

Deuxième partie

Regarder la terre d'en haut



Introduction

Des images prises d'en haut

- ❑ Images satellites, photo aériennes et cartes ont
 - ➔ Un point en commun : point de vue verticale voir la terre d'en haut.
 - ➔ Deux différences : la hauteur de vue et le média utilisé pour s'élever
- ❑ La carte : projection intellectuelle, hauteur fonction de l'échelle
- ❑ La photographie aérienne : avions / entre 2,5 et 3 km de hauteur.
- ❑ Les images satellites : captées à 800 km de hauteur grâce aux satellites de télédétection qui enregistrent les rayonnement électromagnétiques

TELEDETECTION

Introduction

Définition de la télédétection

- ❑ La télédétection désigne l'acquisition d'informations sur un objet par l'intermédiaire d'un instrument de mesure **n'ayant pas de contact** avec l'objet étudié.
 - ➡ Cf : *télé* : du grec : mise à distance ; *remote sensing* en anglais
- ❑ **Vecteurs** : Les images peuvent être prises d'un avion, d'un engin spatial, d'un satellite, d'un bateau, d'un cerf-volant
- ❑ **Capteurs** Les instruments de captation peuvent être des appareils photographiques, des lasers, radars, sonars, sismographes ou gravimètres.

I – Les images satellites



Pérou-Bolivie : lac Titicaca
et cordillère occidentale
23 avril 2002 - ESA

1-1 Regarder la terre depuis l'espace : une
nouveau-té promise à un grand avenir

1-2 Les images satellites : mode de prise de vue

1-3 Traitement et lecture des images satellites

1-4 Applications : des images satellites pour lire
le monde, le surveiller et veiller sur lui

1-1 Regarder la terre depuis l'espace : > une image banale et récente



Image Google Earth –
38°02' N 15°22' O

❑ Une image banale

❑ Une image récente

- ➡ 1957 : Spoutnik (premier satellite artificiel)
- ➡ 1960 : premières photos prises de l'espace
- ➡ 1972 : premier satellite de télédétection Landsat.

NASA – Europe de nuit



> Voir la tête comme un objet :
repousser les frontières du monde...



Le gisant (Youri Gargarine) de Xavier Veilhan dans la cours du Château de Versailles

« Dans le panthéon populaire, Youri Gagarine est en bonne place, réalisant le fantasme moderniste d'être le premier homme envoyé dans l'espace et le premier **à avoir vu la terre comme un objet**. » X.V.

> Voir la tête comme un objet : ... et gagner la guerre des étoiles

- ❑ Rôle de la conquête spatiale durant la guerre froide.
- ❑ Chaque programme spatial s'inscrit dans un souci géostratégique d'affirmer la puissance de l'État.
- ➔ Les satellites nationaux sont associés à de grandes figures de l'identité nationale et témoignent de l'enjeu vital de la conquête spatiale

Pays	Année du lancement	Premier satellite
URSS	1957	<i>Sputnik 1</i> (compagnon)
États-Unis	1958	<i>Explorer 1</i> (explorateur)
France	1965	<i>Astérix</i>
Chine	1970	<i>Dong Fang Hong I</i> (Orient rouge)
Royaume-Uni	1971	<i>Prospero X-3</i> (personnage de Shakespeare)
Inde	1980	<i>Rohini</i> (héroïne de la mythologie hindoue)
Israël	1988	<i>Ofeq 1</i> (horizon)
Iran	2009	<i>Omid 1</i> (espoir)

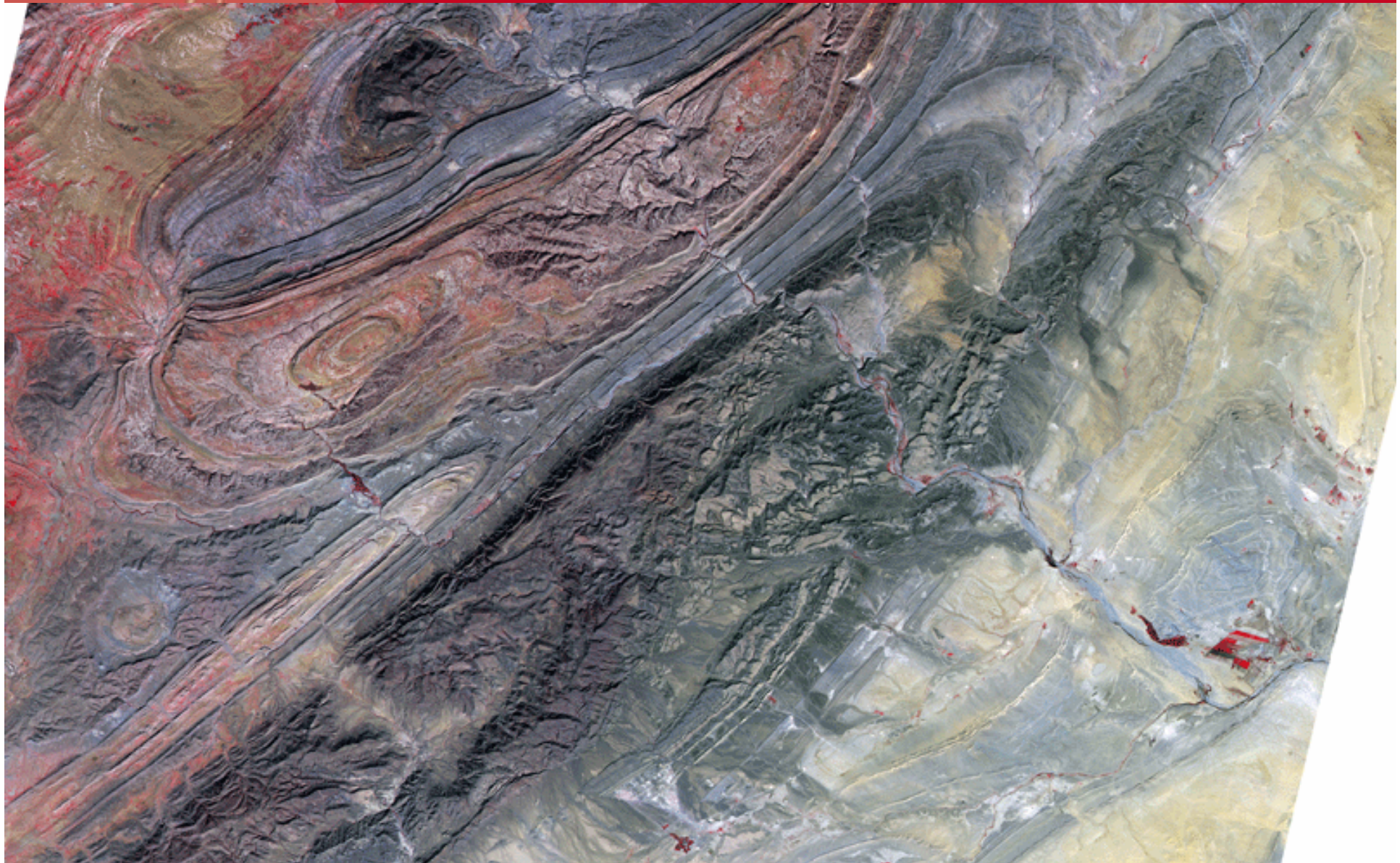
> Les images satellites : l'avenir des sciences

- ❑ **Satellites de télécommunications** transmission de données
 - ➔ Applications pratiques : téléphonie, télévision etc.
- ❑ **Satellite de télédétection** : observation de la terre dans différents spectres : optique, radar, infrarouge, ultraviolet, écoute de signaux radioélectriques
 - ➔ Application scientifique : température de la mer, manteau neigeux, sécheresse,
 - ➔ Économique : ressources naturelles, agriculture etc.
- ❑ Les données scientifiques transmises par les satellites de télédétection ont conduit à **une révolution copernicienne** des sciences de la terre.

> Les satellites de télédétection : des images de plus en plus précises

- ❑ En 1972 : le premier satellite de télédétection est lancé par les EUA : Landsat 1 : il est équipé de capteurs numériques et non plus d'appareils photographiques.
- ❑ En 1986 : Lancement de Spot 1 (Système Probatoire d'Observation de la Terre) : série de satellites d'observation de la Terre.
- ❑ La qualité des images satellites progressent
 - ➔ la finesse du grain : s'améliore : (résolution spatiale) : le nombre de km² que couvre chaque pixel.
 - ➔ L'élargissement de la partie du spectre électromagnétique.

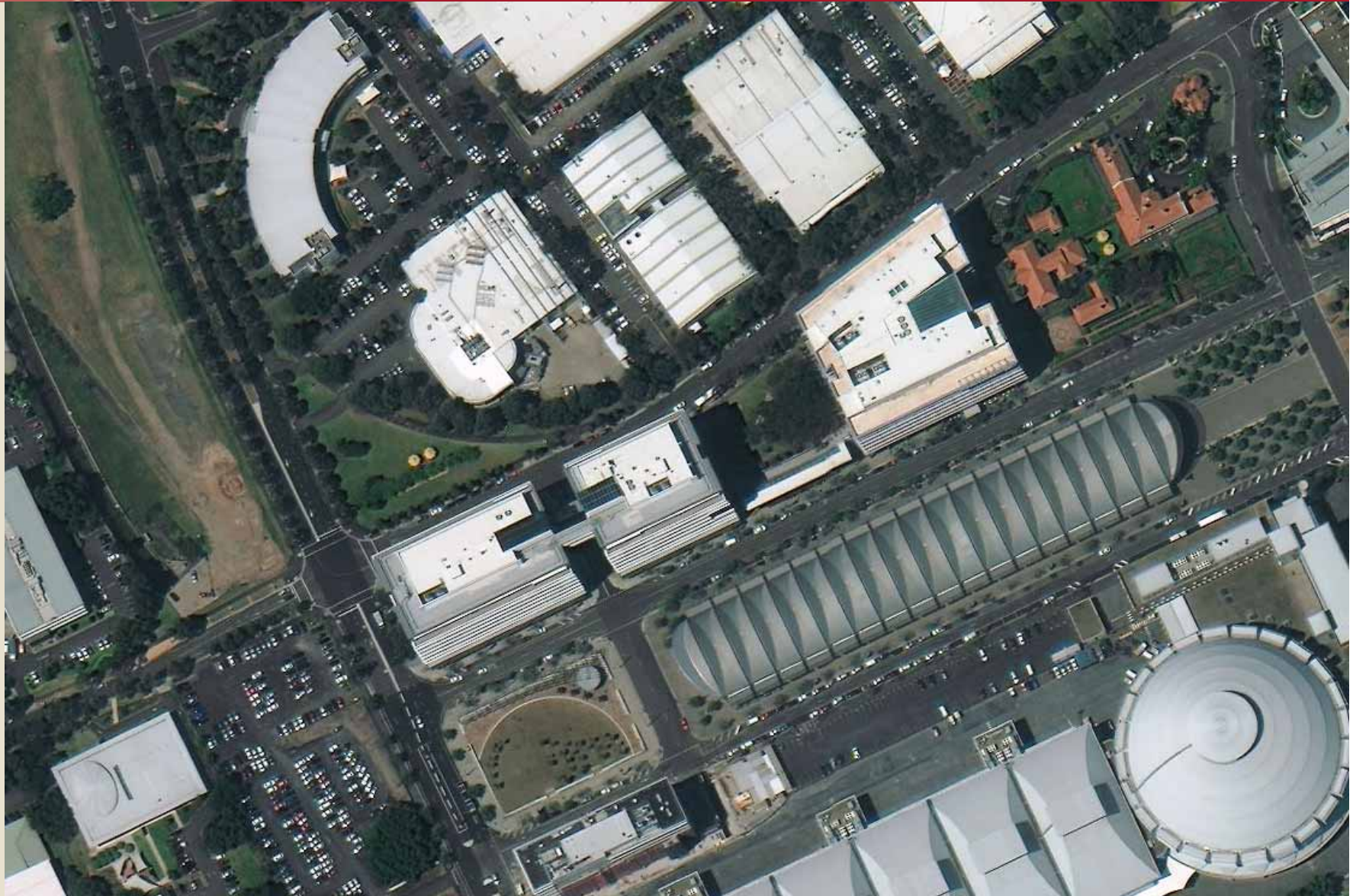
Djebel Amour, Sahara Algérien - Image Spot 1 du 23 février 1986



Complexe olympique de Sydney : image World View 2, 20 octobre 2009

<http://www.digitalglobe.com/>

www.digitalglobe.com/downloads/featured_images/aus_sydney_olycomplex_wv2_oct20_2009_dg.jpg

