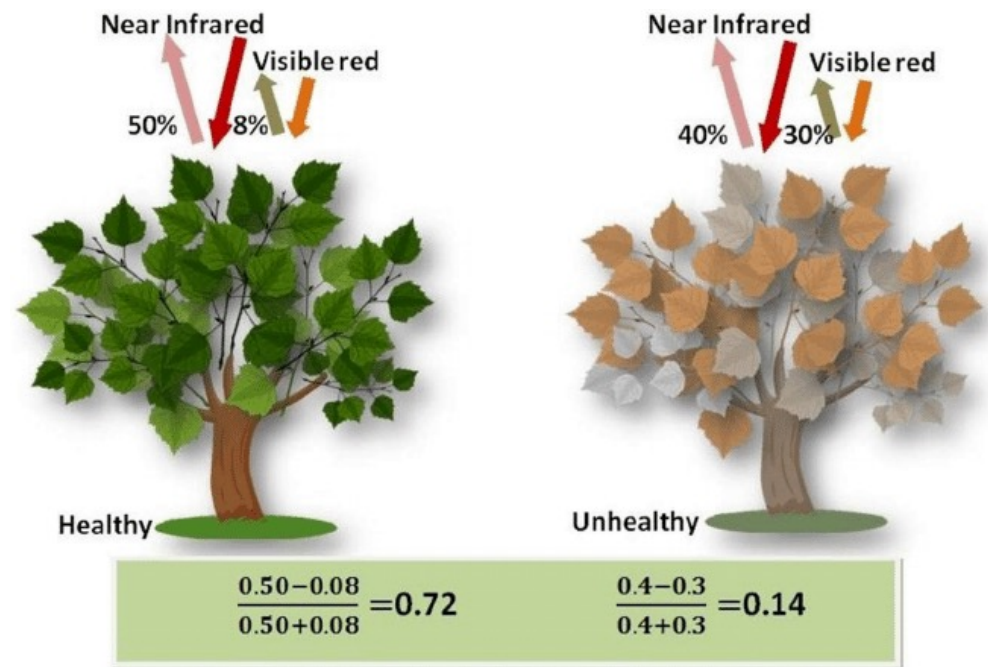
- Index normalisé de végétation
- Il exploite la différence en réflectivité des bandes rouge et proche infrarouge
- La végétation saine est réflective dans le proche infrarouge, mais pas dans le rouge
- En théorie entre $[-1;1]$,
- Le plus souvent entre $[-0.5;0.5]$

$$NDVI = \frac{x_i^{(NIR)} - x_i^{(R)}}{x_i^{(NIR)} + x_i^{(R)}}$$



Vegetation indices: NDVI

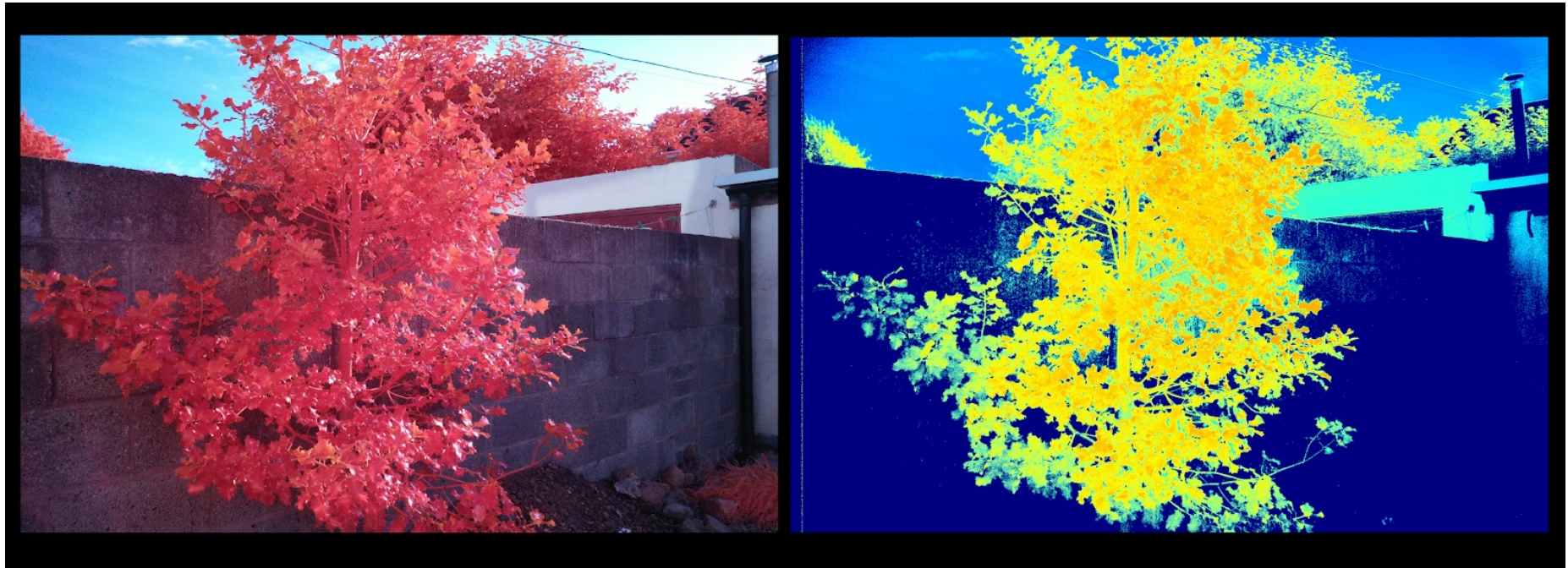
- Le NDVI est utilisé pour analyser la santé des plantes
- Les plantes en bonne santé ont un NDVI plus haut
 - Une plante pas saine remplace la chlorophylle par les caroténoïdes
 - Sans chlorophylle, les plantes réfléchissent plus dans le rouge (le NDVI décroît)



