



Introduction au traitement numérique des images

Applications de l'imagerie numérique

L. Beaudoin

<http://learning.esiea.fr/>

INF4034, 2014 -2015

Plan

1 Introduction

2 Imagerie médicale

3 Télédétection

Plan: Introduction

1 Introduction

- Objectifs

2 Imagerie médicale

3 Télédétection

Objectifs de cette présentation

Découvrir l'intérêt de l'imagerie numérique à travers des exemples d'applications concrètes :

- Imagerie médicale
- Télédétection



Plan: Imagerie médicale

1 Introduction

2 Imagerie médicale

- Intérêts de l'imagerie médicale
- Différents types d'imagerie médicale

3 Télédétection

Principales applications

L'imagerie médicale est un secteur en pleine expansion, notamment dans les domaines :

- de la numérisation des données médicales
- de la télémédecine
- de l'aide au diagnostic

De nombreux industriels et centre de Recherche et Développement (R&D) se sont lancés sur ces domaines qui pèsent au minimum plusieurs milliards d'euros.

Numérisation des données médicales

Les objectifs généraux de la dématérialisation des fichiers médicaux (images, compte rendus d'examens...) sont :

- d'avoir accès à un plus grand nombre d'informations (examens médicaux, prescriptions...) pour affiner un diagnostic ou ouvrir de nouvelles pistes de réflexion
- éviter des examens redondants
- faciliter la gestion des données, et notamment l'archivage et la transmission (y compris dans un même établissement)
- et donc en conséquence faire des économies globales!...

Tatouage d'images

Problème (juridique) de la dématérialisation : comment être sûr que l'image sur laquelle a été posé le diagnostic n'a pas été numériquement modifiée ?

Tatouage d'images

Principe de phase de tatouage de l'image originale :



image originale



marque cachée

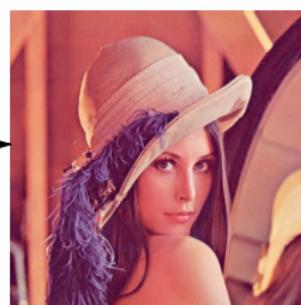
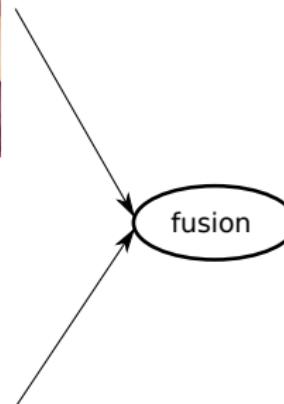
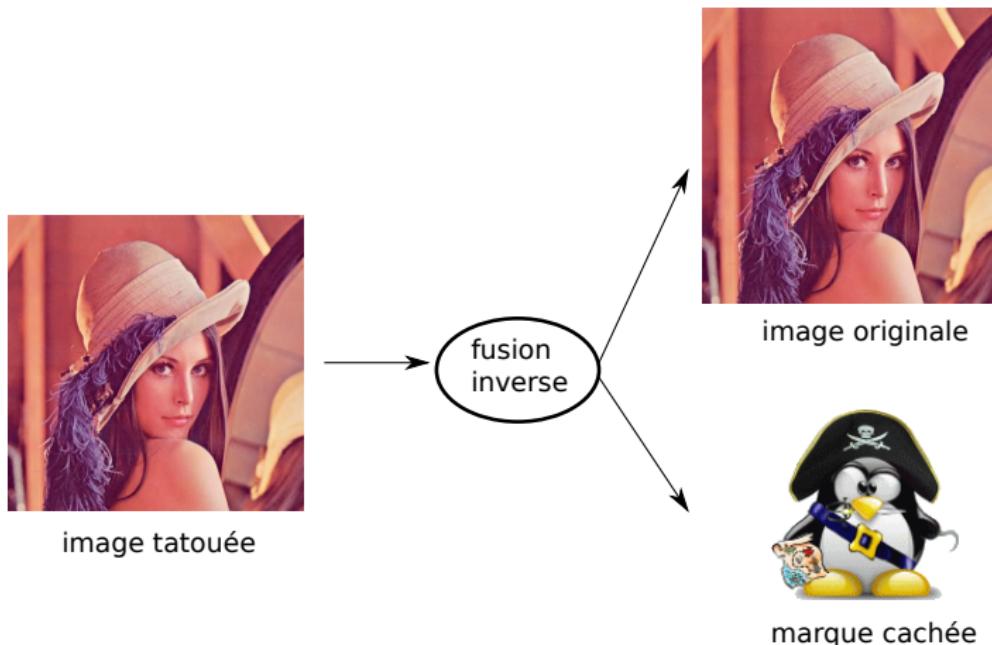