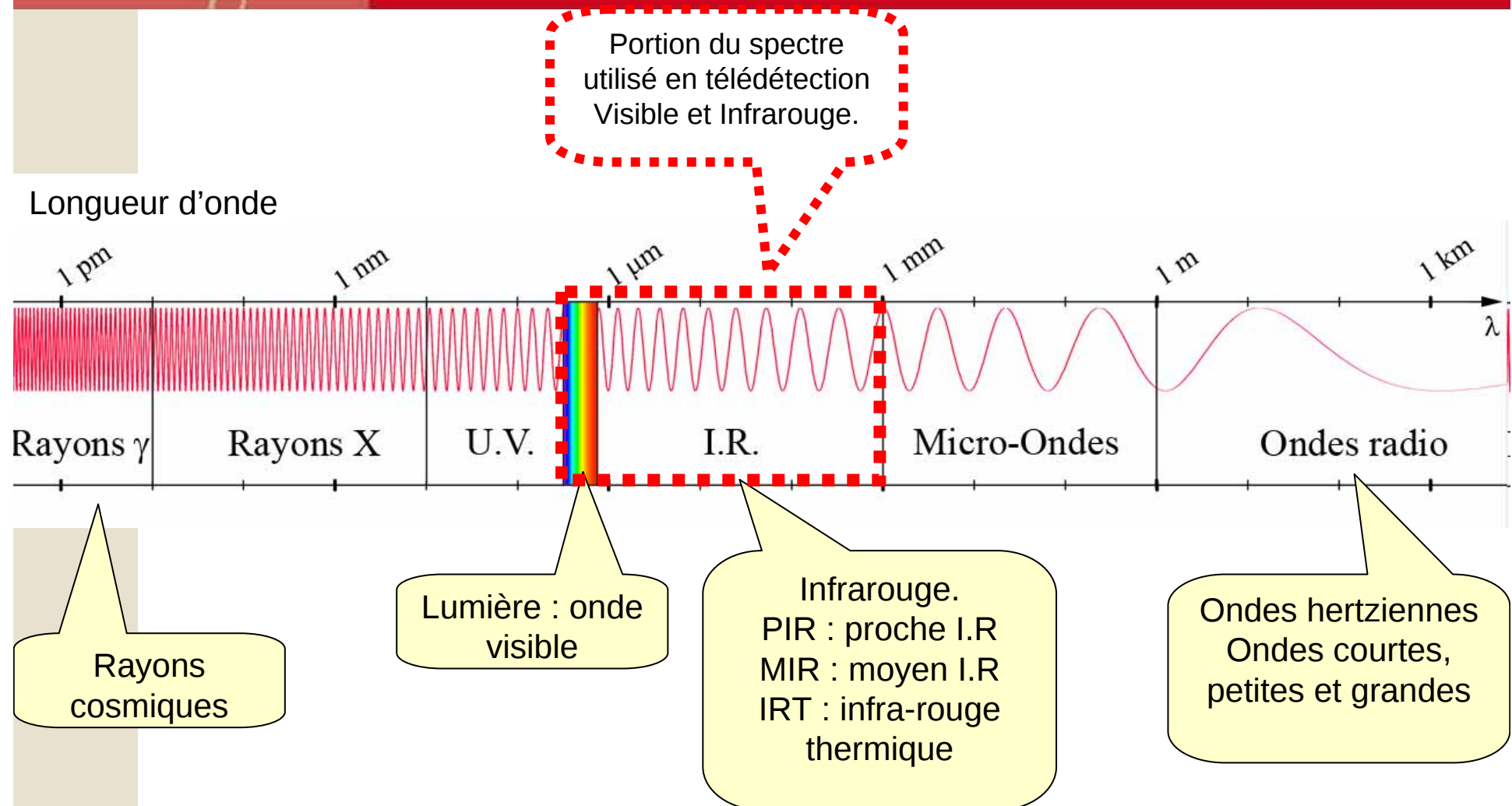


1-2 Les images satellites : mode de prise de vue et guide de lecture

Le rayonnement électromagnétique

- ❑ Tout objet à la surface de la terre émet un **rayonnement électromagnétique (REM)**
 - ➔ celui-ci peut provenir de l'objet lui-même
 - ➔ il peut être le résultat de l'interaction avec une source de rayonnement extérieur naturel (le Soleil principalement)
 - ➔ ou d'un rayonnement artificiel (envoyé par les radars).
- ❑ Le REM d'un objet se propage sous forme **d'ondes** ayant des caractéristiques différentes (amplitude, longueur, fréquence, etc.).
- ❑ L'ensemble des ondes constitue **le spectre électromagnétique** qui est capté depuis les satellites de télédétection.

Composition du spectre électromagnétique



Nb : longueur d'onde : distance entre deux oscillations

Signature spectrale des objets

- ❑ Lorsqu'un corps terrestre réfléchit un rayonnement reçu d'une source extérieure, il le modifie selon des paramètres liés à sa nature (composition physico-chimique) et à son état de surface (teneur en eau etc.)
 - ➔ Ex : les ondes du Proche Infrarouge (PIR) sont absorbées par l'eau et réfléchies par la végétation.

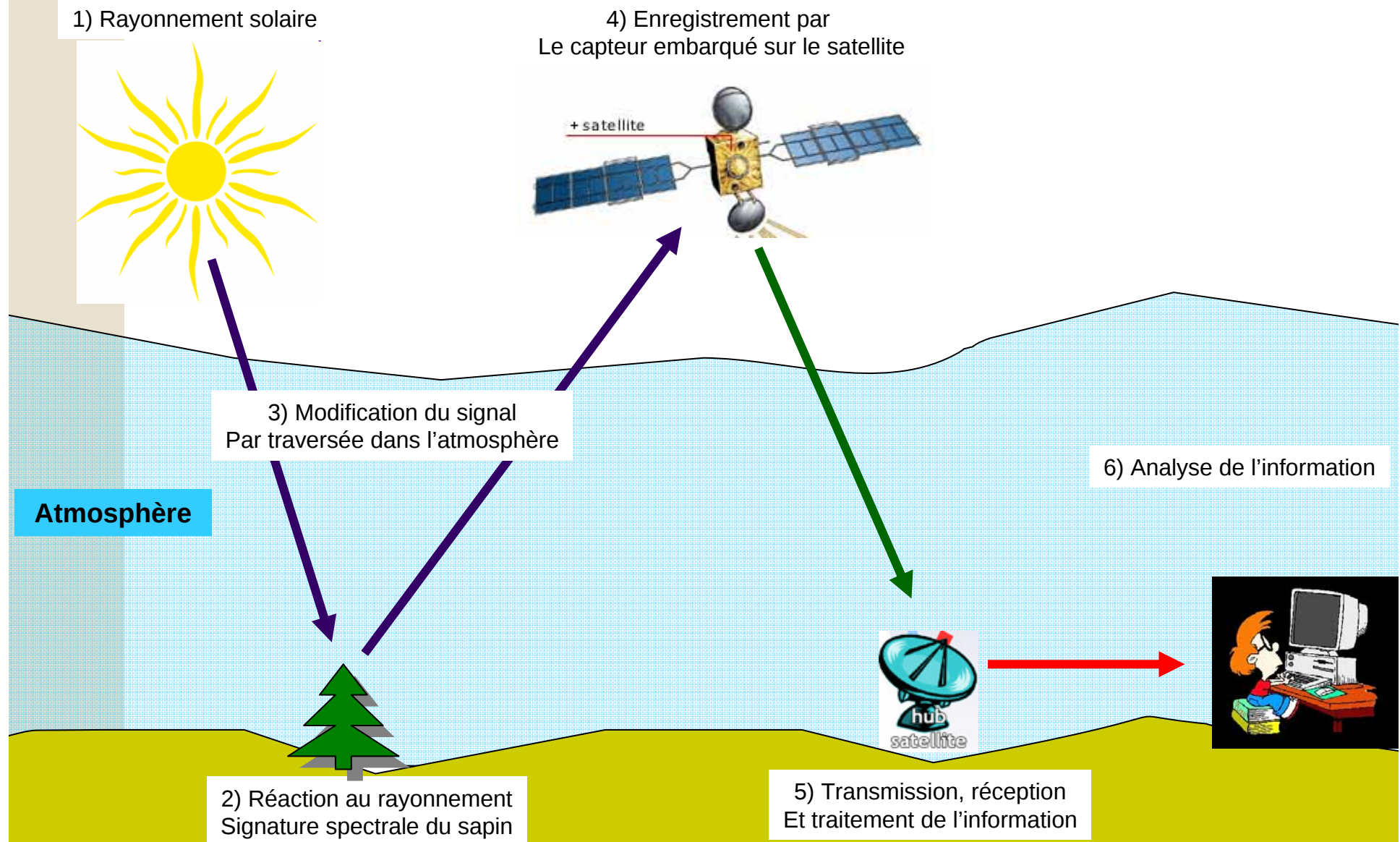
- ❑ Chaque objet possède une signature spectrale qui permet de l'identifier.
 - ➔ C'est cette propriété qui est exploitée en télédétection terrestre.
 - ➔ Il faut pour cela développer une bibliothèque de signatures spectrales.

Capacité de réception des instruments de télédétection embarqués sur les satellites

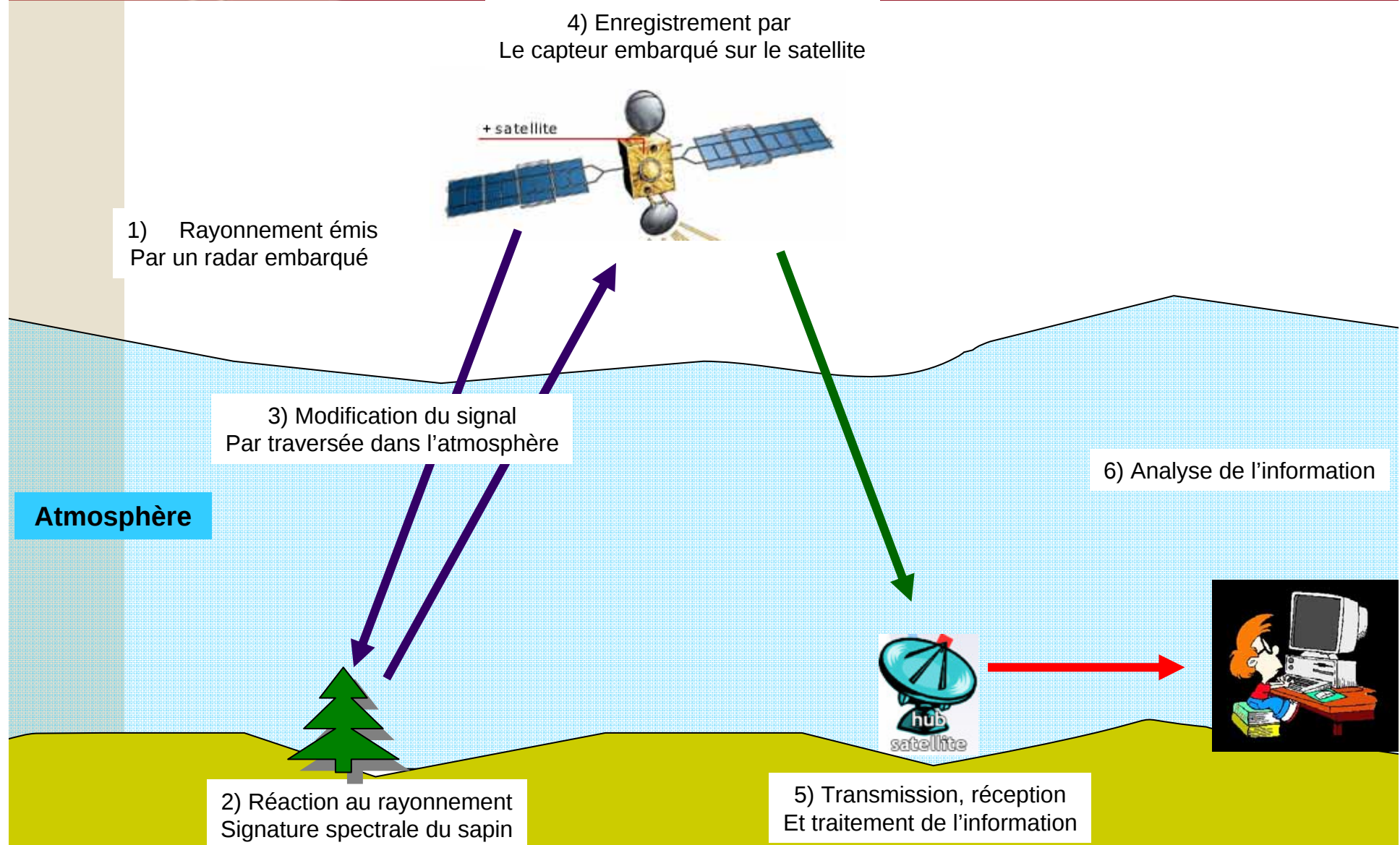
VIS Lumière visible	Rayonnement solaire réfléchi par les surfaces terrestres	Image proche de la vision humaine	Télé- détection passive
PIR Proche infra- rouge			
IRT Infra-rouge thermique	Rayonnement émis par la terre	Lecture des températures	
RADAR	Rayonnement émis par le capteur et réfléchi par l'objet	Acquisition d'image par tout temps. Rugosité des surfaces et hygrométrie	Télé- détection active

Avec le radar : la télédétection élargit le champ sensible de la réalité.