NDVI: examples

(NIR)RG

NDVI



<http://muonray.blogspot.com/2019/07/ndvi-vegetation-mapping-project-with.html>

Résolution spectrale composition de bandes

- Une bande correspond à une fréquence, pas à une couleur!
- Les canaux de votre écran \neq bandes !
- Pour obtenir une image en vraies couleurs:
 - Bande rouge au canal rouge de l'écran
 - Bande verte au canal vert de l'écran
 - Bande bleue au canal bleu de l'écran

Résolution spectrale composition de bandes

Composition dans
le visible



Résolution spectrale composition de bandes... en changeant l'ordre

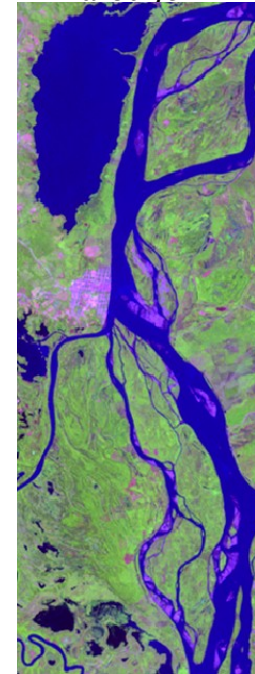
Composition dans
le visible



Composition dans
le visible et le PIR



Composition dans
l'infrarouge



Abram Pointet, février 2009

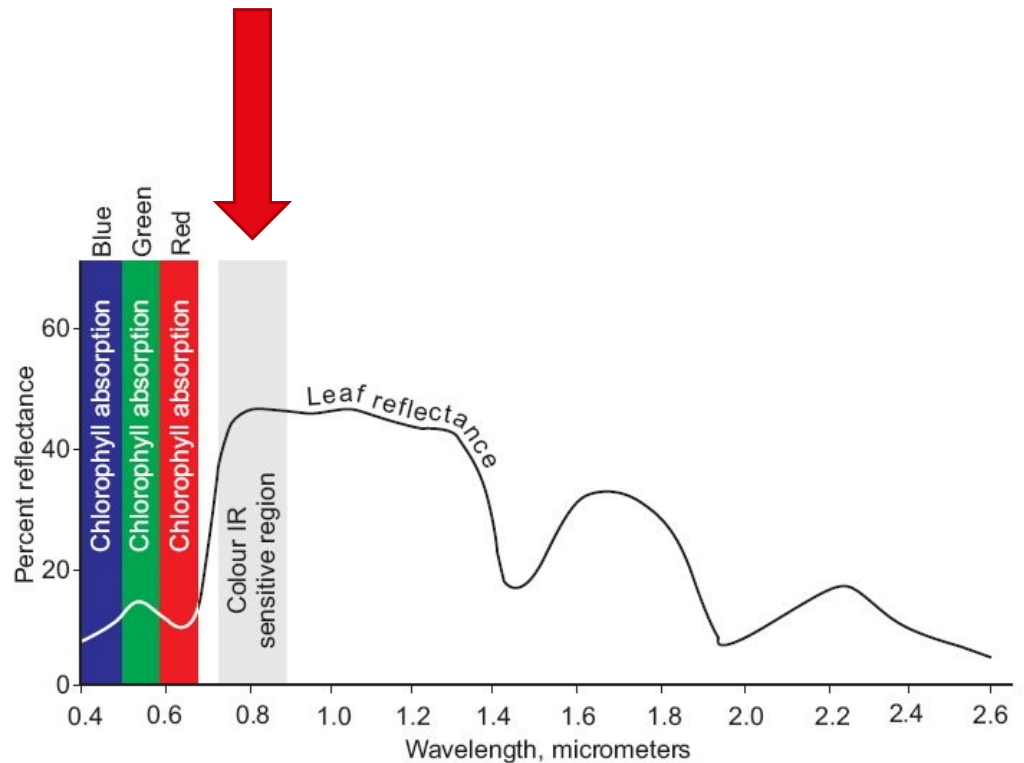
Résolution spectrale composition de bandes

