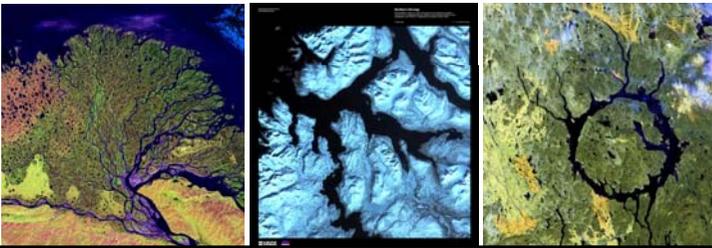


I. Introduction à la télédétection

B. Imagerie satellitaire



Plan

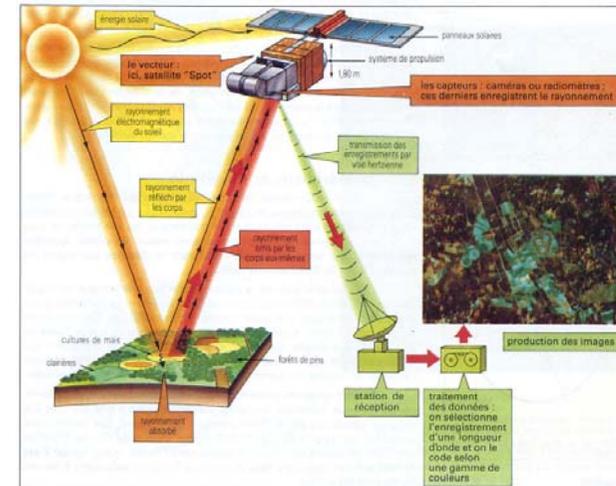
1. Bases physiques - rappels
2. Caractéristiques des capteurs et vecteurs
3. Capteurs – vecteurs : une revue
4. Image en télédétection
5. Traitements et analyse d’image en télédétection
6. Applications de l’imagerie satellitaire

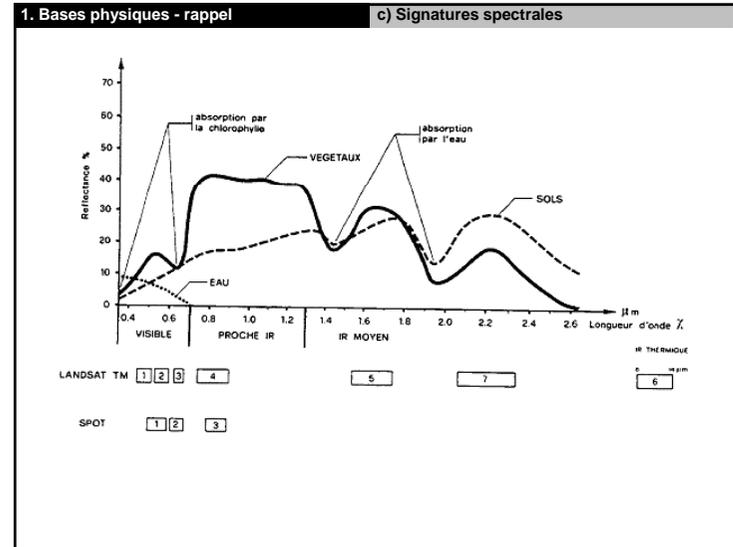
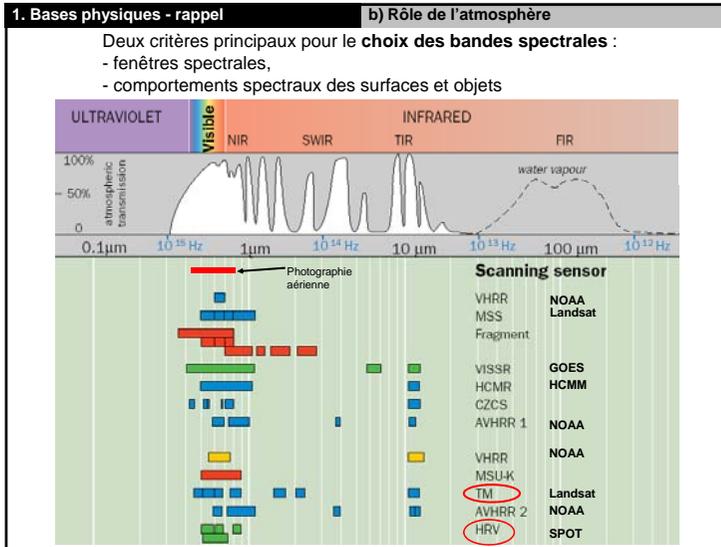
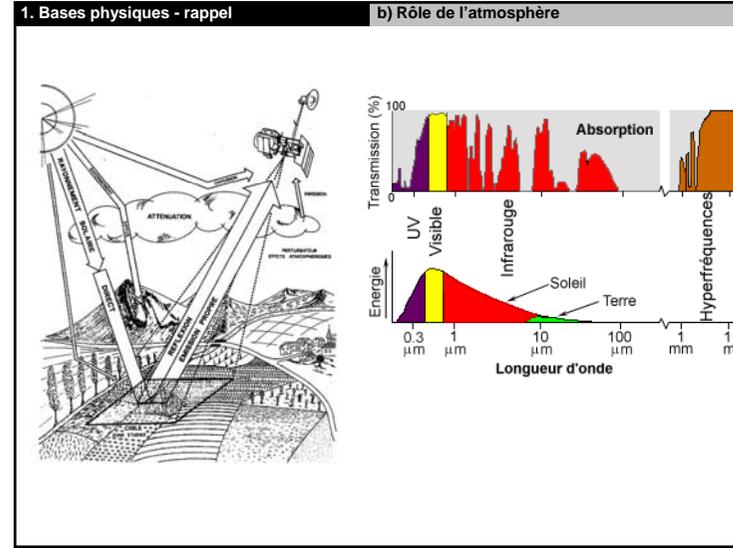
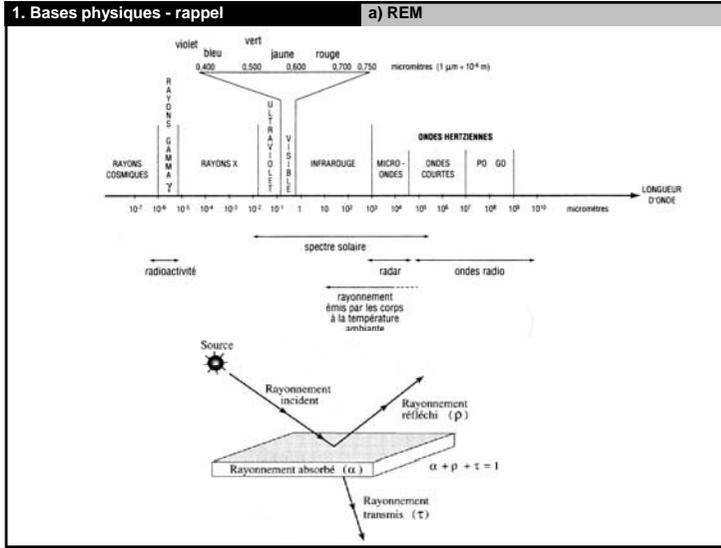
1. Bases physiques - rappel

- a) Rayonnement électromagnétique - rappel
- b) Le rôle de l’atmosphère
- c) Le rayonnement et la matière - rappel