image tatouée

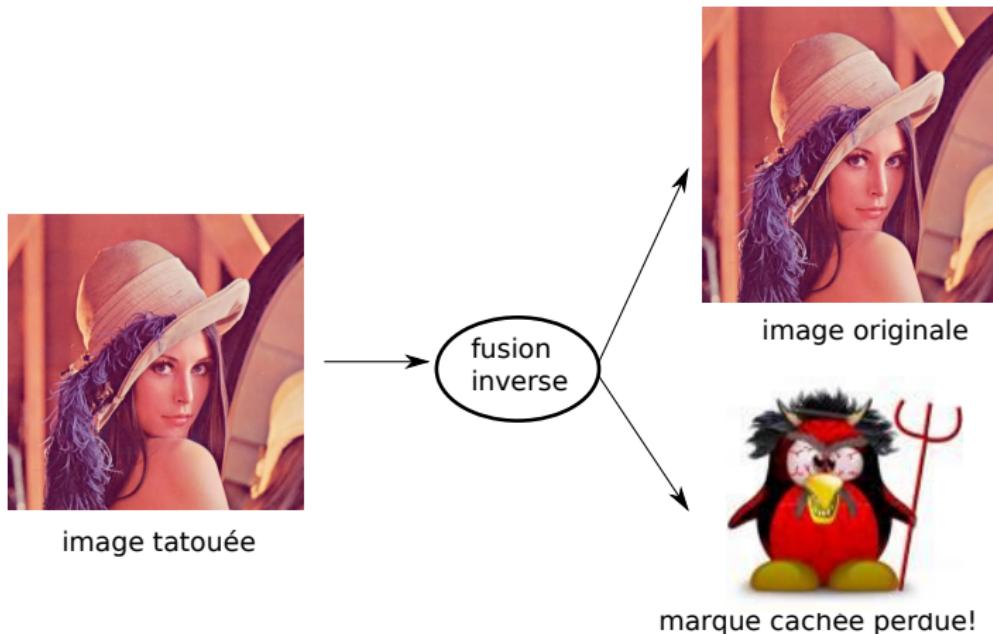
Tatouage d'images

Principe de vérification (image tatouée non modifiée) :



Tatouage d'images

Principe de vérification (image tatouée modifiée) :



La télémédecine

La télémédecine est une forme de pratique médicale à distance utilisant les technologies de l'information et de la communication (code de la santé - Article L6316-1). On distingue entre autres :

- la téléconsultation : consultation à distance d'un patient
- la télésurveillance médicale : suivi à distance d'un patient
- la téléexpertise : consultation inter-spécialistes distants
- la téléassistance médicale : assistance à distance d'un autre professionnel de santé au cours de la réalisation d'un acte
- la téléchirurgie : acte médical assisté et réalisé à distance via un robot

La télémédecine d'hier et d'aujourd'hui

Petit historique en quelques dates :

- Première licence pour radio de service médical aux bateaux publiée à New-York en 1920
- Première visioconférence en chirurgie cardiaque en 1965
- Premier scanner à rayon X entre le Canada (équipe médicale) et la France (patient) en 1994
- Première opération à distance entre les Etats Unis (chirurgien spécialiste) et la France (patient) en 2001

La télémédecine de demain

Quelques exemples de scénarios d'aujourd'hui et demain :

- le traitement des patients accidentés (transmission données urgences vers hôpitaux)
- l'accès (consultation ou opération) à des spécialistes rares
- éloignement physique du patient avec les structures de soin (marins hauturière, plongeur profonds, scientifiques polaires, astronautes...)