- Que s'est-il passé ici?
- C'est une composition en fausses couleurs
- Pour l'obtenir
 - Bande infrarouge dans le canal rouge de l'écran
 - Bande rouge dans le canal vert de l'écran
 - Bande bleue dans le canal bleu de l'écran



Fausses couleurs expliquées

- La végétation est très réfléchive dans l'infrarouge, = fort signal
- Si on assigne le NIR au canal rouge de l'écran, la végétation apparaîtra en rouge
- Voici pourquoi, pour les gens qui font de l'observation de la Terre, les arbres sont rouges.

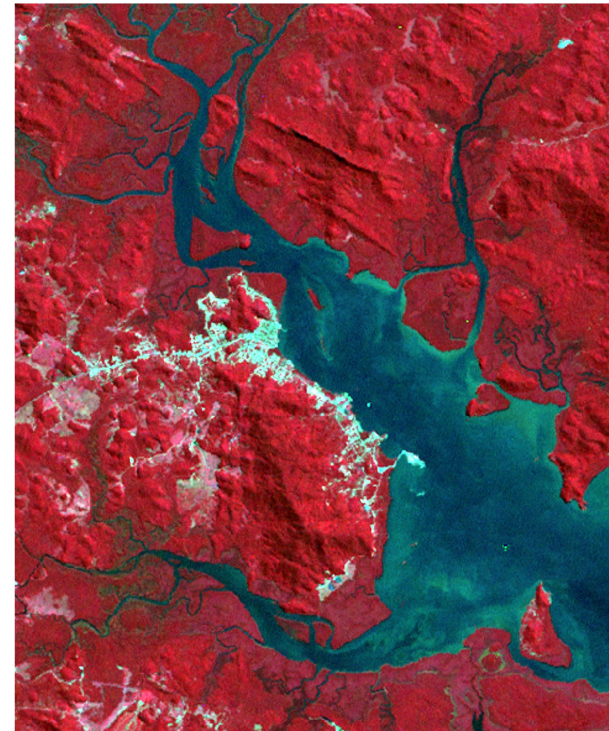


Ceci est pourquoi, pour un télédéacteur, la végétation est **rouge**



(a) combinaison 321

RGB

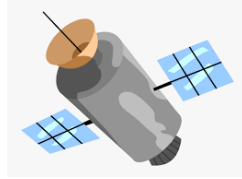


(b) combinaison 432

(NIR)RG

<https://e-cours.univ-paris1.fr/modules/uved/envcal/html/compositions-colorees/3-differentes-composition-coloree/2-1-vraie-fausse-couleur%20.html>

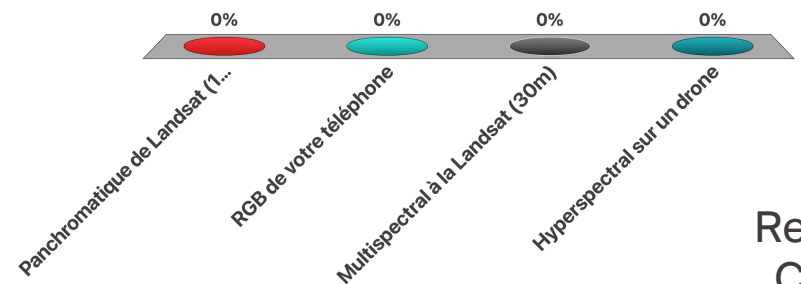
Check-up (1)