6 étapes de la télédétection : cas d'un capteur passif



6 étapes de la télédétection : cas d'un capteur actif



Deux types de satellites de télédétection

- ❑ Un satellite de télédétection est **un satellite artificiel** en orbite autour de la Terre dont l'objectif principal est l'observation.
- ❑ Les satellites **en orbite héliosynchrone** : altitude inférieure à 1000km. Ils passent toujours à la même heure au dessus d'une zone.
 - ➔ Ex : les satellites LANDSAT : 700 km de hauteur, avec une répétitivité de 16 jours.
- ❑ **Les satellites géostationnaires** : 36 000 km de la surface de la terre. Ils se déplacent en suivant la vitesse de rotation de la terre ce qui explique qu'il donne l'impression d'être fixes.
 - ➔ Cf : Les satellites météorologiques opérationnels comme Meteosat

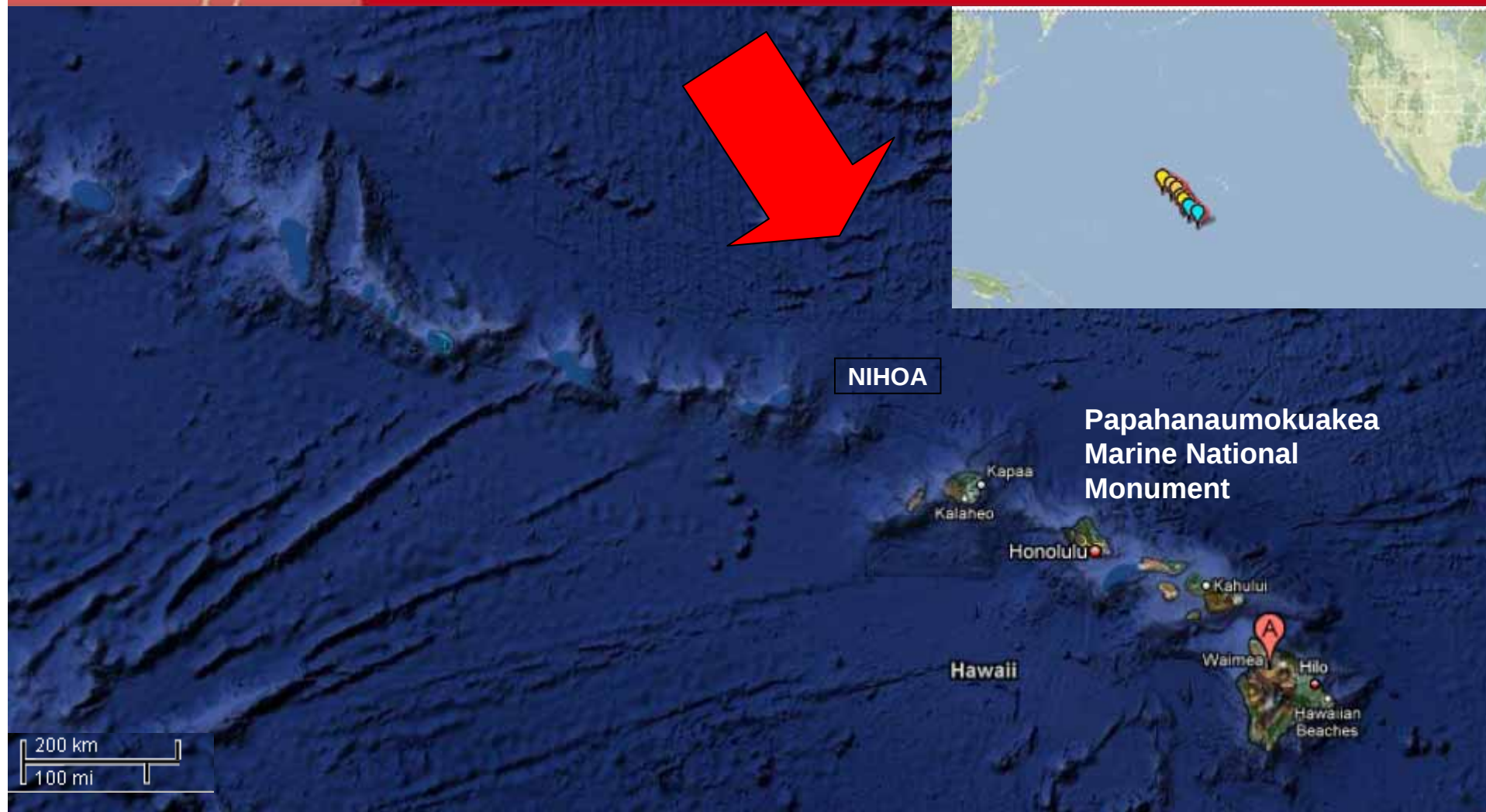
Image prise par un satellite géostationnaire

http://modis.gsfc.nasa.gov/gallery/individual.php?db_date=2009-10-29



- ❑ 21 octobre 2009, l'ouragan NEKI pris par le satellite TERRA de la NASA à 11 h 45 du matin heure d'Hawaï
- ❑ Œil du cyclone : 50 km

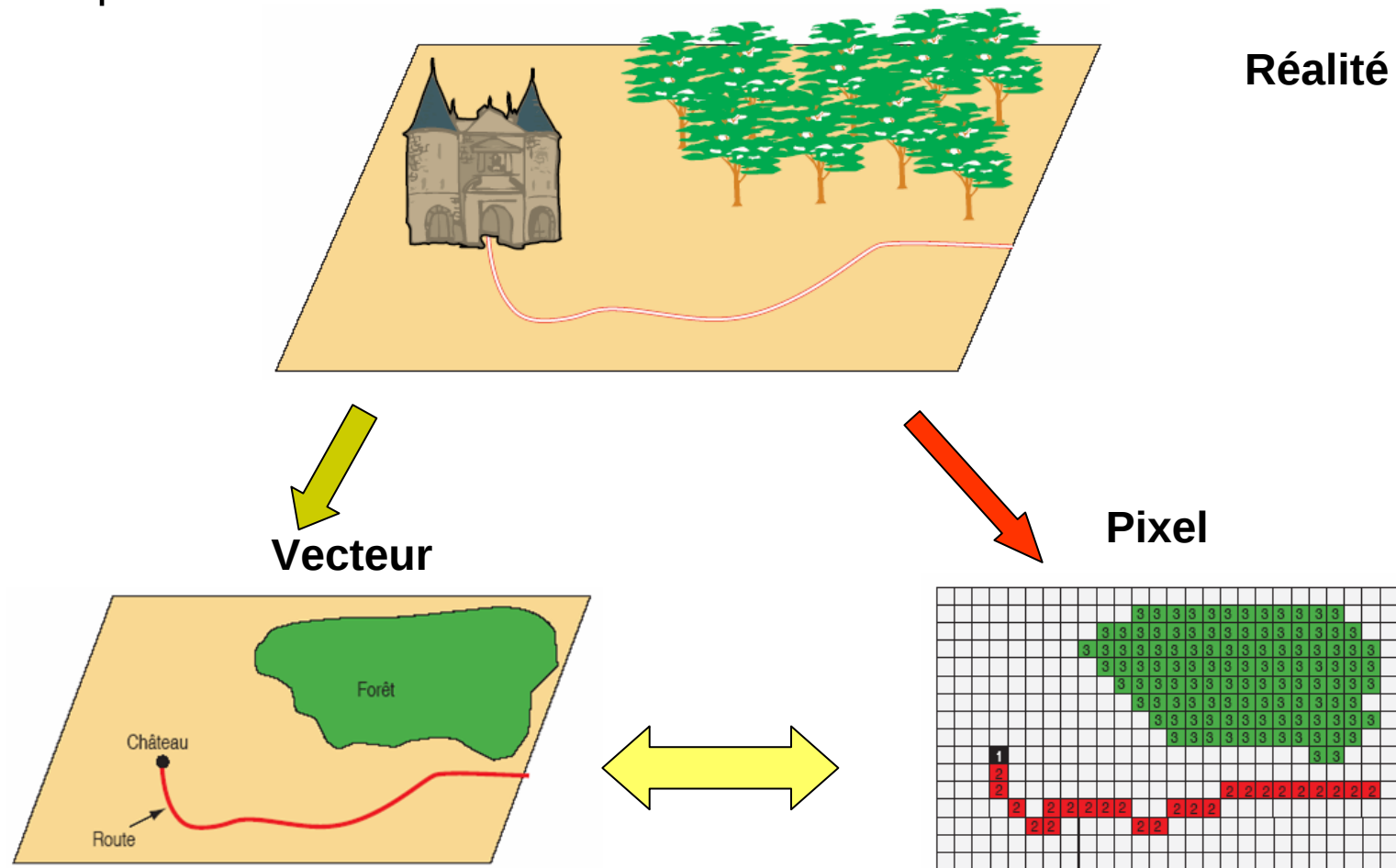
Trajectoire prévue du cyclone



1-3 Traitement et lecture des images satellites

La terre en pixel

- ❑ Représenter de la réalité dans un système numérique : deux possibilités



La terre

- ❑ L'image est un fichier grille (matrice) où chaque carré, appelé pixel représente l'espace élémentaire au sol.



- ❑ Le pixel porte un code de la mesure du signal électromagnétique enregistré.
- ❑ La taille réel du pixel varie selon la résolution spatiale.

Re-composition d'une image satellite



Lagos – Bande 1 (bleu)



Lagos –Bande 2 (vert)



Lagos –Bande 3 (rouge)



1_ L'information d'une gamme étroite de longueur d'onde est captée et emmagasinée sous forme numérique dans un fichier représentant la bande de longueurs d'onde (ou canal)

2_ Il est ensuite possible de combiner et d'afficher de ces bandes d'information numérique en utilisant les trois couleurs primaires (rouge, vert, bleu).

Lagos –Image composite en vraies couleurs par combinaison des trois bandes RVB (rouge, vert et bleu)
Image landsat – 2 février 2000

Interprétation géographique d'une image satellite

- ❑ Pour l'interprétation la reconstruction des images, ce n'est pas chacun des pixels de l'image avec sa mesure physique qui fait sens géographique mais des **ensembles contigus de pixels** qui composent des formes et agencements spatiaux.
- ❑ L'information est ici tant géométrique que spectrale.



Images en fausses couleurs et images en couleurs pseudo naturelles

- ❑ Les images en fausses couleurs ne tiennent pas compte de nos repères visuels
- ❑ Les images en couleurs pseudo naturelles rétablissent nos repères visuels (ex : le vert pour la végétation).