1. Bases physiques - rappel

a) REM





2. Capteurs - vecteurs : caractéristiques

- a) Définitions
- b) Détection passive et active
 - i. Radiomètres imageurs
 - ii. Radar
- c) Rayonnement électromagnétique et télédétection – bilan
- d) Résolution
- e) Satellites selon le type d'orbite

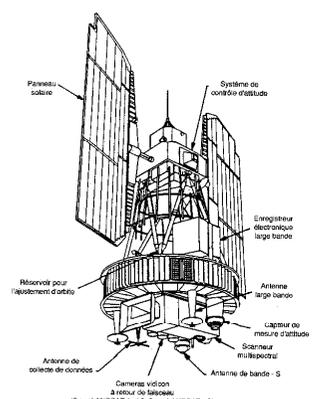
2. Capteurs - vecteurs : caractéristiques **a) Définitions**

Capteur : instrument qui enregistre le REM émis ou réfléchi
 « Instrument qui recueille de l'énergie radiative provenant de la scène visée et délivre un signal électrique correspondant et mesurable »
Bonn et Rochon, 1992

3 grands types de capteurs :

- les appareils photographiques,
- les radiomètres imageurs,
- les capteurs actifs (radars)

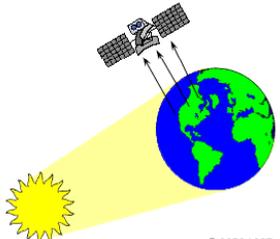
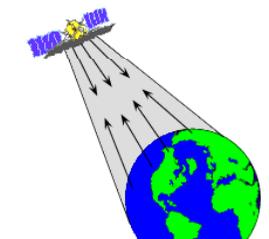
Vecteur : véhicule sur lequel sont embarqués les capteurs (avions, satellites), en orbite autour de la terre



2. Capteurs - vecteurs : caractéristiques **b) Détection active et passive**

Capteurs passifs enregistrent le rayonnement naturel, lumière visible mais aussi infrarouge ou micro-onde, sous forme numérique

Capteurs actifs (radars) émettent artificiellement un rayonnement pour en étudier les interactions avec l'objet à étudier.

Le **signal reçu** par un capteur passif peut comprendre de l'**énergie émise** par l'atmosphère, **réfléchi** de la surface, émise de la surface, émise par la cible ou transmise et ensuite émise de la surface.

Les radars **émettent** à l'aide d'une antenne un rayonnement micro-onde de forte intensité, et mesurent le **rayonnement rétrodiffusé** par la surface étudiée. Les radars sont des capteurs "tous temps"

2. Capteurs - vecteurs : caractéristiques **b) Radiomètres imageurs**

Radiomètre imageur: Instrument qui mesure quantitativement l'intensité du rayonnement électromagnétique dans certaines bandes de longueurs d'ondes, dans toute partie du spectre électromagnétique.

La constitution d'une image est obtenue par l'**acquisition séquentielle** d'informations radiométriques provenant d'une fraction de la surface du paysage observé.

La répétition de l'acquisition au cours du mouvement du vecteur (balayage) permet la constitution d'une image : l'image est un ensemble de mesures radiométriques organisées en lignes et colonnes.

- les détecteurs proprement dits sont des **cellules photosensibles** qui convertissent l'énergie radiative -luminance- en un courant électrique faible, dont l'intensité varie avec celle du rayonnement
- le rayonnement parvient au détecteur à travers une série de **dispositifs optiques**, miroirs, lentilles et filtres qui focalisent le rayonnement et séparent les bandes spectrales à mesurer.

2. Capteurs - vecteurs : caractéristiques **b) Radiomètres imageurs**

Balayage perpendiculaire

Le **balayage** du paysage permet la constitution de l'image

- un miroir tournant ou oscillant, mû par un moteur.
- le miroir réfléchit vers le détecteur le rayonnement en provenance de portions de la surface du sol
- à chaque tour ou oscillation correspond l'acquisition d'une ou plusieurs lignes, la répétition est assurée par le mouvement du vecteur

Balayage parallèle

- plusieurs cellules sensibles montées sur des barrettes analysent en une seule fois chaque ligne du paysage,
- le risque de distorsion dus au mécanisme d'oscillation ou de rotation du miroir est éliminé.

2. Capteurs - vecteurs : caractéristiques **b) Radiomètres imageurs**

Balayage perpendiculaire

- A - miroir rotatif
- B - détecteur
- C - champs de vision instantanée
- D - cellule de résolution au sol
- E - champs de vision angulaire
- F - couloir-couvert

La rayonnement qui atteint le capteur est divisé en plusieurs composantes spectrales: UV, le visible, le proche infrarouge, l'infrarouge

Balayage parallèle

- A - ensemble des détecteurs alignés
- B - plan focal de l'image
- C - système des lentilles
- D - cellule de résolution au sol

Un ensemble des détecteurs appartient à chacune des bandes spectrales

La résolution spatiale, spectrale sont plus élevées dans les balayeurs perpendiculaires

2. Capteurs - vecteurs : caractéristiques **b) Radar**

Capteurs actifs à hyperfréquences (microondes)

Imagerie sous toutes conditions et de jour comme de nuit

Les capteurs actifs se composent d'un émetteur, qui est la source du rayonnement, et d'un détecteur qui mesure le rayonnement de retour de la surface observée.

Le grand avantage du radar est d'utiliser des longueurs très grandes, entre 0,8 cm et 1 m, pour lesquelles l'atmosphère, y compris les nuages, est complètement transparente ;

- A - impulsions d'hyperfréquences émises par le radar
- B - concentrées en un faisceau
- C - l'énergie rétrodiffusée

La mesure du délai entre la transmission et la réception de l'impulsion rétrodiffusée permet de déterminer la **distance** entre la cible et le radar

2. Capteurs - vecteurs : caractéristiques **b) Radar**

Le domaine des hyperfréquences: Grand nombre de **bandes spectrales** et l'effet de la **polarisation** font du radar une source d'information multiple

beaucoup plus large que le domaine du visible et de l'infrarouge

40	Ka	0.75
26.55	K	1.1
18	Ku	1.67
12.5	X	2.4
8	X	3.75
4	C	7.5
2	S	15
1	L	30
0.3	P	100

Image prise en bande C

Image de la même région prise en bande L

Images prises en bande C avec divers combinaisons de polarisation

2. Capteurs - vecteurs : caractéristiques **c) REM et télédétection**

1. Domaine optique (spectre solaire)
2. Infrarouge thermique
3. Télédétection active (radar)

1. Le domaine du spectre solaire :

- le visible et le proche infrarouge, de 0,3 à 4 μm ;
- la source du REM - le soleil ;
- le REM solaire réfléchi par la surface est capté ou mesuré par les émulsions photosensibles (photographie) ou des radiomètres imageurs qui opèrent des bandes spectrales nombreuses et bien définies ;
- les effets de l'atmosphère limités ;
- l'intensité des flux radiatifs est suffisante : très bonne *résolution spatiale* ;
- le domaine de la télédétection des espaces terrestre.

2. Capteurs - vecteurs : caractéristiques **c) REM et télédétection**

1. Domaine optique (spectre solaire)
2. Infrarouge thermique
3. Télédétection active (radar)

2. L'infrarouge thermique :

- au-delà de 3 μm, l'atmosphère n'autorise la transmission du rayonnement que dans un nombre restreint de fenêtres (les plus importantes : entre 3,5 et 3,9 μm et entre 10,5 et 12,5 μm)
- le rayonnement émis par la surface elle-même.
- l'intensité des flux radiatifs mesurés est plus faible qu'aux courtes longueurs d'onde : la *résolution spatiale* plus limitée qu'en télédétection visible.
- la télédétection infrarouge - mesures de la température du sol, de l'océan, ou des nuages.
- capteurs disponibles - les radiomètres imageurs.