Aide au diagnostic

- Un diagnostic (du grec $\deltaια$: à travers et $\gammaνωση$: connaissance) médical est la démarche qui conduit le professionnel de santé à déterminer le mal dont souffre le patient et proposer un traitement adapté.
- Problème principal : comment voir dans le patient de manière non intrusive et destructrice ?



(Rembrandt, 1632,
leçon d'anatomie du Dr Tulp)

Différents types d'imagerie médicale et organes concernés

procédé physique	nom	organe(s)
rayon X	radiologie (radiographie, radioscopie)	poumons, abdomen, squelette, seins
	tomodensitométrie (scanner)	tous
ultrasonographie	échographie	abdomen, cœur, seins, muscles, tendons
	doppler	vaisseaux
magnétisme du noyau des atomes	IRM	tous
radio-activité	scintillographie	tous

Rayons X

Les rayons X traversent la matière et sont plus ou moins absorbés en fonction de la densité de celle-ci.



Main de Mme Röntgen, 1895
Travaux de Mr. W. Röntgen,
1^{ier} prix nobel de physique 1901



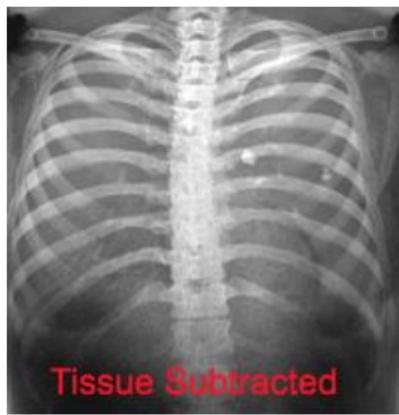
2010

Rayons X



Rayons X

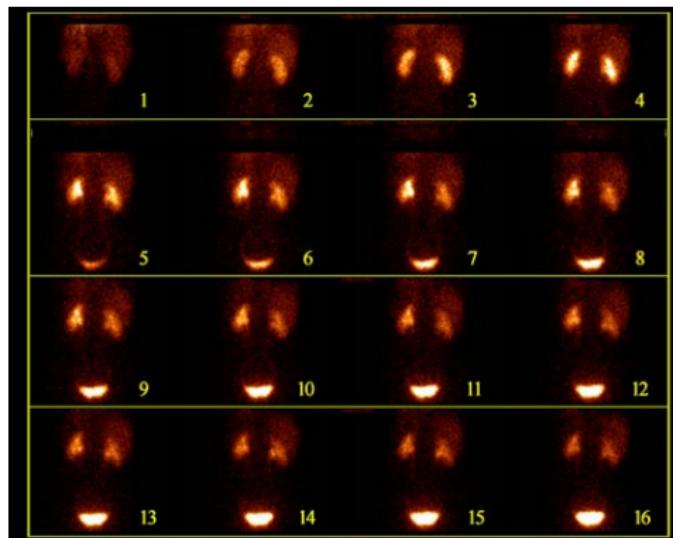
En jouant sur le niveau d'énergie des rayons X, on peut plus ou moins mettre en valeur certains organes.



(source photos : wikipédia)

Radioactivité - scintigraphie

La scintigraphie consiste à introduire dans l'organisme une substance radioactive interagissant avec l'organe qu'on veut examiner, puis mesurer la répartition de la radioactivité et son évolution afin de voir son état fonctionnel ou des lésions pathologiques éventuelles.



Scintigraphie rhénale :
acquisitions par tranches de
20 minutes
(Source CHU Avicenne)

Ultrasonographie

L'échographie (du grec $\epsilon\chi\omega$: la nymphe Écho de la mythologie et $\gamma\rho\alpha\phi\epsilon\nu$: écrire) consiste à faire une image de distance basée sur le calcul du temps aller-retour et de l'atténuation de l'onde sonore. Elle est particulièrement utilisée en diagnostic prénatal.