1) Les images en fausses couleurs

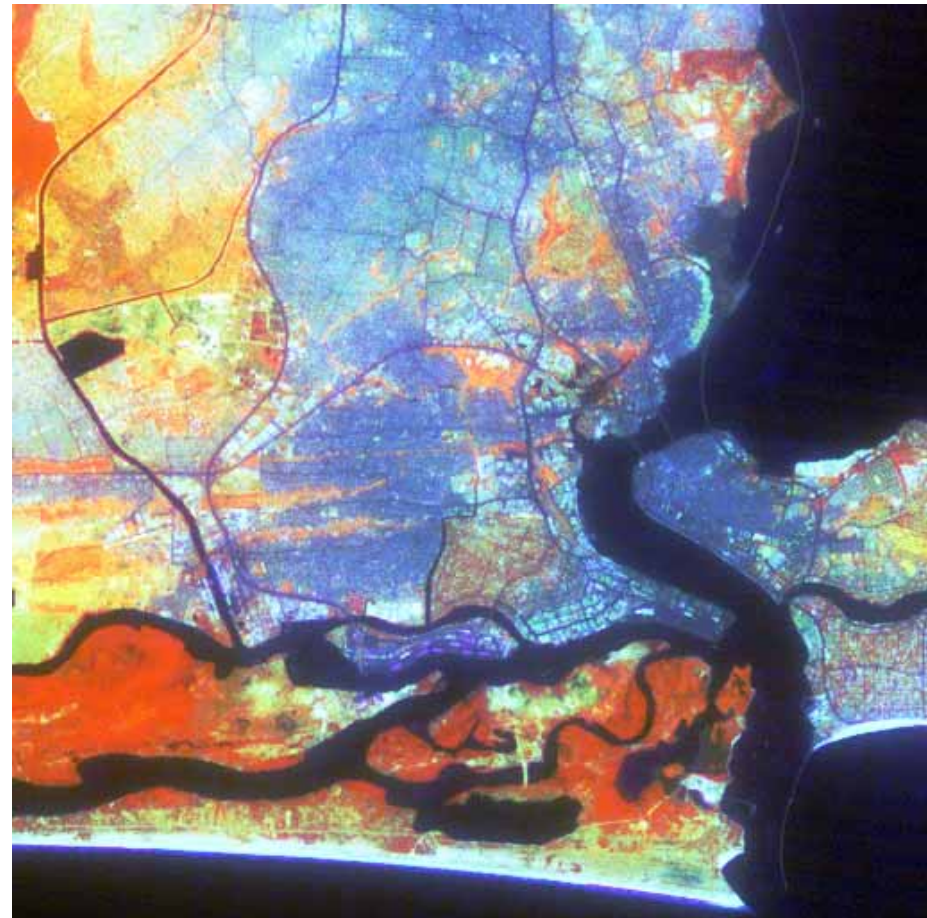
Exemple : Lagos –
Landsat 7

Trois bandes de
l'Infrarouge sont
représentées

Bande 3 (rouge visible)
> bleu

Bande 4 (proche infra-rouge)
> rouge

Bande 5 (moyen infra-rouge)
> vert



LAGOS – février 2000 – Landsat 7

Résolution spectrale des images Landsat 7

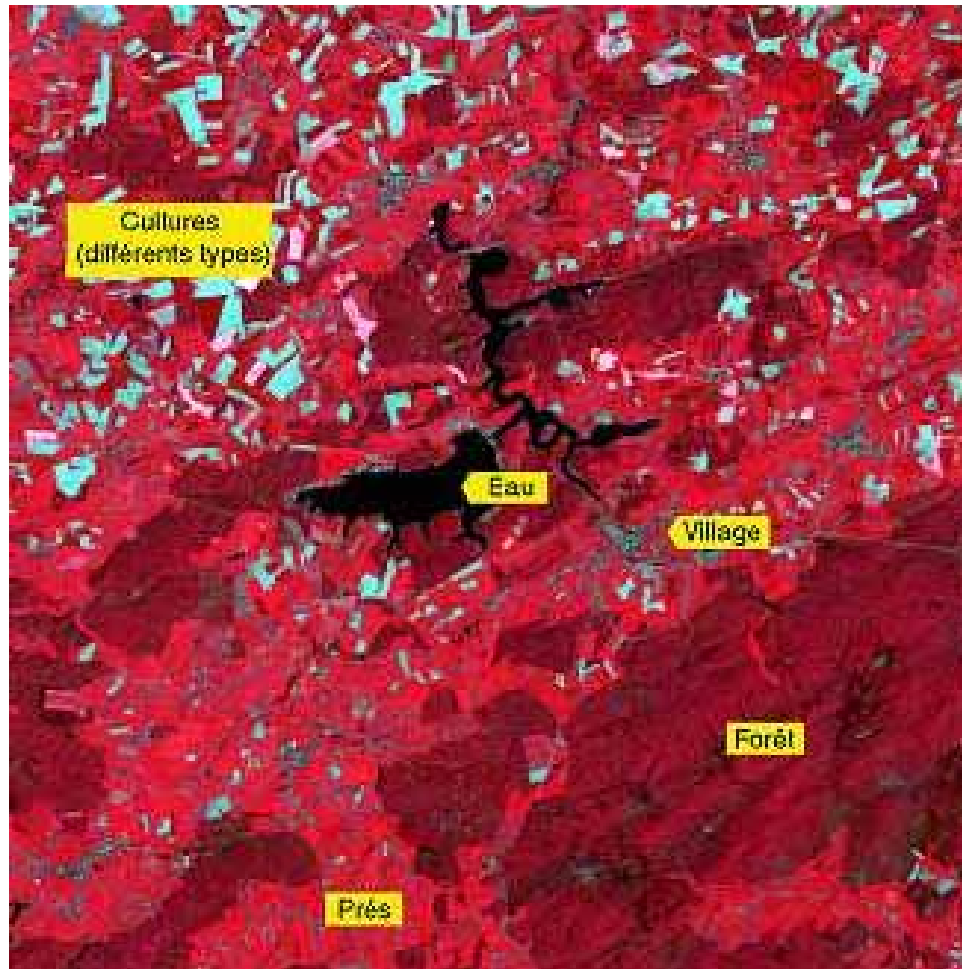
Bande	Longueur d'onde	Nom	Perception
1	0,45 - 0,52 μm	BLEU	VISIBLE
2	0,52 - 0,60 μm	VERT	
3	0,63 - 0,69 μm	ROUGE	
4	0,76 - 0,90 μm	PROCHE INFRAROUGE	INFRA-ROUGE (invisible)
5	1,55 - 1,73 μm	INFRAROUGE MOYEN	
6	2,08 - 2,35 μm	INFRAROUGE MOYEN	
7	10,4 - 12,5 μm (80 $\times$ 80 m ²)	INFRAROUGE THERMIQUE	
8	0,52 - 0,9 μm (15 $\times$ 15 m ²)	PANCHROMATIQUE	

Canaux utilisés dans l'image landsat de Lagos

Les images en fausse couleurs

- ❑ Les images en fausse couleurs associent des teintes différentes pour chacun des canaux. La combinaison rend
 - ➔ la végétation dans les tons rougeâtres
 - ➔ les zones urbanisées dans les tons bleu et bleu clair.
- ❑ Au moins une des couleurs d'une image en fausses couleurs représente **un canal dans l'infrarouge**.
- ❑ La bande infrarouge du spectre est **utile** pour identifier la nature d'une surface, parce qu'elle est constituée à la fois d'énergie réfléchie et d'énergie émise.

Image satellite en fausses couleurs (Thematic Mapper, satellite Landsat 4)



- ❑ La région du barrage de la Plate-Taille et des lacs de l'Eau d'Heure (région de Philippeville).
- ❑ Plus la densité chlorophyllienne est importante, plus le rendu est rouge (car l'infra-rouge est fort)
- ❑ Moins l'activité chlorophyllienne est importante (champs) plus le rendu est bleu

<http://eoedu.belspo.be/fr/guide/classif.asp?section=>

2) Images en couleurs pseudo naturelles

- ❑ Les couleurs affichées ressemblent le plus aux couleurs associées aux objets que l'on peut voir dans la nature :
 - ➔ Ex : une palette de vert pour la végétation,
 - ➔ Ex : une palette de bleu pour l'eau
 - ➔ Ex : blanc, gris ou brun pour caractériser les sols (en fonction du type de sol).

- ❑ Le but principal de la visualisation en couleurs pseudo-naturelles est double :
 - ➔ produire des images plus esthétiques
 - ➔ faciliter l'interprétation visuelle des documents par des personnes non initiées à l'analyse des images en «fausses couleurs».

Canal et couleurs dans SPOT

Images en fausse couleurs

Ondes	Canal	Couleurs pixel	Exemple
VISIBLE	XS1	Bleu	Eau - Bâti
	XS2	Vert	Champs – bâti (faible radiation) : rouge – brun
P.I.R	XS3	Rouge	Végétation dense (forêt)

Images en couleurs pseudo-naturelles

Ondes	Canal	Couleurs pixel	Exemple
VISIBLE	XS1	Bleu	Eau - Bâti
	XS2	Rouge	Champs – bâti (faible radiation) : rouge - brun
P.I.R	XS3	Vert	Végétation dense (forêt)

1-4 Applications : des images satellites pour lire le monde, le surveiller et le veiller

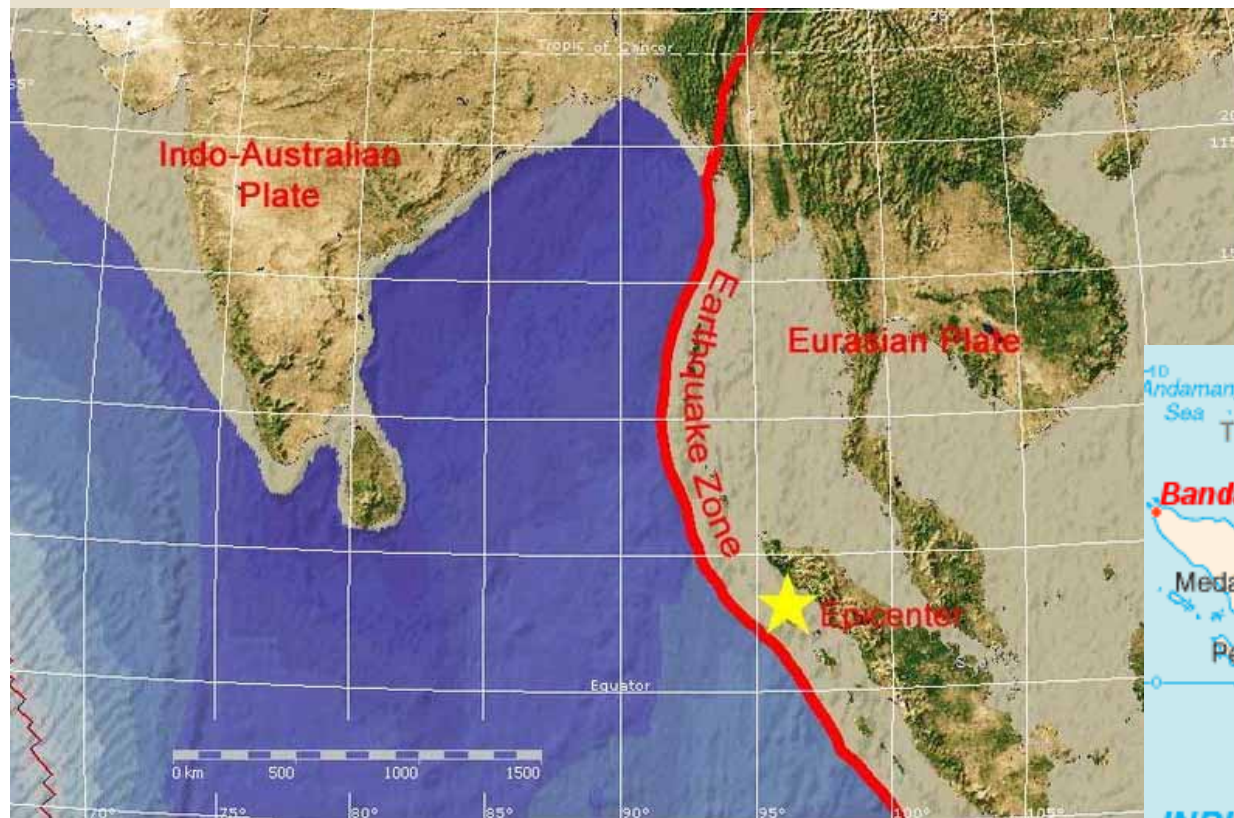
Évaluation des impacts d'un tsunami

Veille agricole

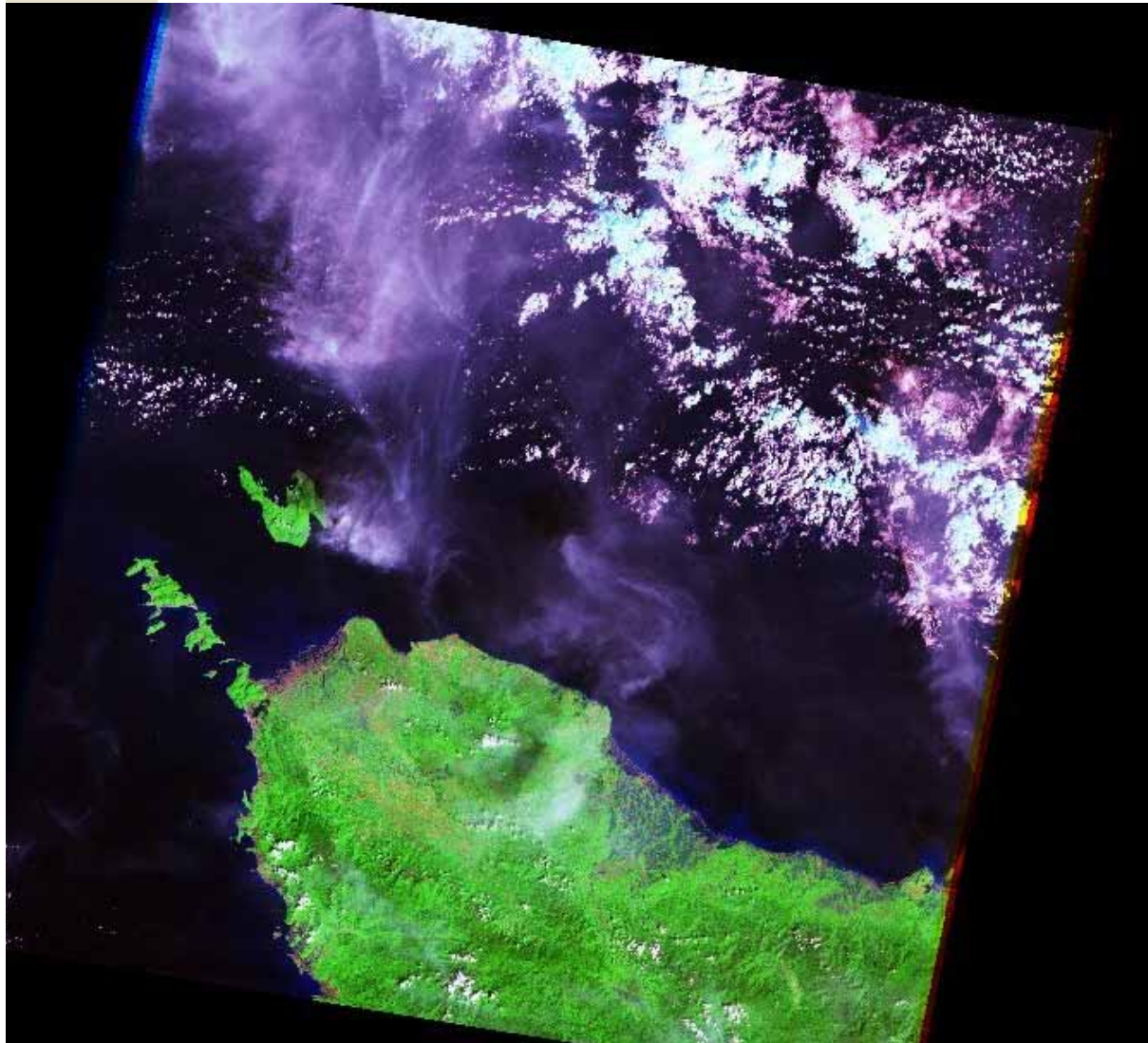
Conclusion

Évaluation des impacts d'un tsunami

- ❑ Tremblement de terre sous marin du 26 décembre 2004



30 décembre 2004, province d'Aceh, image Landsat 7



L'image a été construite
à partir de 3 canaux
TM7 (Infrarouge moyen),
TM4 (proche infrarouge),
TM2 (visible - vert)



ZONE SUBMERGEE
VILLE BANDA ACEH

This is a satellite map of Banda Aceh, Indonesia. The land area is shown in green, and the surrounding water is dark blue. Two specific regions are highlighted with a bright green overlay, indicating submerged zones. A callout box points to the northernmost submerged area, and another callout box points to a larger submerged area on the eastern coast.