2. Capteurs - vecteurs : caractéristiques **c) REM et télédétection**

1. Domaine optique (spectre solaire)
2. Infrarouge thermique
3. Télédétection active (radar)

3. Les micro-ondes ou hyperfréquences:

- la transparence de l'atmosphère est très grande; même les nuages (sauf pendant les précipitations) n'atténuent que très faiblement le rayonnement.
- en revanche - l'intensité du rayonnement émis naturellement par les surfaces est très faible. *Les radiomètres micro-onde (télédétection passive) ne peuvent mesurer le rayonnement qu'en visant des surfaces très vastes (plusieurs centaines de km2).*
- Malgré son grand intérêt, la télédétection micro-onde passive reste limitée aux applications météorologiques et océanographiques ou glaciologiques (glaces de mer), pour lesquelles la *résolution spatiale* n'a pas une grande importance.
- Les microondes sont surtout le domaine de la *télédétection active*.

2. Capteurs - vecteurs : caractéristiques **d) Résolution**

Résolution spatiale

Dépend du champ instantané d'observation du capteur. Celui-ci détermine, selon l'altitude du vecteur, les dimensions de la surface terrestre qui est vue à un moment donné. Ce champ est imposé par la sensibilité des capteurs. La *résolution spatiale* détermine finalement la taille du pixel, élément le plus petit qui peut être distingué sur l'image finale.

Résolution radiométrique

Capacité d'un capteur à distinguer, dans une bande spectrale définie, des différences de luminance plus ou moins grandes

Résolution faible (2 bits)	Résolution fine (8 bits)

Résolution spectrale

Aptitude d'un capteur à discerner des bandes de longueur d'onde différente; elle dépend surtout de la qualité des dispositifs optiques

0.4 μm	0.7 μm		
Film noir et blanc	Bleu + Vert + Rouge		
0.4	0.5	0.6	0.7
Film couleur	Bleu	Vert	Rouge

Résolution temporelle - répétitivité

2. Capteurs - vecteurs : caractéristiques **e) Orbites**

Satellite « à défilement »

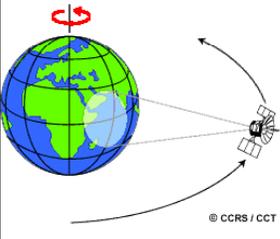
- orbite basse 500 à 1500 km d'altitude, quasi-polaire, héliosynchrone
- avec une période comprise entre 90 et 120 mn le nombre de révolutions en une journée est compris entre 12 et 16:
- ce type de satellite survole en une journée des régions très variées, puisque l'orbite est presque fixe, alors que la Terre effectue une révolution.
- la période orbitale est choisie selon le champ de vision du ou des capteurs, de façon à ce que, au bout d'une durée variable appelée *cycle orbital*, lorsque le satellite a pu couvrir la totalité, ou presque, de la surface terrestre, il retrouve exactement la position du cycle précédent, et puisse à nouveau acquérir des images au-dessus des mêmes régions, selon les mêmes orbites et les mêmes horaires.



© CCRS / CCT

2. Capteurs - vecteurs : caractéristiques **e) Orbites**

- Les **satellites géostationnaires** sont installés sur une orbite circulaire dans le plan de l'Equateur, et de période égale à la durée d'une rotation de la Terre sur elle-même (orbite géosynchrone).
- L'altitude est d'environ 35 800 km.
- Ces satellites apparaissent donc stationnaires, à une longitude donnée, face à l'Equateur.
- Le champ de vision d'un satellite géostationnaire s'étend de 60° N à 60° S, et sur 120° de longitude – une hémisphère .
- En revanche, la résolution spatiale est limitée par l'éloignement de la Terre.
- Ce type d'orbite est utilisé par les satellites météorologiques et de télécommunications



© CCRS / CCT

3. Capteurs – vecteurs : revue

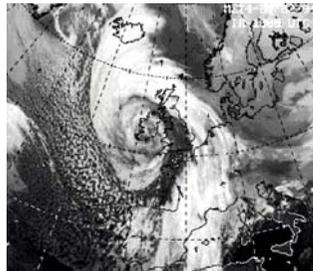
- a) Satellites météorologiques
- b) Satellites d'observation de la Terre
 - i. Système Landsat
 - ii. Système SPOT
- c) Satellites d'observation marine
- d) Satellites RADAR
- e) Satellites Haute Résolution

3. Capteurs – vecteurs : revue **a) Satellites météorologiques**

Une des premières application civiles de la télédétection: Premier satellite météo TRIOS-1 lancé en 1960



Les satellites géostationnaires fournissent les images hémisphériques de la surface terrestre



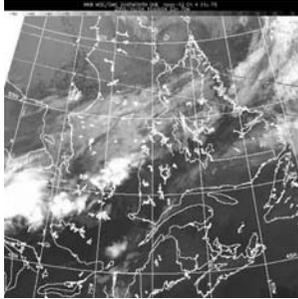
Les satellites météo se caractérisent par la résolution spatiale grossière la couverture des grandes surfaces terrestres et la résolution temporelle fine

3. Capteurs – vecteurs : revue **a) Satellites météorologiques**



GOES

- Orbite géostationnaire (36 000 km)
- Images hémisphériques et images à grande échelle
- Suivi des températures, des vents, de l'humidité, de la couverture des nuage
- Très grande résolution temporelle (une image chaque 15 min)

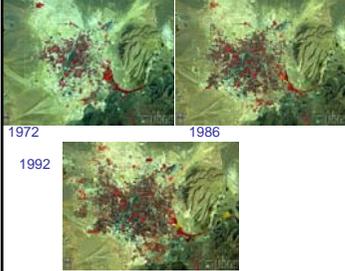


NOAA

- Orbite polaire héliosynchrone (830-870 km)
- Images de chaque région de la Terre au moins à toutes les 6 heures
- Surveillance de l'eau, des nuages, de la glace, de la température, de l'humidité du sol etc.

3. Capteurs – vecteurs : revue **b) Système Landsat**

Orbite héliosynchrone polaire
 Landsat 1,2,3 altitude 900 km, répétitivité 18 jours
 Landsat 4,5 altitude 700 km, répétitivité 16 jours
 Capteurs et domaines spectrales façonnés pour l'observation de la Terre
Longues séries de données
 Croissance urbaine de Las Vegas



1972 1986 1992

Premier satellite d'observation terrestre
 Landsat-1 lancé en 1972



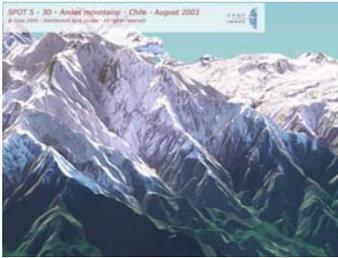
Lac Kara-kul, Tadjikistan de l'est, 2001

Deux générations de capteurs :
MSS – 4 bandes spectrale du visible et IR
 Résolution spatiale 60 sur 80 m
 Résolution radiométrique 6 octet
TM – 7 bandes spectrale du visible et IR
 Résolution spatiale 30 m (IR 120 m)
 Résolution radiométrique 8 octet