Ultrasonographie

Une grossesse suivie en 3 échographies :

- 1^{ier} trimestre (12/13 semaines) pour la datation, le nombre de grossesses, la vérification de la vitalité fœtale, dépister les malformations précoces
- 2^{ième} trimestre (22/24 semaines) pour la morphologie, fonctionnement normal des organes internes, le sexe du bébé
- 3^{ième} trimestre (30/32 semaines) pour vérifier la croissance et la présentation du fœtus

Ultrasonographie

Etude De La Morphologie Foetale



Dr. Sofie Taieb
Gynécologue Obstétricienne

Ultrasonographie

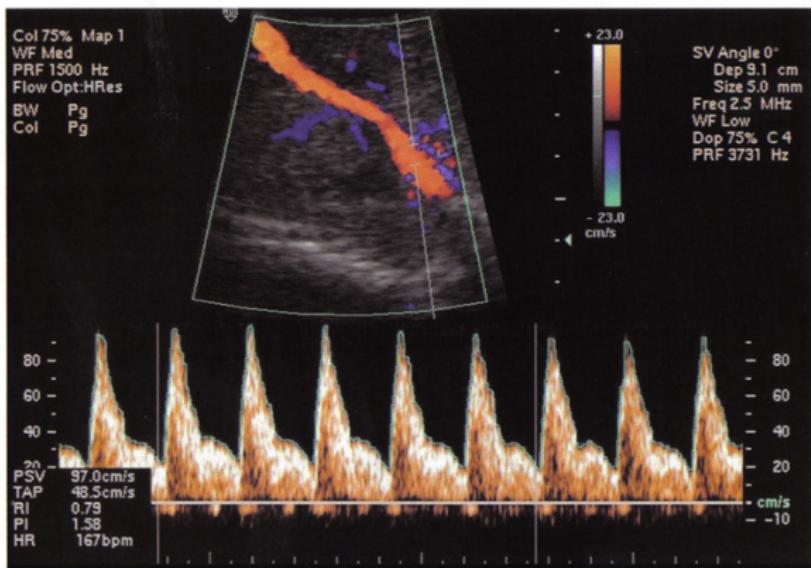
Pour le fun, le passage de l'échographie prénatale 2D à 3D et 4D.



(source photos : materneo.com)

Ultrasonographie

Imagerie doppler : en mesurant le décalage en fréquence de l'onde retour, on peut évaluer la vitesse de déplacement des liquides.



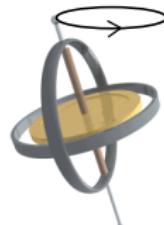
Aorte thoracique fœtale et pulsations cardiaques
(source photo : womenshealthsection.com)

Imagerie par Résonance Magnétique (IRM)

Le principe de l'Imagerie par Résonance Magnétique (IRM) utilise les notions :

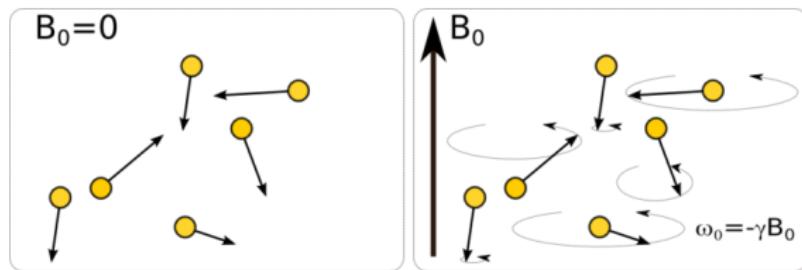
- de précession
- de Résonance Magnétique Nucléaire
- de tomographie.

La précession est le nom donné au changement graduel d'orientation de l'axe de rotation sous l'action de l'environnement.



Imagerie par Résonance Magnétique (IRM)

La Résonance Magnétique Nucléaire (RMN) : certains atomes, notamment H de H_2O , ont naturellement un moment magnétique de spin (comme une toupie). Plongés dans un champs magnétique à la bonne fréquence (dite de Larmor), leur précession augmente.