ZONE SUBMERGEE

29 décembre 2004, province d'Aceh, au Nord de Sumatra : inondation – image SPOT

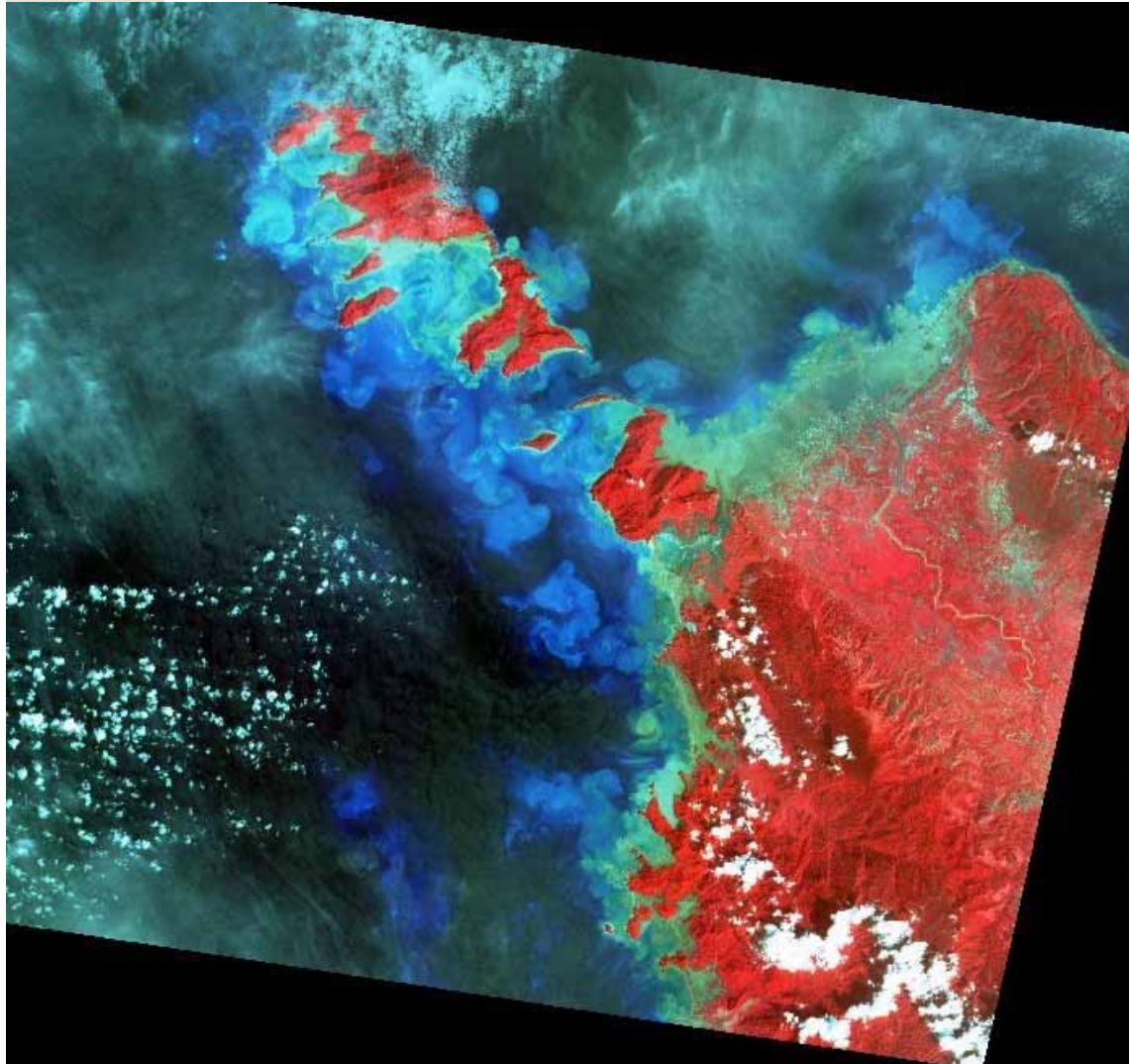


Image en fausses couleurs

Utilisation des trois canaux de SPOT

➡ XS3 (Proche infra-rouge)

➡ XS2 (Rouge)

➡ XS1 (Vert)

La couleur rouge représente le PIR (soit la végétation).

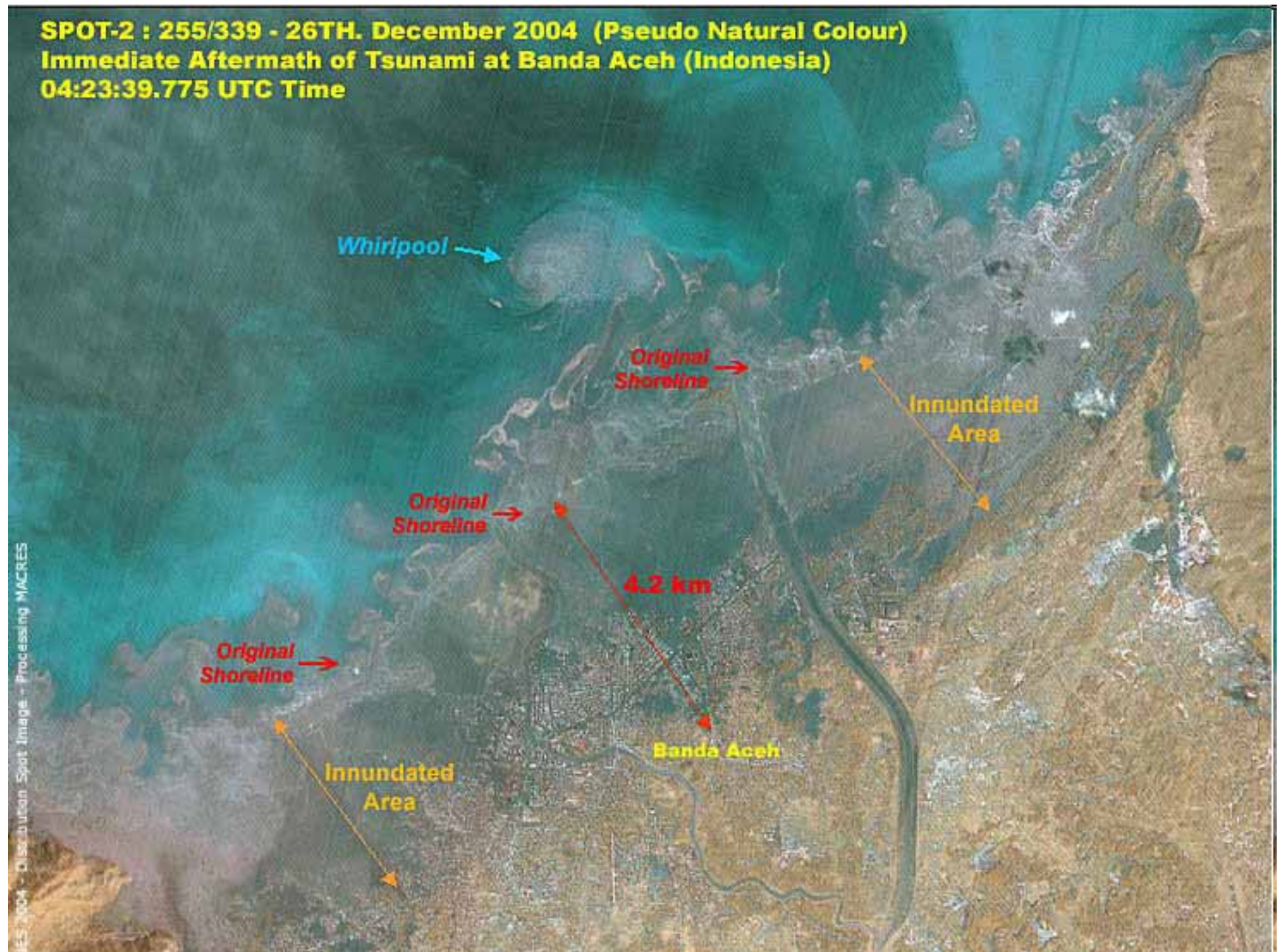
L'eau est représentée dans une gamme de couleur du turquoise au noir



ZONE SUBMERGEE
VILLE BANDA ACEH

ANCIEN TRAIT DE
CÔTE

SPOT-2 : 255/339 - 26TH. December 2004 (Pseudo Natural Colour)
Immediate Aftermath of Tsunami at Banda Aceh (Indonesia)
04:23:39.775 UTC Time



Une ville détruite



Le tsunami a détruit un tiers de la ville de Banda Aceh

130 000 personnes ont
disparu dans la catastrophe

Un bateau de pêche à plusieurs km de la côte



Veille agricole

❑ Système de suivi de la Canne à sucre par télédétection

- ➔ Les planteurs de canne à sucre veulent augmenter les rendements tout en faisant un usage raisonné des fertilisants

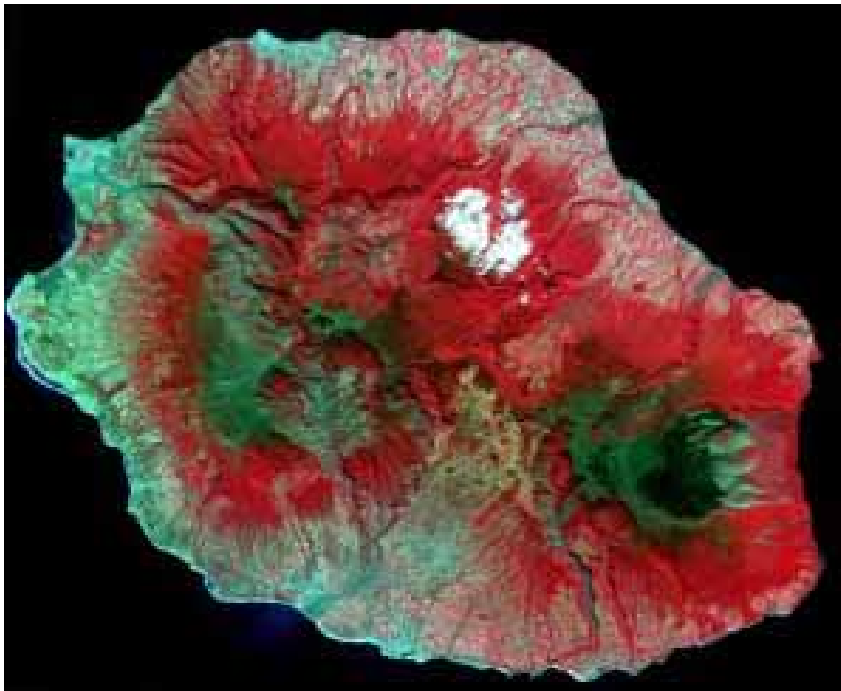
Pour cela ils doivent :

- ❑ Visualiser le plan de leur exploitation
- ❑ Avoir des informations associées à chaque parcelles : développement de la culture, détection de stress hydrique problèmes phytosanitaires, estimation de rendement.



Les images satellites peuvent répondre à ces besoins

- ➔ Création d'une base de données qui décrit le périmètre cannier : parcellaires, attributs descriptifs...
- ➔ Information dédiés au suivi de la production : états de la culture, diagnostics d'hétérogénéité intra et inter-parcellaire, prévisions de rendements, avancement des coupes
- ➔ Outils de visualisation et de diffusion de l'information cartographique.