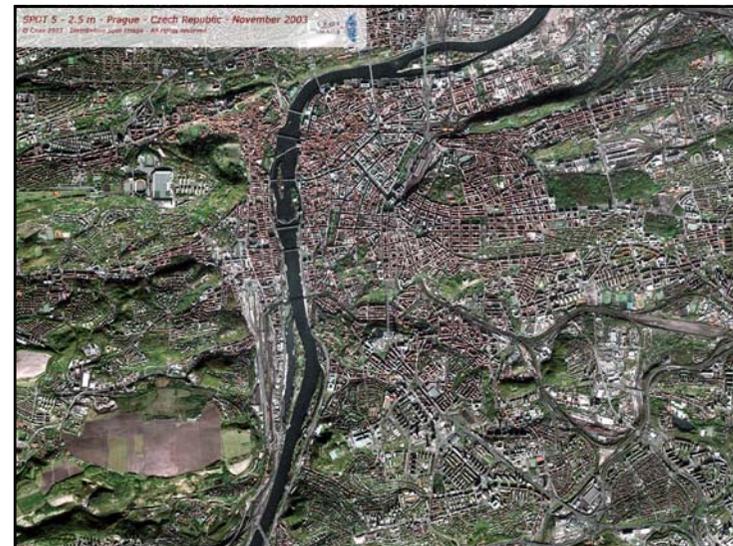
3. Capteurs – vecteurs : revue **b) Système SPOT**

Système Pour l'Observation de la Terre
 Conçu par CNES de la France avec la participation de la Belgique et de la Suède
 SPOT-1 lancé en 1986

Orbite héliosynchrone polaire altitude 830 km, répétitivité 26 jours
 Résolution fine
Dépointage des capteurs possible (jusqu'à 27°)
 qui permet l'acquisition de données en stéréoscopie



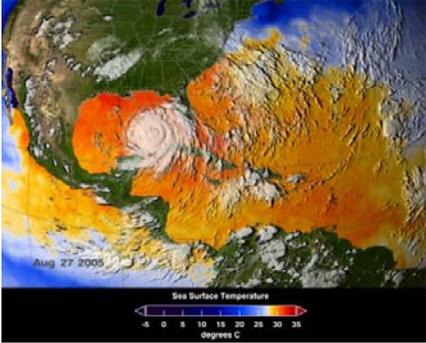

SPOT 1-3 – 3 bandes spectrale du visible et IR Résolution spatiale 20 m (10 m en panchromatique)
SPOT 4 –bandes spectrale du visible, IR et MIR Résolution spatiale 20 m (10 m en panchromatique)
SPOT 5 –amélioration de la résolution spatiale à 2.5 et 5 m en panchromatique (10 m en visible et IR, 20 en MIR)



3. Capteurs – vecteurs : revue **c) Satellites d'observation marine**

Premier satellite de l'observation marine
Nimbus-7 lancé en 1978

- Observation de la couleur et de la température des océans
- Surveillance de la production primaire, de la concentration du phytoplancton, et des autres particules en suspension
- Observation de l'influence des océans sur les processus climatiques
- Surveillance des cycles du carbone, du soufre et de l'azote



Aug 27 2005
Sea Surface Temperature
-4 0 5 10 15 20 25 30 35
degrees C

Ouragan Katrina

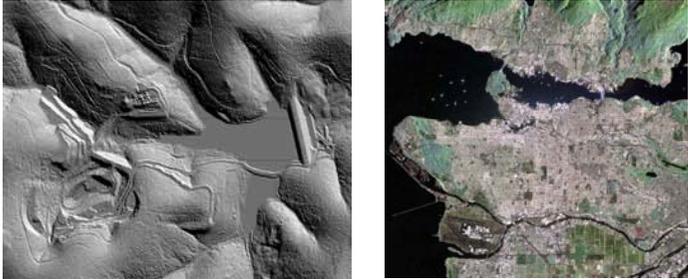
Quelques satellites marines :
Nimbus-7 – 4 bandes spectrales du visible, PIR et IR thermique; Résolution spatiale 825 m
SaeWIFS – 7 bandes spectrales très étroites
 Résolution spatiale 1.1 km

3. Capteurs – vecteurs : revue **d) Satellites RADAR**

Premier satellite radar civil
SEASAT lancé en 1978

Complètent l'information procurée par des satellites optiques:

- **Radar stéréoscopique** - les interférogrammes pour déduire le Modèle Numérique de Terrain
- **Radar polarimétrique** – pour améliorer et multiplier les possibilités de mesures de caractéristiques physiques et géométriques des objets observés
- Acquisition des données à travers les nuages et pendant le jour et la nuit



3. Capteurs – vecteurs : revue **e) Satellites Haute Résolution**

Détection d'objets de dimension métrique et sub-métrique

Premier satellite civil à haute résolution
IKONOS lancé en 1999

Quelques satellites de haute résolution :

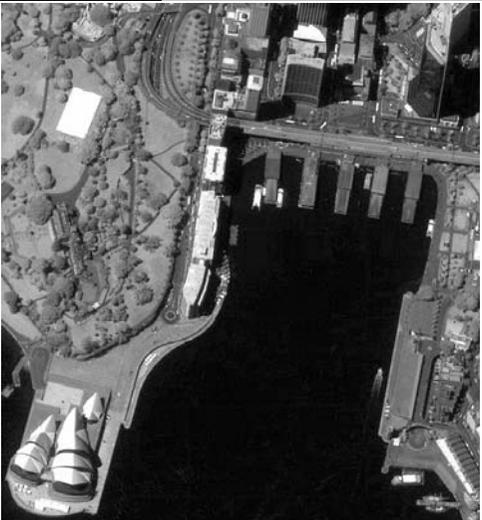
- QuickBird** – 61 cm en panchromatique et 2.44 m en multispectral
- Ikonos** – 1 m en panchromatique et 4 m en multispectral
- KVR-1000** – 2-3 m en panchromatique
- Eros** – 1.8 m en panchromatique



Statue de Liberté prise par QuickBird en 2002

3. Capteurs – vecteurs : revue **e) Satellites Haute Résolution**

Image panchromatique de résolution 1 m prise par Ikonos Sydney, 2000



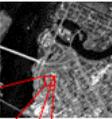
4. Image en télédétection

- a) Image numérique - principes
- b) Composition colorée

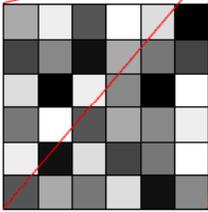
4. Image en télédétection

a) Image numérique - principes

© CCRS / CCT



Une **image numérique** : grille de pixels structurés en lignes et en colonnes où le signal physique est converti en valeurs numériques discrètes

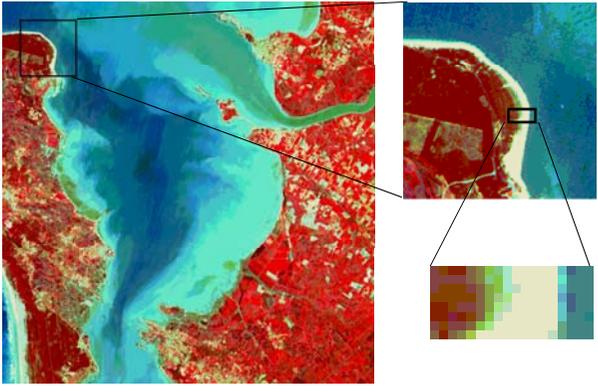


170	238	85	255	221	0
68	136	17	170	119	68
221	0	238	136	0	255
119	255	85	170	136	238
238	17	221	68	119	255
85	170	119	221	17	136