(source : wikipédia)

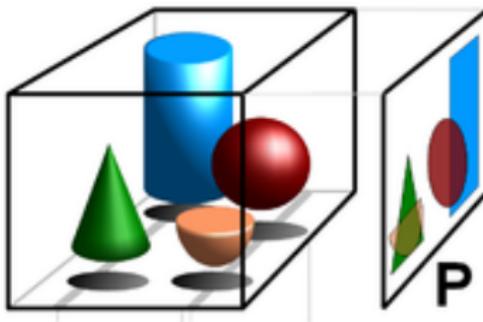
Imagerie par Résonance Magnétique (IRM)

Les 3 phases pour faire une mesure RMN sont :

- ① l'aimantation : alignement d'une (très) faible parties des moments magnétiques de spins sur le champ magnétique (mesure de référence)
- ② l'excitation : création des précessions perpendiculaires (baisse de l'aimantation)
- ③ la relaxion : le temps mis à la fin de l'excitation pour revenir à une situation proche de celle de l'étape 1 permet de différencier les tissus !

Imagerie par Résonance Magnétique (IRM)

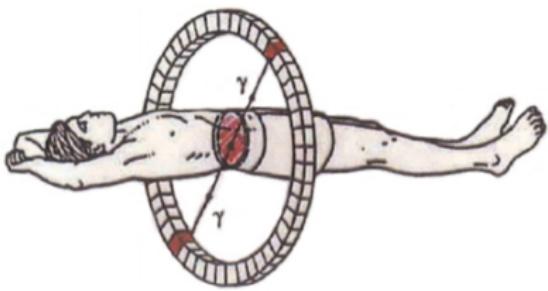
La mesure précédente est faite dans une direction particulière (celle du champ magnétique). Elle est *in fine une image 2D d'un objet hétérogène 3D (il n'y a pas de pixel homogène) !*



(source modifiée : wikipédia)

Imagerie par Résonance Magnétique (IRM)

Pour obtenir une coupe du corps humain, il faut multiplier les directions de mesures. C'est l'ensemble de ces mesures qui sont intégrées, via des outils comme la transformation de Radon, pour faire une seule coupe !



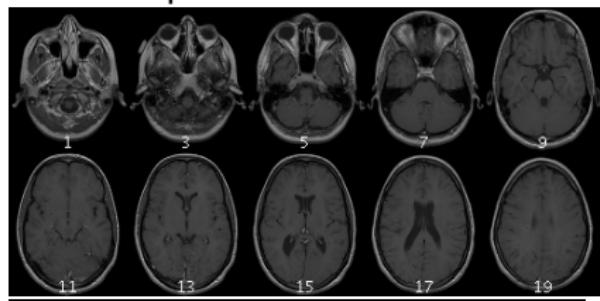
(source modifiée : wikipédia)



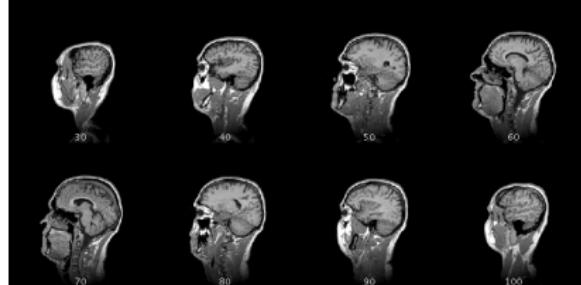
(source : gettyimages.co.uk)

Imagerie par Résonance Magnétique (IRM)

Pour obtenir un diagnostic posé sur des informations en volumes, il faut déplacer les sections de coupes.