URL: tpoll.eu

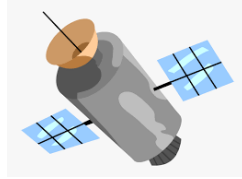
Session ID: **EG2025td**

- Quel type de capteur vous faut-il pour détecter des zones affectées par un parasite dans un champ de blé?
 - a. Panchromatique de Landsat (15m)
 - b. RGB de votre téléphone
 - c. Multispectral à la Landsat (30m)
 - d. Hyperspectral sur un drone



Response
Counter

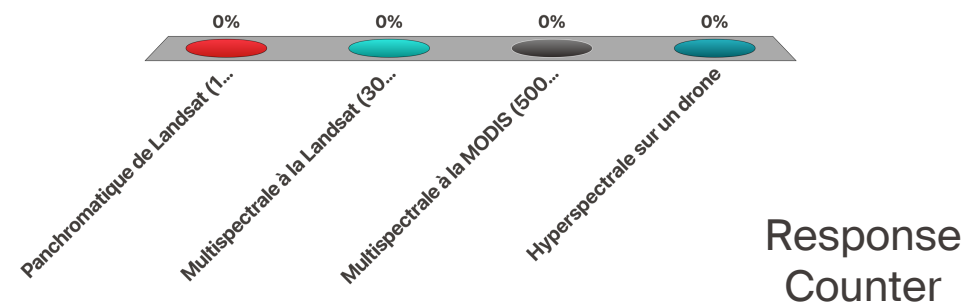
Check-up (2)



URL: [ttpoll.eu](http://tpoll.eu)

Session ID: **EG2025td**

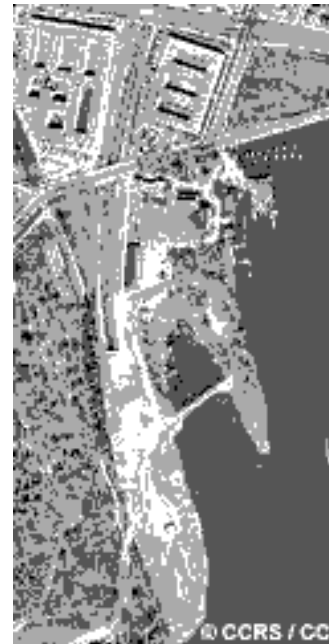
- Quel type de capteur vous faut-il pour détecter toutes les zones de forêt d'Europe?
 - a. Panchromatique de Landsat (15m)
 - b. Multispectrale à la Landsat (30m)
 - c. Multispectrale à la MODIS (500m)
 - d. Hyperspectrale sur un drone



Résolution radiométrique

- C'est le nombre de niveaux de gris que chaque bande peut avoir.
- Mesurée en bits
(11 bits, 8 bits, ...)