4. Image en télédétection

a) Image numérique - principes

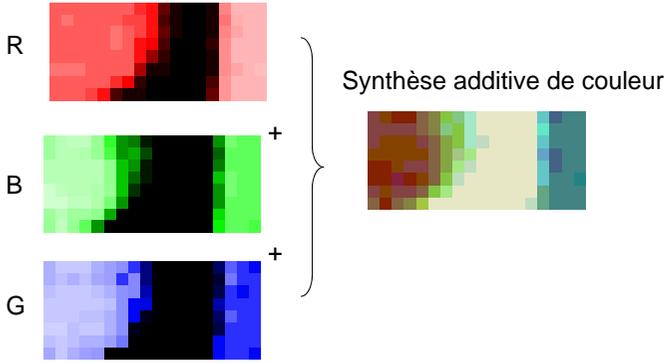
Image multispectrale



4. Image en télédétection

a) Image numérique - principes

Image multispectrale



R

B

G

Synthèse additive de couleur

4. Image en télédétection **a) Image numérique - principes**

Image multispectrale

1 bit – valeur 0 ou 1
 8 bits – 01100101
 8 bits – 2 puissance 8 – possibilité de coder 256 niveau de luminosité
 3 bandes spectrales – possibilité d'afficher plus de 16 millions de couleurs

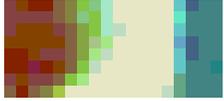
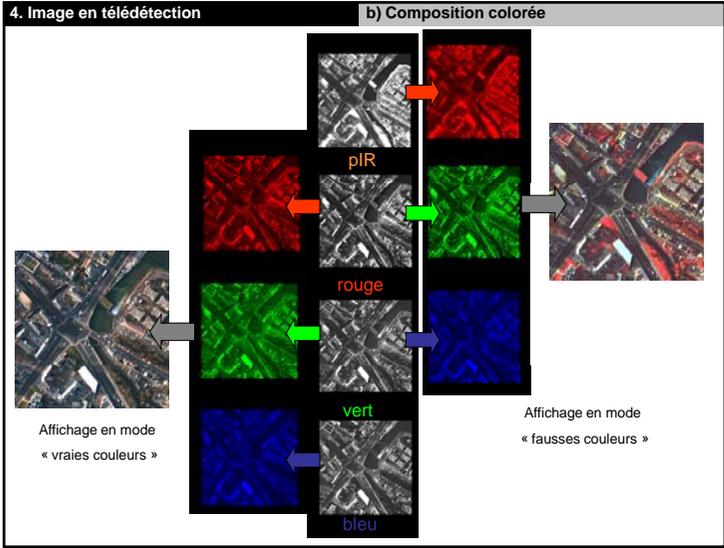


Image RGB 3 fois 8 bits
 A chaque bande spectrale une couleur fondamentale est affectée et représentée selon la valeur de luminosité

4. Image en télédétection **b) Composition colorée**

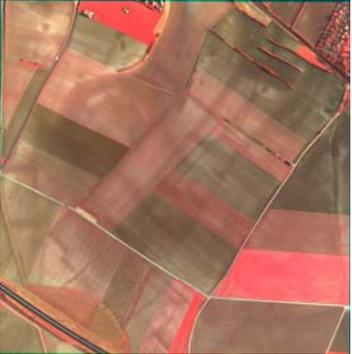


Affichage en mode « vraies couleurs »

Affichage en mode « fausses couleurs »

4. Image en télédétection **b) Composition colorée**

Extrait d'image d'Amiens (33 cm)

Vraies couleurs Fausses couleurs

4. Image en télédétection **b) Composition colorée**

Composition fausse couleur



Vert
Rouge
Infrarouge

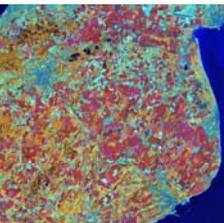
Composition pseudo couleurs



Vert
Proche Infrarouge
Rouge

4. Image en télédétection **b) Composition colorée**

Rouge
Infrarouge
Proche Infrarouge 0.75-0.9µm



analyse de végétation

Vert
Proche Infrarouge 0.75-0.9µm
Proche Infrarouge 2.8-2.35µm



analyse géologique

Rouge
Infrarouge
Proche Infrarouge 2.8-2.35µm



une composition proche à la composition pseudo couleurs

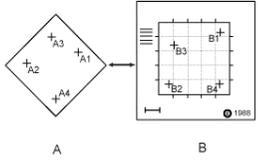
5. Traitement et analyse d'image

- a) Amélioration de l'image : prétraitement (corrections) et rehaussement
- b) Transformation de l'image
- c) Interprétation visuelle
- d) Classification
- e) Exemple (Source : Kergomard C., 2002)

5. Traitement et analyse d'image **a) Amélioration de l'image**

corrections atmosphériques :
afin d'éliminer l'action de l'atmosphère et isoler les signatures spectrales des objets terrestres.

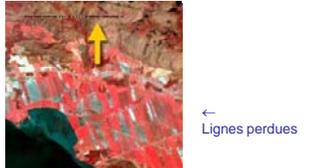
corrections géométriques



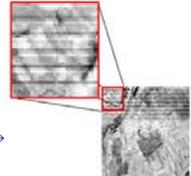
- correction des déformations dues au système de prise de vue
- correction des déformations dues au relief et à la courbature de la Terre
- calage de l'image dans un système de coordonnées

corrections radiométriques

- élimination le bruit des capteurs
- restauration d'image



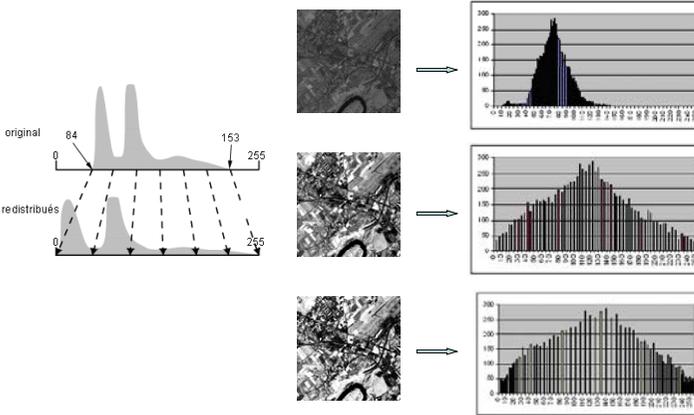
← Lignes perdues



Différence de sensibilité → entre les capteurs

5. Traitement et analyse d'image **a) Amélioration de l'image**

Rehaussement radiométrique
Pour d'extraire de l'information significative de l'imagerie

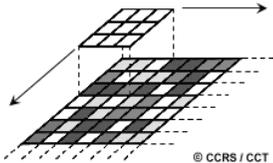


The diagram shows three rows of image processing. Each row starts with an 'original' image and its corresponding histogram. The first row shows a narrow histogram with a peak at 84. The second row shows 'redistribués' (redistributed) data with a wider histogram and a peak at 153. The third row shows further enhancement with a very wide histogram. Each histogram is followed by a corresponding processed image.