Ile de la Réunion – Spot Image 5



Guadeloupe – Spot Image 5

Délimitation du parcellaire

Guadeloupe 20 décembre 2002

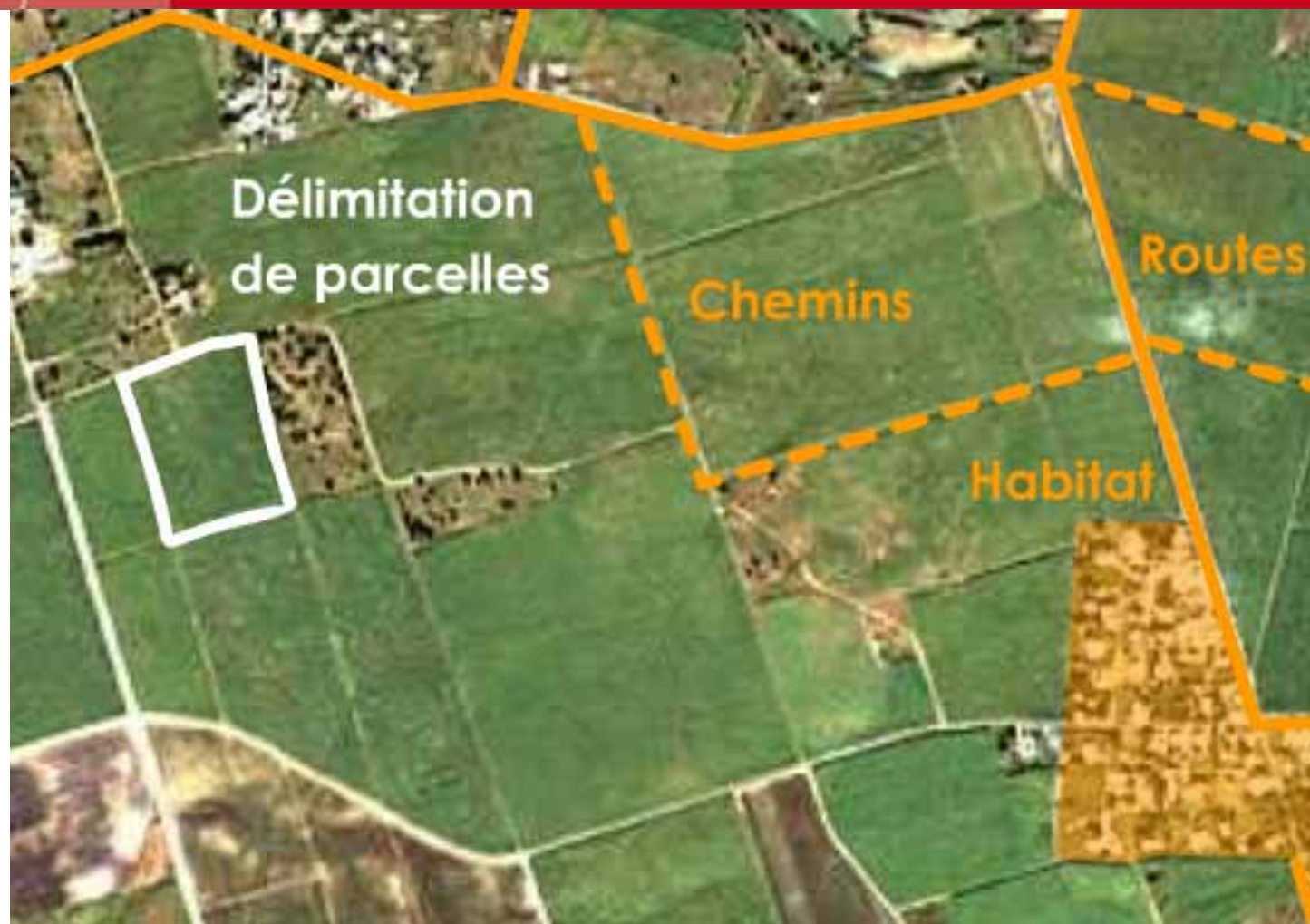


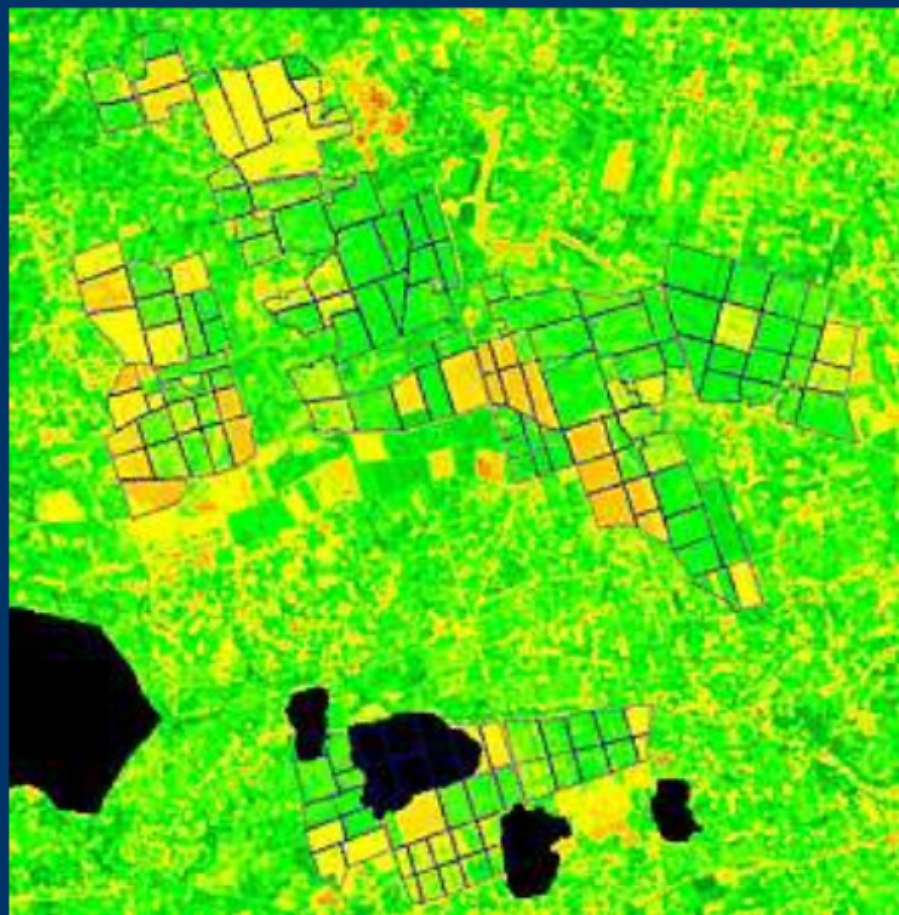
Image Quick Bird à 70 cm de résolution

Suivi de la croissance des plantes

Indices de végétation calculés à partir d'images Spot

Résolution 10 m

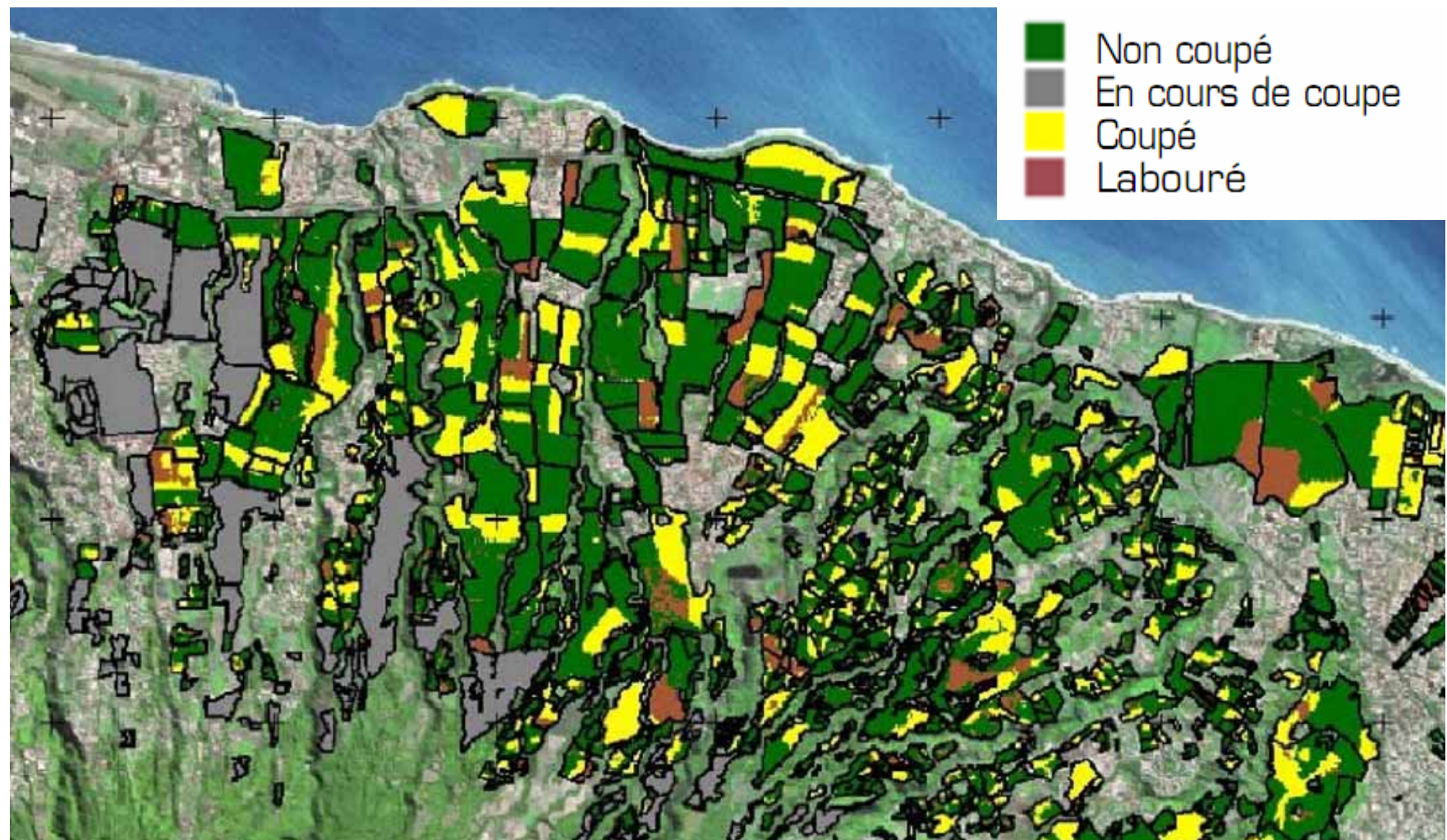
Sept. 2002 à juin 2004



19 juin 2004



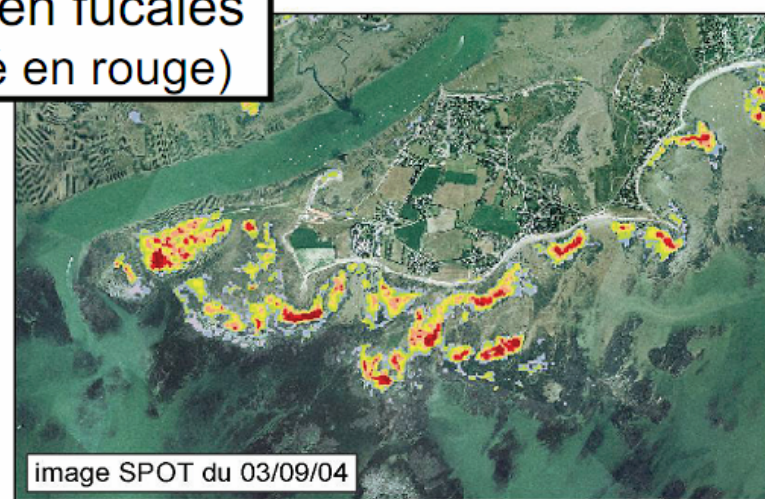
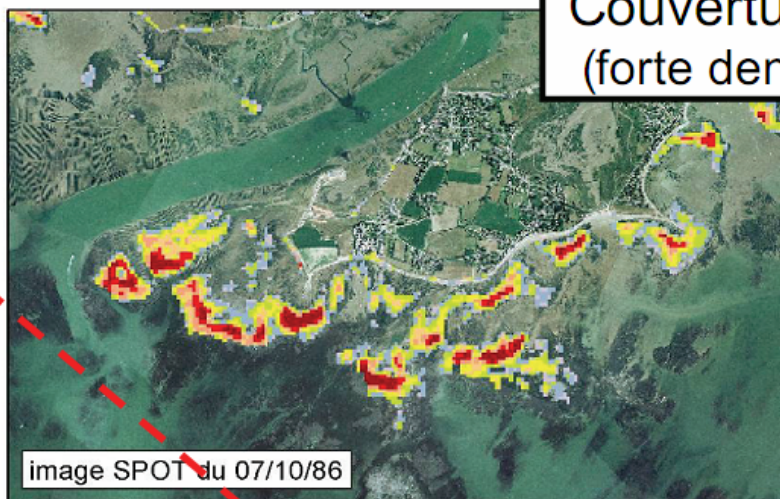
Carte des coupes dans les parcelles de cannes à sucre d'après une image SPOT 5



<http://www.spotimage.com/web/791-aide-a-la-gestion-de-production.php>

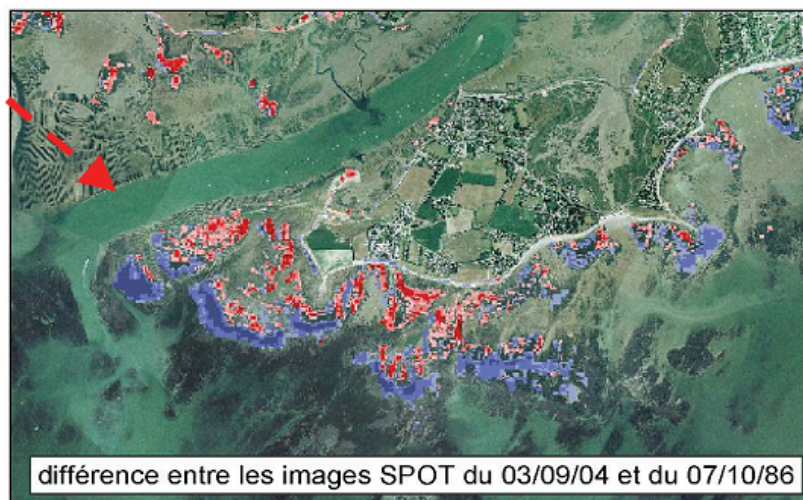
Veille environnementale

Couverture en fucues
(forte densité en rouge)



0 390 780 1 560 2 340 3 120 Mètres

Zoom sur la
zone de
régression (en
bleu) de la
couverture en
fucues localisée
sur Penerf



II – La photographie aérienne

2-1 Trois types de photographies aériennes

2-2 La photographie aérienne vs l'image satellite, un match perdu d'avance ?