2 bits: $2^2 = 4$ valeurs possibles



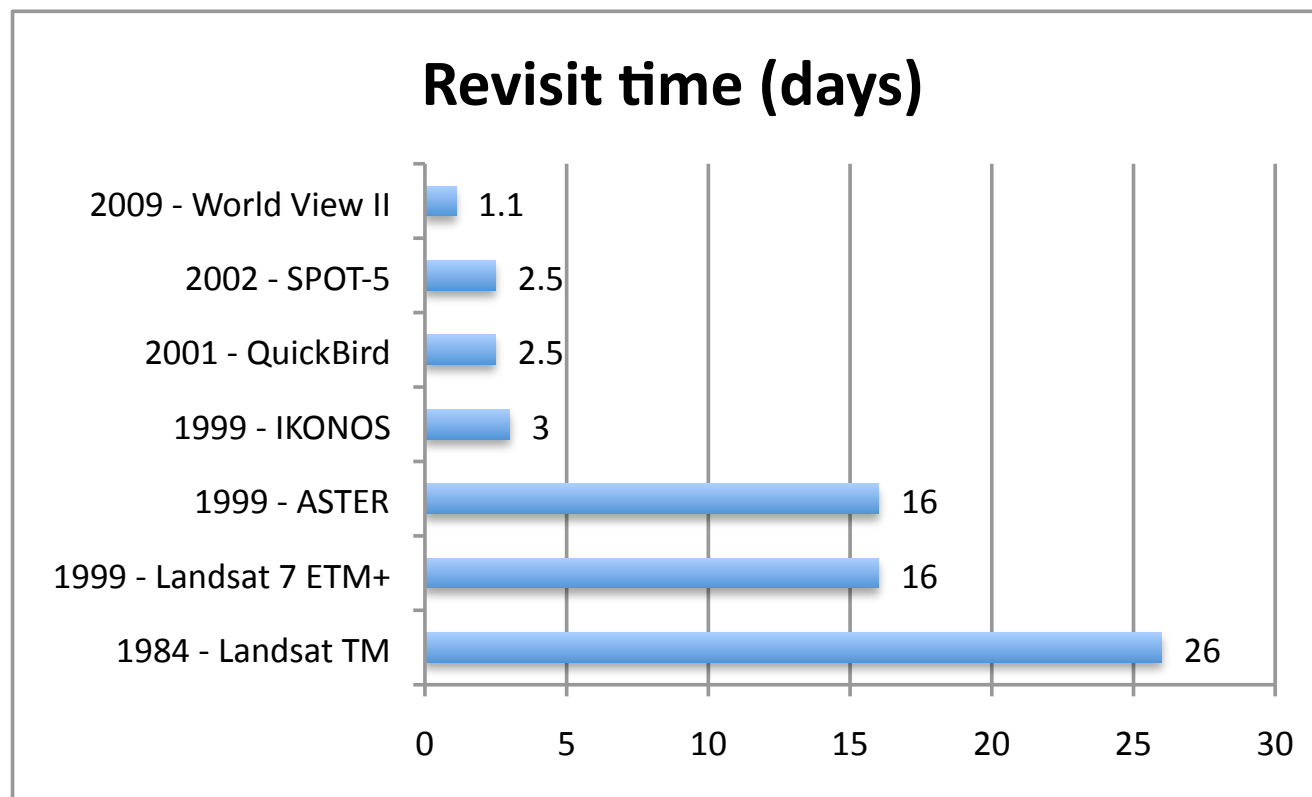
8 bits: $2^8 = 256$ valeurs possibles



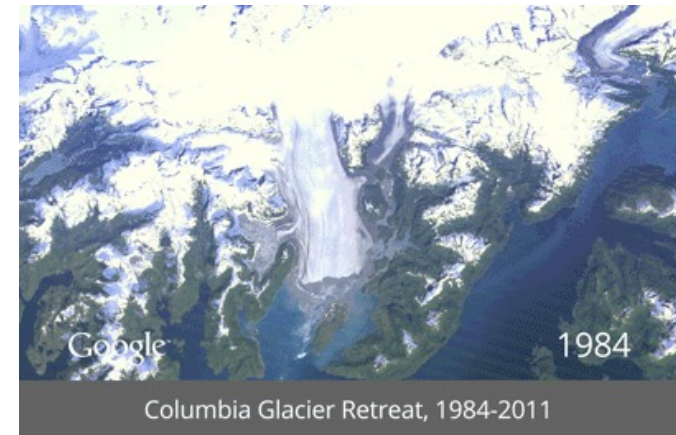
Résolution temporelle

- Les satellites revisitent le même endroit périodiquement
- Une haute résolution temporelle est importante pour les applications nécessitant un monitoring dans le temps (e.g. l'agriculture, le suivi de catastrophes)