5. Traitement et analyse d'image a) Amélioration de l'image

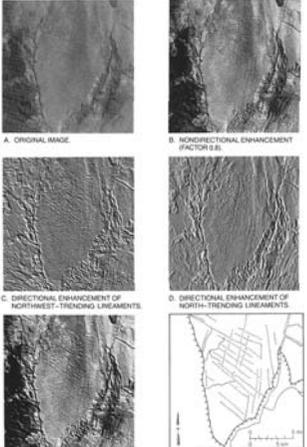
Rehaussement géométrique ou filtrage

Application des filtres spatiaux: opérations sur les valeurs des pixels voisins



© CCRS / CCT

- Lissage
- Renforcement des contours
- Détection des contours orientés ouest/est



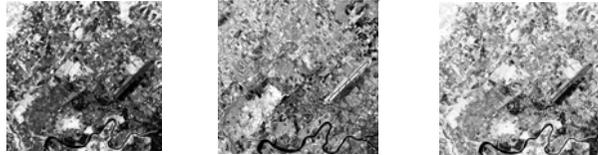
5. Traitement et analyse d'image b) Transformation de l'image

Transformations multispectrales

- convertir les valeurs de luminescence en variables thématiques
- construire des indicateurs synthétiques
- réduire le nombre des données

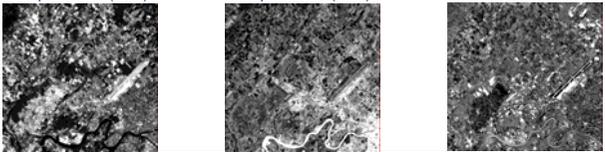
Indices

TM4/TM3 TM5/TM2 NDVI = (TM4-TM3)/(TM4+TM3)



Analyse en composantes principales

Composante 1 (62%) Composante 2 (28%) Composante 3 (8%)

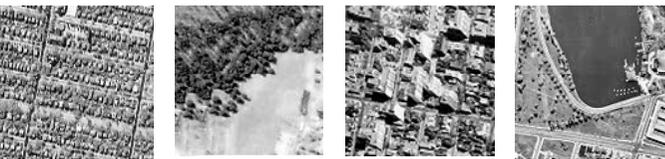


5. Traitement et analyse d'image c) Interprétation visuelle

Tonalité **Forme** **Taille**



Texture **Structure** **Ombres** **Association et situation**



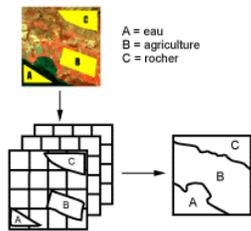
5. Traitement et analyse d'image d) Classification

Faire la correspondance entre les classes spectrales de image et les classes d'information ou les thèmes par regroupements spectraux

Identification de zones « spectralement similaires » à partir des sites d'entraînement

- traitement informatique basé sur les statistiques d'image
- regroupement naturel des pixels

classification supervisée



classification non supervisée

ND's

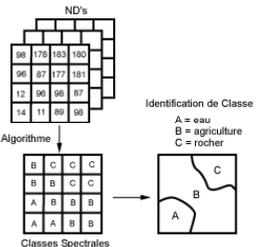
98	178	183	180
96	87	177	181
12	96	98	87
14	11	89	98

Algorithmes

B	C	C	C
B	B	C	C
A	B	B	B
A	A	B	B

Classes Spectrales

Identification de Classe
A = eau
B = agriculture
C = rocher



5. Traitement et analyse d'image **e) Exemple**

Le radiomètre AVHRR à bord des satellites NOAA fournit des **données** codées et transmises sous forme numérique. Organisées en colonnes et lignes, ces données constituent une **matrice** qui peut être restituée sous forme d'images, très différentes selon la méthode utilisée.

La **restitution** repose sur une analyse de l'histogramme des valeurs contenues dans l'image, un découpage en classes ou un étirement de la dynamique exprimée par l'histogramme, le choix d'une palette de gris ou de couleurs adaptée

```

    graph TD
      A[Propriétés des surfaces (terre, mer)] --> B[signatures]
      B --> C[Grandeurs géophysiques réflectance, température]
      C --> D[étalonnage]
      D --> E[Données comptes numériques]
      E --> F[restitution]
      F --> G[Image]
  
```

5. Traitement et analyse d'image **e) Exemple**

L'**image du canal 2 (PIR)** est représentée en niveaux de gris avec une dynamique linéaire.

L'**histogramme** est bimodal :

- les pixels noirs et gris très foncé correspondent aux comptes numériques compris entre 10 et 20 (réflectances très faibles de la mer),
- les pixels gris moyen aux surfaces terrestres (comptes numériques entre 60 et 130).
- un très petit nombre de pixels clairs signalent des nuages

5. Traitement et analyse d'image **e) Exemple**

Les deux images ci-dessus utilisent un découpage en classes en **équipopulation** : ce découpage en classes de largeur inégale, mais avec des effectif de pixels presque égaux, permet une **visualisation plus contrastée**. En revanche, le lien avec les comptes numériques et les grandeurs physiques correspondantes est moins direct.

L'image de gauche utilise une palette de niveaux de gris. L'image de droite est restituée avec le même découpage en équipopulation, mais avec une palette de couleurs « arc-en-ciel ».

5. Traitement et analyse d'image **e) Exemple**

Les comptes numériques qui composent l'image sont liés par une relation d'**étalonnage** aux mesures effectuées par le capteur. Un radiomètre tel que l'AVHRR mesure des luminances, dont la signification est très différente selon les bandes spectrales des différents canaux.

Le traitement physique des données permet d'aboutir, après l'étalonnage en luminances, à des **grandeurs géophysiques** qui caractérisent les surfaces terrestres ou marines, ou les nuages.

```

    graph TD
      A[Propriétés des surfaces (terre, mer)] --> B[signatures]
      B --> C[Grandeurs géophysiques réflectance, température]
      C --> D[étalonnage]
      D --> E[Données comptes numériques]
      E --> F[restitution]
      F --> G[Image]
  
```

5. Traitement et analyse d'image e) Exemple

Dans le **canal 1** (bande spectrale 0,58-0,68 μm -visible rouge), à gauche, et le **canal 2** (bande spectrale 0,725-1,1 μm -proche infrarouge), le radiomètre enregistre la luminance correspondant au **rayonnement solaire réfléchi par la surface terrestre**.

Les données sont étalonnées en **réflectances**, qui peuvent être reliées aux propriétés des surfaces marines ou terrestres plus ou moins végétalisées. Noter les différences entre les canaux rouge et proche infrarouge, qui tiennent en grande partie au comportement de la végétation

5. Traitement et analyse d'image e) Exemple

Dans le **canal 4** (bande spectrale 10,3-11,3 μm) à gauche, et le **canal 5** (11,5-12,5 μm) à droite, le radiomètre enregistre la luminance correspondant au **rayonnement infrarouge thermique émis par la surface terrestre**. La loi de Planck permet de remonter de la luminance à la température de la surface ; la surface n'est cependant pas un corps noir et la température est affectée de l'effet des variations de l'émissivité, ainsi que des effets de l'atmosphère.

5. Traitement et analyse d'image e) Exemple

Températures de surface de la mer

1. Températures des surfaces de la mer :
Les températures fournies par les canaux 4 et 5 de l'AVHRR ne représentent qu'imparfaitement les températures réelles de la surface à cause des effets de l'atmosphère. L'utilisation de deux canaux thermiques permet de corriger ces effets.
Traitement : Calcul de températures corrigées des effets atmosphériques par combinaison linéaire des données des canaux 4 et 5 (« split-window ») :
 $TSM (^{\circ}C) = 3 \cdot T_{can4} - 2 \cdot T_{can5} + 0,5$.
Application d'un masque sur la terre et choix d'une palette de couleurs et d'une échelle des températures adaptées.