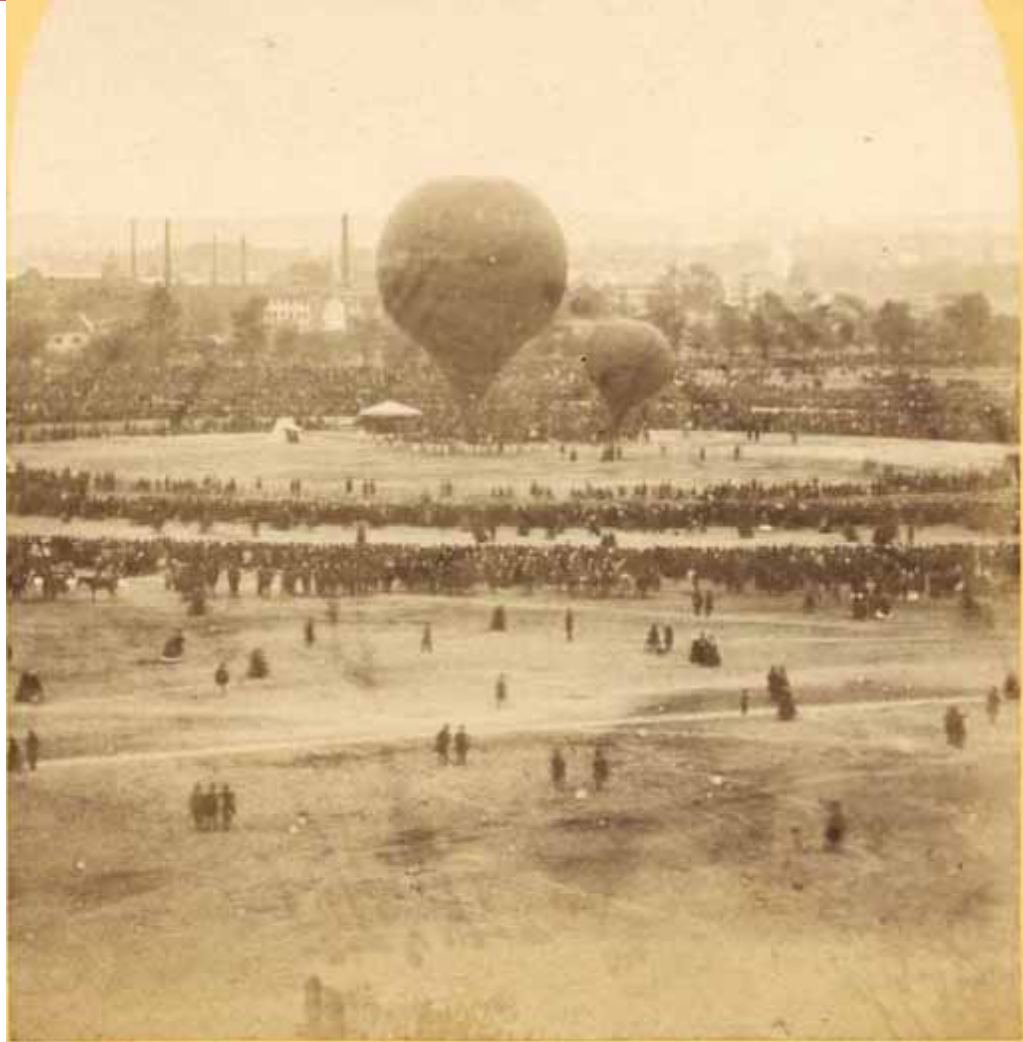
Introduction

1858 Nadar (1820-1910) prend la première photographie aérienne à partir d'un aérostat au dessus du quartier du Kremlin Bicêtre à Paris.



Gravure 1896 (1869?) Nadar en ballon. "Nadar, élevant la photographie à la hauteur de l'Art." by Honoré Daumier.

Paris, champ de mars, 1863, ballon de Nadar



Paris, Champ de Mars. 18 Octobre 1863 à 5 heures du soir. Seconde ascension du ballon de Nadar : le Géant. A sa droite, le «grand ballon des fêtes ». Photographie stéréoscopique. Collection Francis Dupin. <http://photostereo.org>

Développement historique

- ❑ Le développement rapide de l'aviation, à partir des années 1910, stimule le développement de la photographie aérienne
- ❑ En France les premières opérations systématiques de couverture du pays par la photographie aérienne date de 1930
 - ➔ Avec la création au sein du Service Géographique des Armées (qui deviendra l'IGN) d'une section dédiée au photographie.
- ❑ Utilisation traditionnelle des images aériennes
 - ➔ La réalisation de carte topographique
 - ➔ L'illustration de phénomènes géographiques
 - ➔ Photo-interprétation : travail d'analyse des formes et de l'organisation des territoires.
 - ➔ Cf : En 1948 : Emmanuel de Martonne publie Géographie aérienne

2-1 Trois types de photographie aérienne

Deux critères permettent de distinguer les photographies aériennes

❑ L'angle de prise de vue

- ➔ Prise de vue à axe vertical
- ➔ Prise de vue à axe oblique

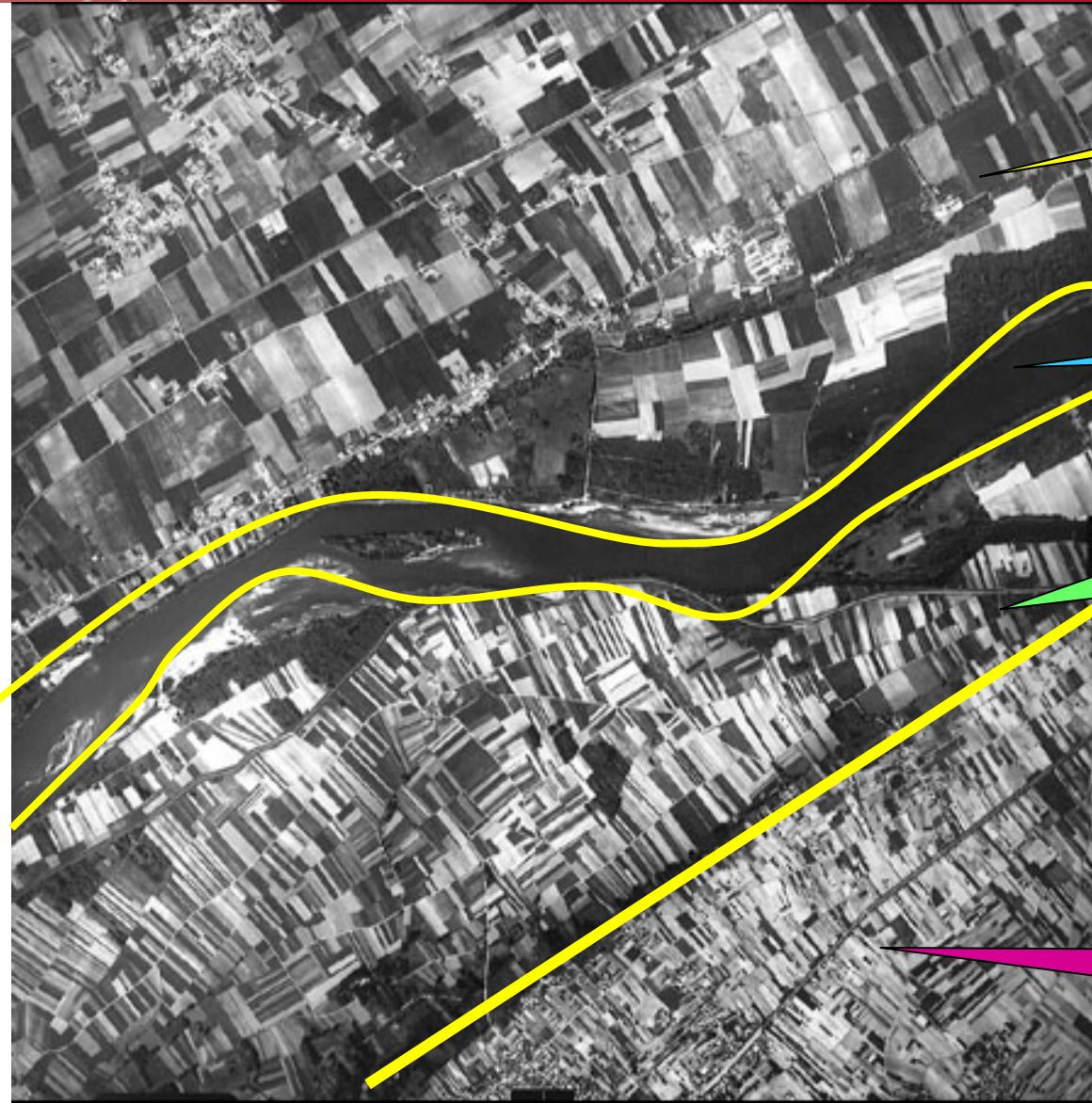
❑ L'altitude de la prise de vue

- ➔ Haute altitude (supérieure à 10 km) : avion de ligne
- ➔ Basse altitude (3-6 km)
- ➔ Très basse altitude (300 mètres) : avion de tourisme

❑ 3 types de photographies aériennes

- ➔ les photos verticales,
- ➔ les photos obliques à haute altitude
- ➔ les photos obliques à basse altitude

Photographie verticale de la vallée de la Loire à Beaugency



Beauce : parcellaire compacte

Loire

Parcellaire en lanière
(agriculture sur les terrasses
du fleuve)

Parcelles de vignobles
(petites) : parcellaire
pulvérisé (Sologne)

Périphérie ouest de Nancy, 1968 (IGN)