Résolution temporelle



Résolution temporelle



Produits de l'observation de la Terre

Produits issus des données satellitaires

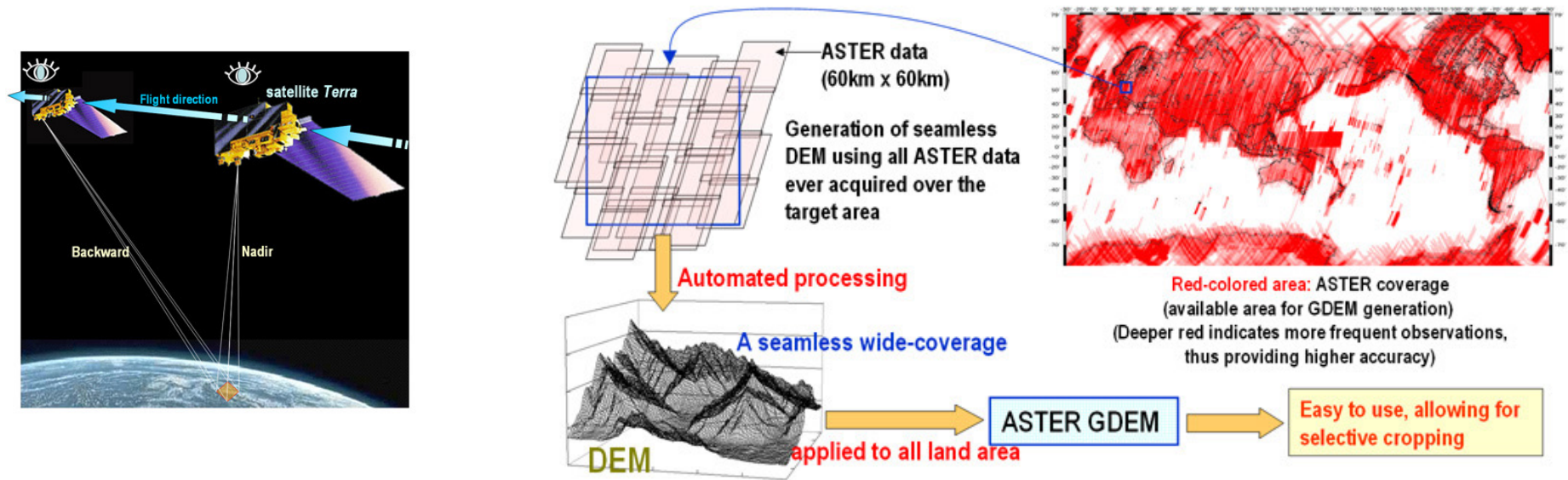
- Les données satellitaires peuvent être utilisées pour extraire de nombreux produits:
 - Modèles numériques d'altitude
 - Température à la surface
 - Rugosité de la surface
 - Géodésie
 - Cartes de couverture et occupation du sol
 - ...

Produits issus des données satellitaires

- Les données satellitaires peuvent être utilisées pour extraire de nombreux produits:
 - Modèles numériques d'altitude
 - Température à la surface
 - Rugosité de la surface
 - Géodésie
 - Cartes de couverture et occupation du sol
 - ...

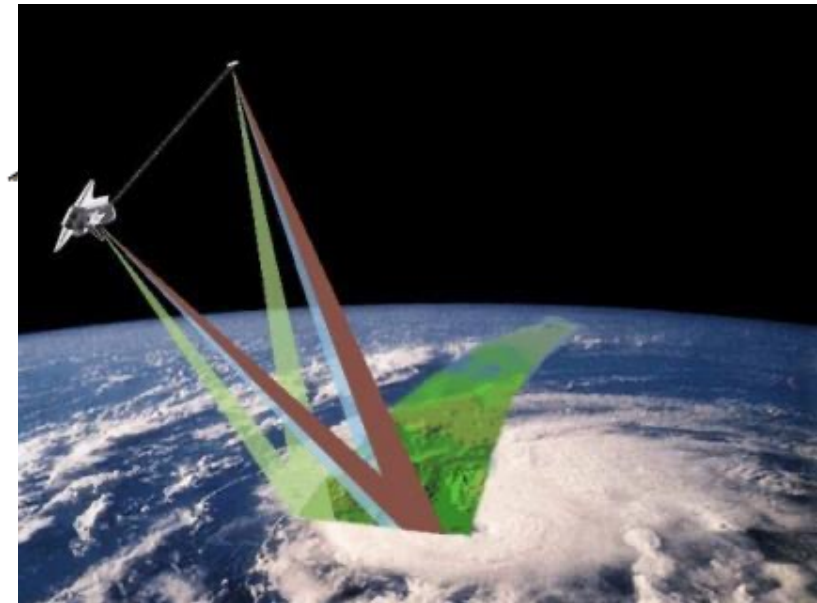
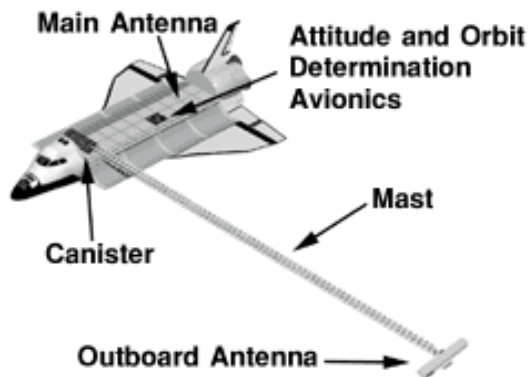
Les satellites passifs pour l'altimétrie