5. Traitement et analyse d'image e) Exemple

Indice de turbidité des eaux marines

2. Turbidité des eaux marines :
La réflectance de la surface des eaux marines dans le visible est très affectée par la teneur en matière en suspension (turbidité). L'indice de turbidité est fondé sur la différence des réflectances dans les canaux 1 et 2 du radiomètre AVHRR.
Traitement : Calcul de l'indice de turbidité :
 $Iturb = R_{can1} - R_{can2}$
Application d'un masque sur la terre et choix d'une palette de couleurs adaptée (en rouge les faibles turbidités, en jaune et vert les fortes turbidités).

5. Traitement et analyse d'image

e) Exemple

Indice de végétation (NDVI)



3. Indice de végétation (NDVI) :

Les surfaces couvertes de végétation en cours d'activité chlorophyllienne (photosynthèse) se distinguent par une faible réflectance dans les longueurs d'onde du visible (rouge), et par une forte réflectance dans le proche infrarouge. Divers indices de végétation permettent de distinguer surfaces végétalisées et surfaces minérales.

Traitement : Calcul de l'indice de végétation par différences normalisée (NDVI) :

$$\text{NDVI} = (\text{Rcan2} - \text{Rcan1}) / (\text{Rcan2} + \text{Rcan1})$$

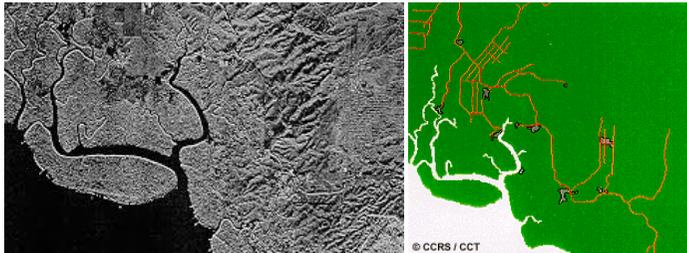
Application d'un masque sur la mer et choix d'une palette de couleurs adaptée (en marron et jaune les faibles indices, en vert les zones de végétation active).

6. Exemples d'application de l'imagerie sat.

- a) Cartographie
- b) Suivi des phénomènes
- c) Détection des changements
- d) Gestion, planification, surveillance

6. Exemples d'application de l'imagerie sat.

a) Cartographie

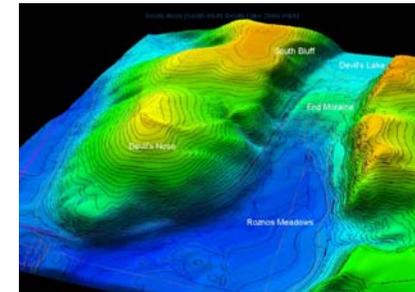
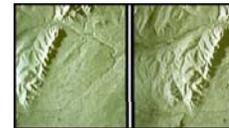


Identification et la localisation géographique de la couverture de base du sol, du drainage et des éléments anthropiques

→ À partir des données de haute résolution spatiale

6. Exemples d'application de l'imagerie sat.

a) Cartographie



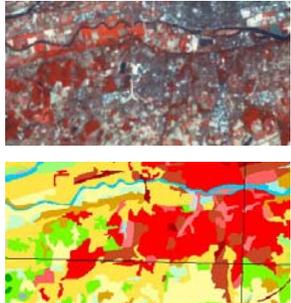
Production des Modèles Numériques de Terrain

→ À partir des images stéréoscopiques et des interférogrammes qui requièrent l'acquisition de deux images de la même cible prises des positions légèrement décalées

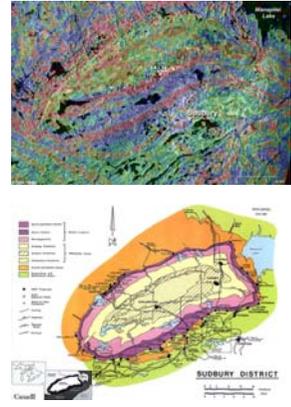
6. Exemples d'application de l'imagerie sat. a) Cartographie

Exemple de l'utilité de l'image RADARSAT pour la cartographie des structures géologiques et de la lithologie

Production des cartes thématiques



CORINE land cover – un inventaire de l'occupation des sols pour coordination de l'information sur l'environnement Europe + les bandes côtières du Maroc et de la Tunisie

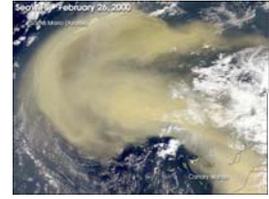


6. Exemples d'application de l'imagerie sat. b) Suivi des phénomènes

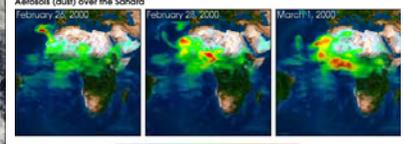
Météorologie et climatologie



↑ Ouragan Rita, 23/09/2005, pris par satellite Aqua



Aerosols (dust) over the Sahara



↑ Février 2000, Afrique de l'Ouest, tempête de sable, pris par satellite TOMS

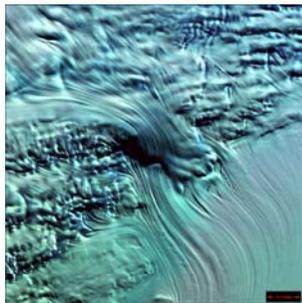
6. Exemples d'application de l'imagerie sat. b) Suivi des phénomènes

Glaciologie

- Type, âge et mouvement de la glace
- Détection et surveillance des icebergs
- Topographie de surface et l'état de la glace
- Surveillance de la pollution
- Etc.