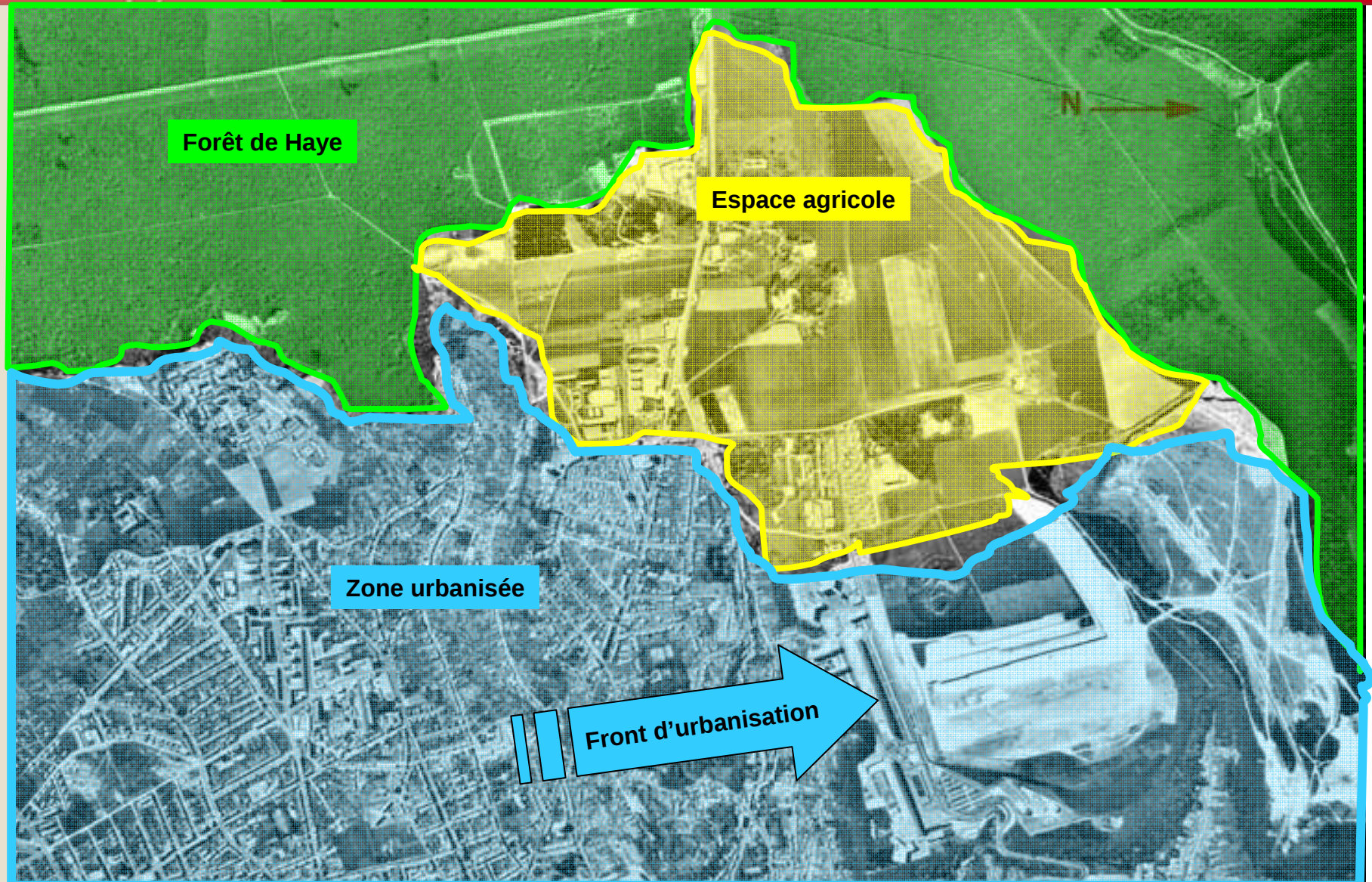


Image Landsat



2) Photographie aérienne oblique à haute altitude : Agglomération de Nancy 2006



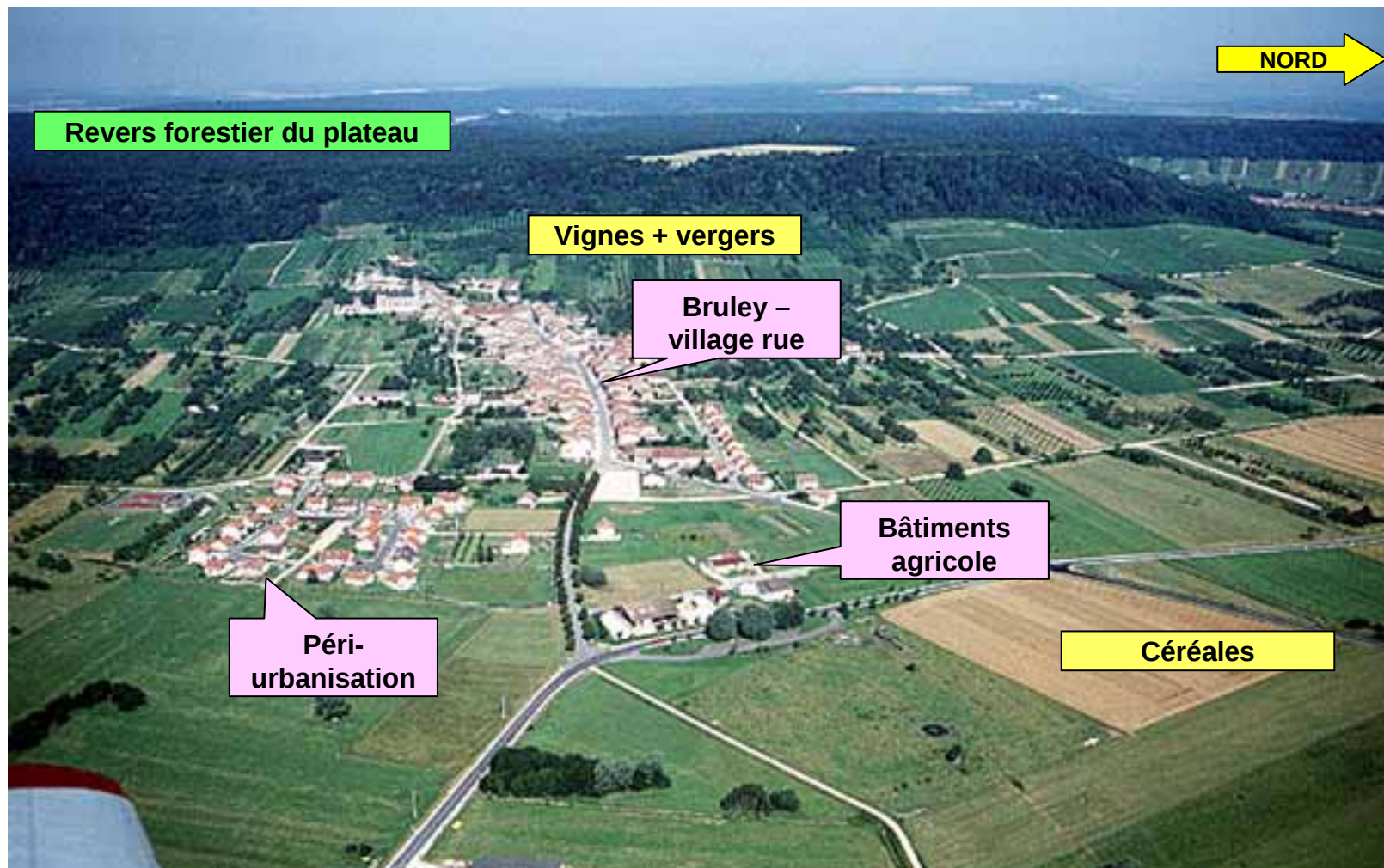
Township des grandes plaines – Middle West – EUA 1992



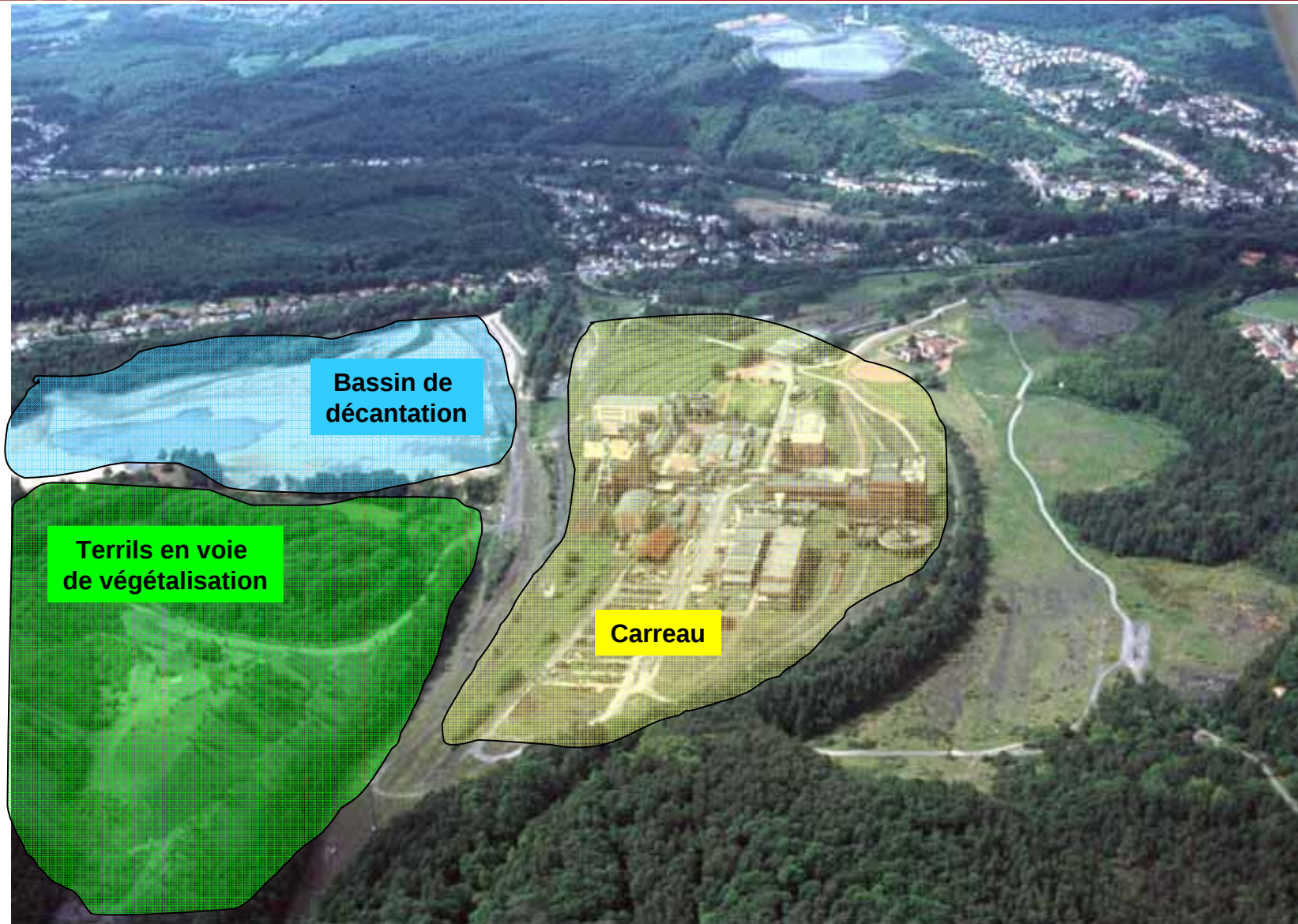
Cliché A. Humbert

3) La photographie aérienne oblique à basse altitude

Paysage de côte de Meuse – Bruley



Carreau Wendel à Petite Rosselle en 2002

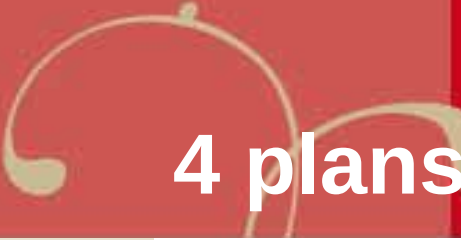


2-2 La photographie aérienne vs image satellite

Un match perdu d'avance ?

Toute photographie est une image, mais toute image n'est pas une photographie

- ❑ L'énergie électromagnétique peut être perçue de façon photographique ou de façon électronique.
 - ➔ **Le processus photographique** utilise une réaction chimique sur une surface sensible à la lumière pour capter et enregistrer les variations d'énergie.
 - ➔ Une photographie peut être affichée en format numérique en divisant l'image en pixels. La luminosité de chaque pixel est représentée par une valeur numérique.
 - ➔ **Une image** est une représentation graphique, quels que soit la longueur d'onde ou le dispositif de télédétection qui ont été utilisés pour capter et enregistrer l'énergie électromagnétique.
- ❑ Toute photographie est une image, mais les images ne sont pas toutes des photographies.



4 plans d'opposition

1. La vision globale et détaillé du paysage
2. Le caractère multi-spectral
3. La répétitivité ou fréquence des passages
4. Format numérique

1. Vision globale ou détaillé d'un paysage

❑ Saisir des grandes scènes : **avantage image satellite**

- ➔ 7200 km² pour les images SPOT par exemple (la taille moyenne d'un département français) contre 10 km² pour une photographie aérienne.
- ➔ Il est alors possible de repérer des éléments structurants invisibles sur une photo (une ligne de faille, des répartitions de masse végétale etc.)

❑ Saisir des petites scènes et des détails : **avantage image satellite**

- ➔ Les images satellites THR (très haute résolution) permet d'obtenir une vue de détail

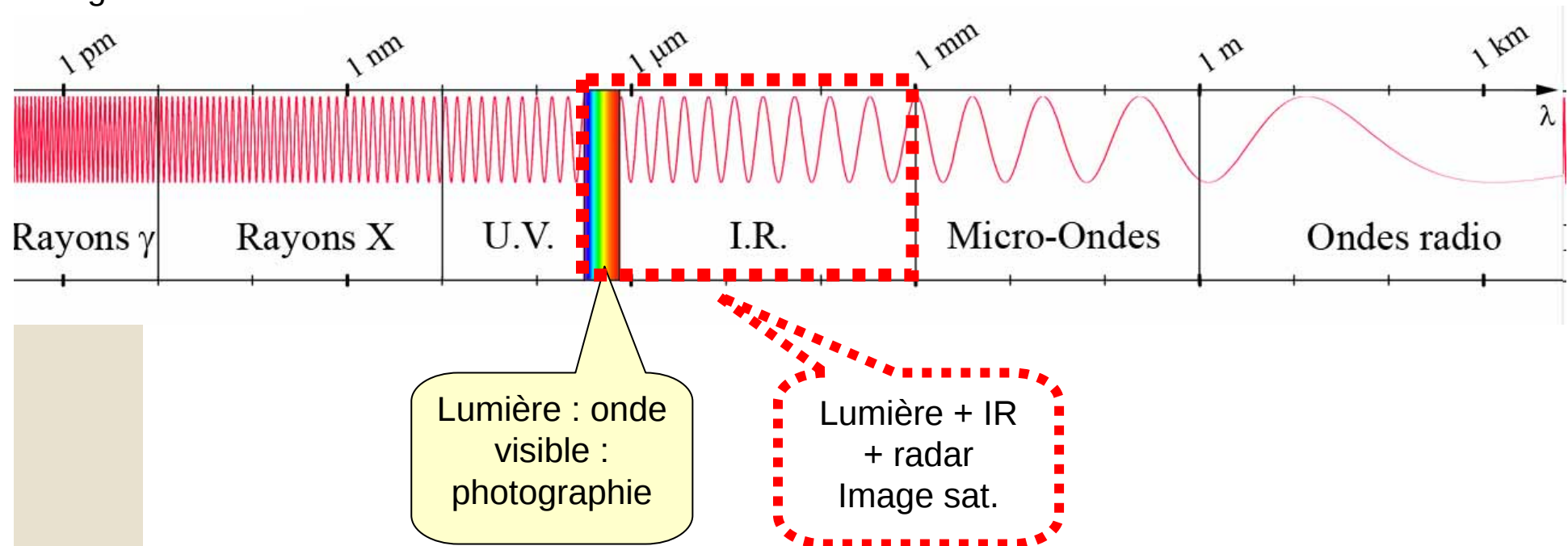
❑ Accessibilité des zones inaccessibles : **égalité**

- ➔ Dans les deux cas les zones peuvent servir à étudier des zones difficiles d'accès (ex : Amazonie, hautes latitudes)

2. Le caractère multi-spectral

- Étendue du spectre électromagnétique capté :
avantage image satellite

Longueur d'onde



Les satellites recueillent des informations sur une largeur plus ou moins grande du spectre lumineux visible et de l'infrarouge. Cela permet des analyses précises. Il est possible de ne faire apparaître que certains phénomènes. Et de quantifier des phénomènes invisibles à l'œil nu

3. Vision diachronique

❑ Répétitivité : **avantage image satellite**

- ➔ Spot passe tous les 26 jours au même endroit, Landsat tous les 16 jours. En moyenne pour la France on peut obtenir entre **3 et 4 couverture complète par an**.
- ➔ Photographie aérienne : Depuis 1945, l'IGN assure une couverture régulière du territoire avec une **fréquence moyenne de cinq ans**, mais variant de dix ans sur les zones de faible développement, à trois ou quatre ans pour les zones urbanisées à développement rapide.

❑ Ancienneté : **avantage photographie aérienne**

- ➔ La première couverture systématique de la France date de 1939 et s'achève en 1952

4. Format numérique et traitement des images

- ❑ NB : Le format numérique ouvre le champ à de nombreux traitements numériques qui ont contribué à leur tour à la multiplication des applications de la télédétection.
- ❑ Format numérique : **avantage image satellite**
 - ➔ La photographie aérienne argentique peut-être numérisée mais cela pose des problèmes car une partie de la qualité de l'image est perdue.
 - ➔ Les images satellites sont directement captée sous forme de fichiers numériques.

Résultat

- ❑ L'image satellite l'emporte à 4 contre 1 (avec une égalité).
- ❑ C'est l'avenir et le présent de l'imagerie satellitaire.

III – Représenter la terre

3 –1 Des représentations
métaphoriques du monde

3–2 L'invention de la carte moderne

La question du relief

3-3 La carte : enjeux contemporains