- Les données optiques passives peuvent être utilisées pour extraire des modèles de terrain (DEM), il faut des paires stéréo.
- Ex: ASTER DEM (NASA, 2009)



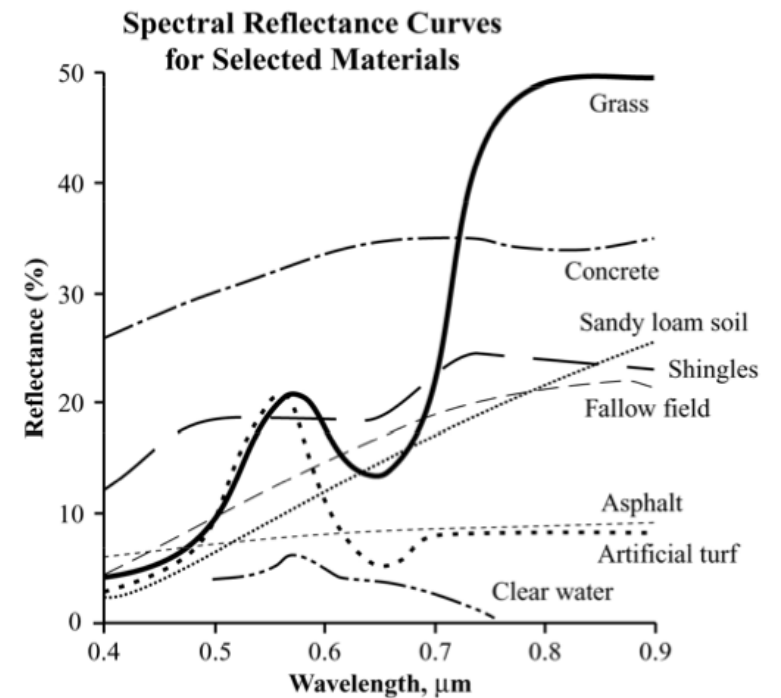
Les satellites actifs pour l'altimétrie

- Les données radar sont des données actives
- Actif = le capteur émet un faisceau de lumière et enregistre le temps de retour après impact à terre.
- Ex: SRTM (NASA, 2003-2013)



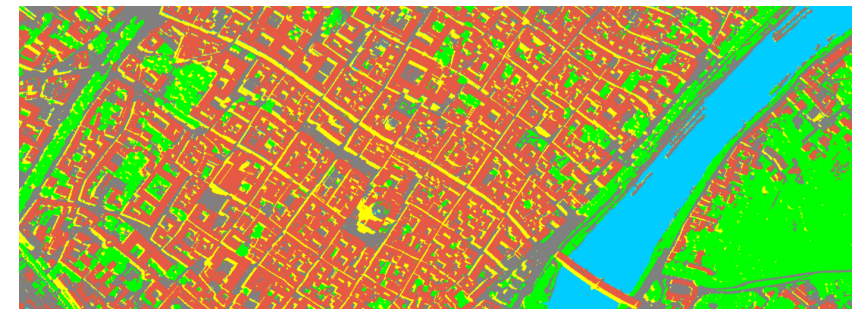
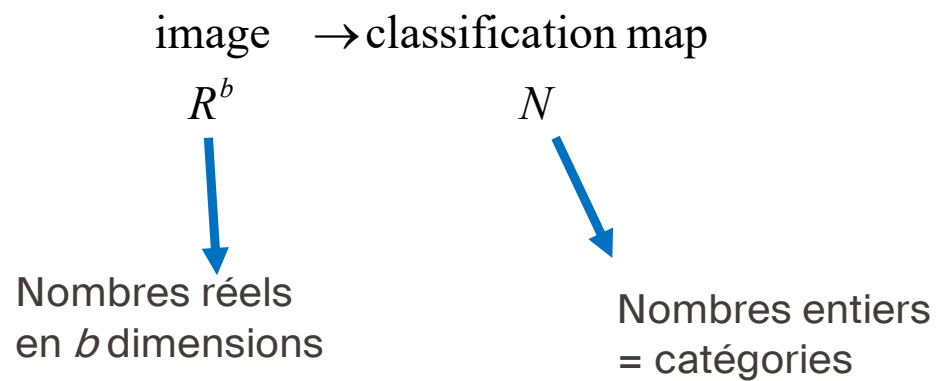
<https://slideplayer.com/slide/6380302/>