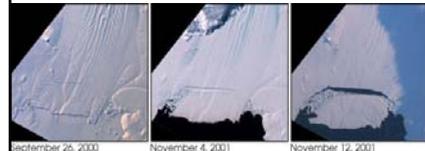
↑ vallée de la Shyok, Karakoram



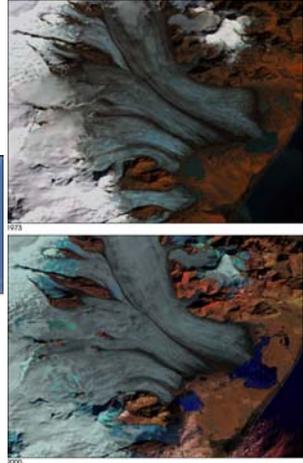
↑ Glacier Lambert, Antarctique

6. Exemples d'application de l'imagerie sat. b) Suivi des phénomènes

Glaciologie



↑ Naissance d'un iceberg vu par satellite Terra Pine Island Glacier, Antarctique

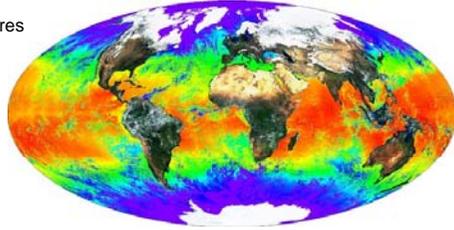


recul du glacier Vatnajökull →

6. Exemples d'application de l'imagerie sat. **b) Suivi des phénomènes**

Océanographie

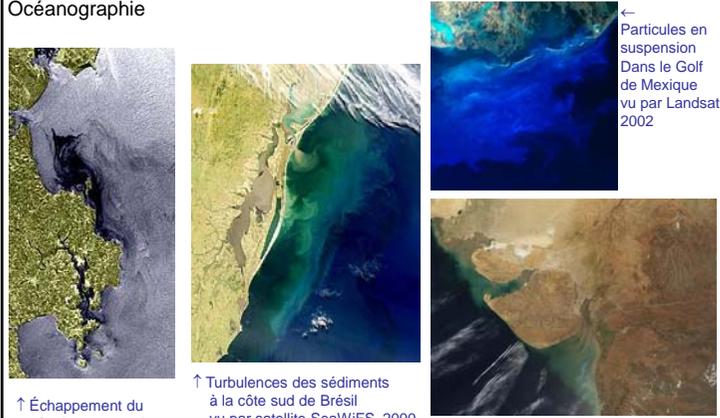
- Suivi de la circulation océanique (courants, vagues, zones de résurgence, bathymétrie etc.)
- Surveillance de la température et de la qualité de l'eau
- Surveillance des zones côtières Etc.



↑ Température de la surface océanique pris par satellite Terra, 2000

6. Exemples d'application de l'imagerie sat. **b) Suivi des phénomènes**

Océanographie



↑ Échappement du pétrole au pays de Galles, vu par RADARSAT 1996

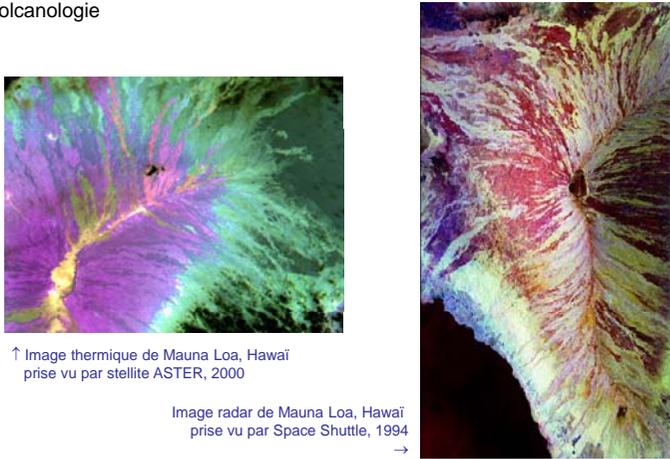
↑ Turbulences des sédiments à la côte sud de Brésil vu par satellite SeaWiFS, 2000

↑ Particules en suspension Dans le Golf de Mexique vu par Landsat 2002

↑ Sédiments alluviaux dans la mer Arabe à la côte ouest de l'Inde vu par satellite Terra, 2001

6. Exemples d'application de l'imagerie sat. **b) Suivi des phénomènes**

Volcanologie



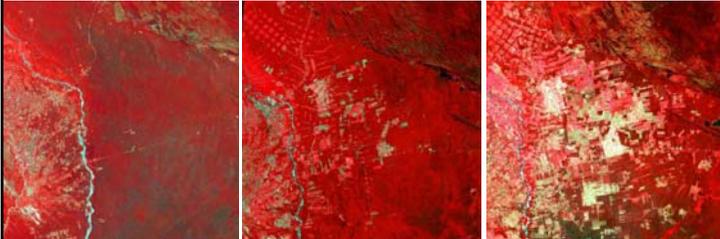
↑ Image thermique de Mauna Loa, Hawaï prise vu par stellite ASTER, 2000

Image radar de Mauna Loa, Hawaï prise vu par Space Shuttle, 1994 →

6. Exemples d'application de l'imagerie sat. **c) Détection de changements**

Déforestation

Images Landsat, Bolivie



1975 1992 2000

6. Exemples d'application de l'imagerie sat. **c) Détection de changements**

Désertification Images Landsat, Lac Tchad

1973 1987

1997

6. Exemples d'application de l'imagerie sat. **c) Détection de changements**

Croissance urbaine Images Landsat, Douglas Fort-Worth

1974 1989 2003

6. Exemples d'application de l'imagerie sat. **d) Gestion, planification, surveillance**

Foresterie

Identification des espèces

↑ Image hyperspectrale de la forêt de sapin de l'île de Vancouver, résolution 60 cm

Surveillance des coup et de la régénération

Déboisement en Alberta vu par le capteur optique et radar ↑

6. Exemples d'application de l'imagerie sat. **d) Gestion, planification, surveillance**

Agriculture

Surveillance des cultures

Inventaire des types de cultures

↑ Image radar de la plantation des bananes

Images ASTER des cultures à pivot au Japon, 2001

6. Exemples d'application de l'imagerie sat. **d) Gestion, planification, surveillance**

Urbanisme

Denver vu par QuickBird, 2002 →



← Gare Atocha, Madrid vu par QuickBird, résolution 60 cm

6. Exemples d'application de l'imagerie sat. **d) Gestion, planification, surveillance**

Hydrologie

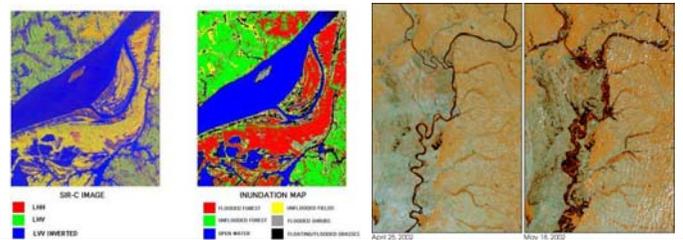
Surveillance des zones humides
Everglades pris par MIRS, 2002



Suivi des inondations

Images radar de l'inondation de Maudiss, Brésil 1994 (gauche)

Images MODIS de l'inondation de Mississippi, 2002 (droit)



6. Exemples d'application de l'imagerie sat. **d) Gestion, planification, surveillance**

Risques majeurs

Suivi des feux de forêts

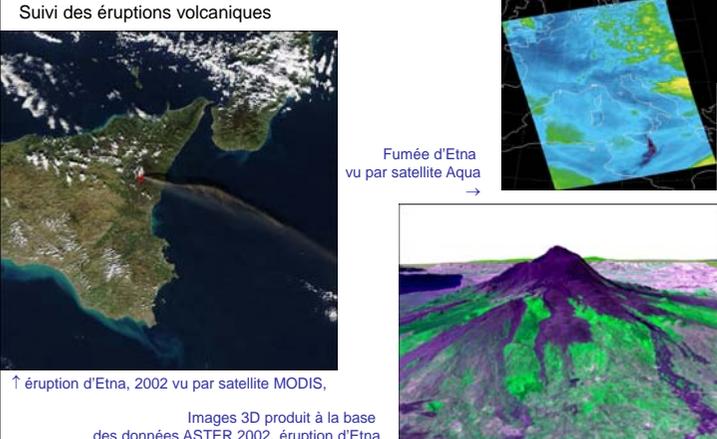


Images QuickBird des feux de forêts en Californie, octobre 2003, résolution 60 cm

6. Exemples d'application de l'imagerie sat. **d) Gestion, planification, surveillance**

Risques majeurs

Suivi des éruptions volcaniques



↑ éruption d'Etna, 2002 vu par satellite MODIS,

Fumée d'Etna vu par satellite Aqua →

Images 3D produit à la base des données ASTER 2002, éruption d'Etna