- Grâce à l'information spectrale propre à chaque pixel, on peut distinguer différents matériaux



Occupation du sol

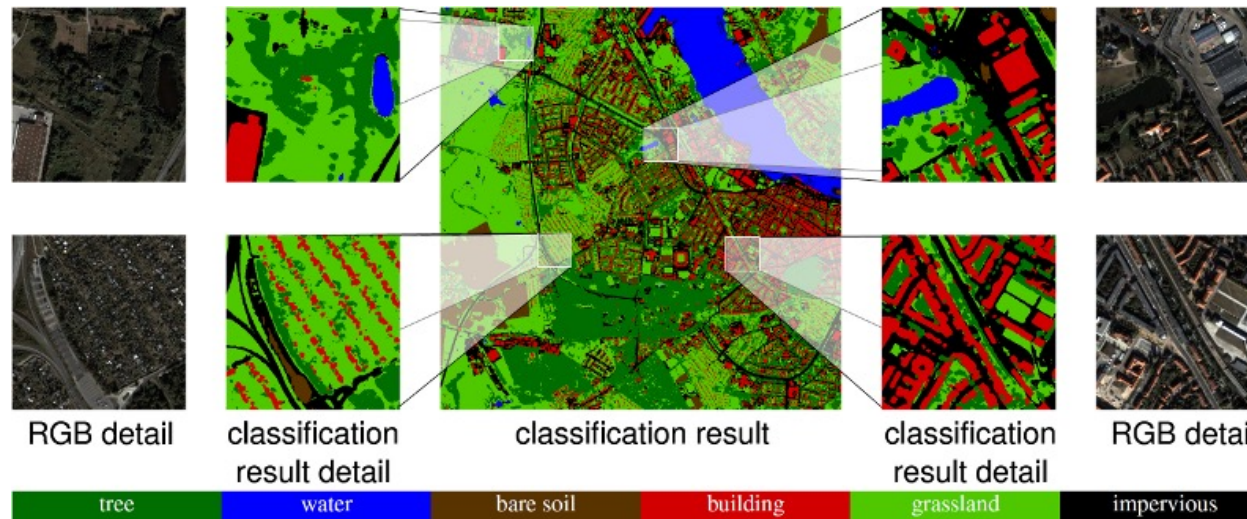
- Grâce à l'information spectrale propre à chaque pixel, on peut distinguer différents matériaux
- Si chaque pixel est une signature, on peut classifier l'image entière en classes d'occupation du sol



1 roads 2 water 3 vegetation 4 shadows 5 building

Occupation du sol

- Ainsi, on peut cartographier des grandes surfaces.
- Les méthodes pour produire ces cartes sont issues de l'apprentissage machine (machine learning). Plus là dessus dans **ENV-341 / 540**



Pour conclure

- L'observation de la Terre vous permet de monitorer la surface de la Terre depuis l'espace (ou le ciel si vous utilisez un drone)
- Des centaines de satellites orbitent au dessus de vos têtes en permanence
- Vous avez des images tous les 5-10 jours
- Dans l'exercice vous allez manipuler des images hyperspectrales aériennes et les analyser. Vous allez utiliser Python.

Jusqu'aux vacances...

- On va vous former sur la manipulation d'image hyperspectrales via deux exercices (deux prochaines semaines)
- On va utiliser des Jupyter notebooks sur noto.epfl.ch
- La 3e semaine, nous allons vous présenter le TP2.

Après les vacances...

- Vous aurez jusqu'au 30 mai (1 mois) pour faire le TP2 et préparer le jupyter notebook avec code et réponses aux questions.
- Nous serons dans la salle pour vous aider les vendredis 2, 9 et 16 mai.

Quand	Quoi	Qui
21 mars	Cours d'introduction sur la télédétection	Devis Tuia
28 mars	Exercice 1: jupyter notebooks + ouvrir et visualiser des .tiff	Devis Tuia & team
4 avril	Exercice 2: opérations sur les images	Devis Tuia & team
11 avril	Présentation du TP2 et du TP3	Devis Tuia & Pierre Yves Gilliéron

2 semaines de break de Pâques

2 mai 9 mai 16 mai	Coaching TP2 (une partie de la classe participe aux sessions du TP3 – Nivellement)	Devis Tuia & team: Nina van Tiel Valerie Zermatten Li Mi Valentin Gabeff Chiara Vanalli +4 AEs
30 mai	Rendu du TP2	