coupes transversales

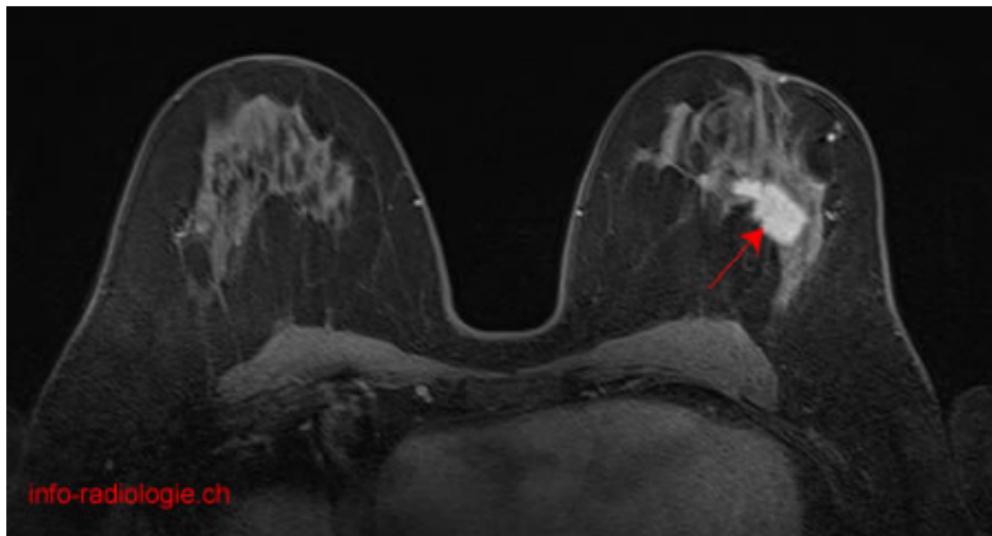


coupes sagitales

(source : ac-grenoble.fr)

Imagerie par Résonance Magnétique (IRM)

La mammographie est un examen permettant de faciliter la détection du cancer du sein : les cellules cancéreuses se calcifient donc deviennent opaques.



Plan: Télédétection

1 Introduction

2 Imagerie médicale

3 Télédétection

- Généralités
- Applications

Généralités

- La télédétection est l'ensemble des techniques permettant de déterminer à distance les propriétés d'objets à partir des rayonnements qu'ils émettent ou réfléchissent.
- Selon l'altitude du capteur on parlera de télédétection spatiale, aérienne ou très basse altitude (minidrones).
- Si le capteur émet sa propre source de lumière, on parle de télédétection active (radar, lidar). Sinon, c'est de la télédétection passive (visible, IR...)

Télédétection spatiale

Il existe un très grand nombre de satellites de télédétection civils ou militaires qui observent la Terre. Ces satellites couvrent une vaste étendue de résolutions spatiales (du décimètre au km), de résolutions spectrales (visible ou pas, hyperspectral) et temporelles (temps de revisite de quelques jours à survol permanent)



SPOT 4 (source : CNES)



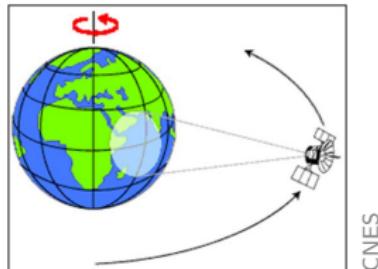
Key Hole 11 (source : fas.org)

Télédétection spatiale

Principales orbites en télédétection spatiale :

Orbite géostationnaire

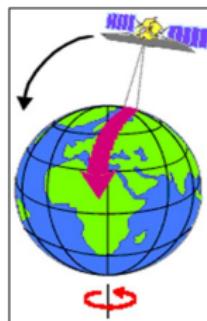
- Période de rotation du satellite autour de la Terre identique au jour sidéral : le satellite reste à la verticale du même point
- Altitude élevée (36 000 km)



CNES

Orbite polaire

- Temps de revisite de plusieurs semaines au nadir réductible à quelques jours selon l'inclinaison
- Couverture mondiale avec possibilité d'héliosynchronisme
- Altitude proche (< 1 000 km)



CNES

Télédétection aérienne

Les avions ont été les premiers vecteurs fiables en télédétection : ses débuts sont concomitants avec ceux de l'aviation et de la photographie industrielle (première guerre mondiale).



Caudron G3 (1914)

BNF

Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France



F-117 (2000)

wikipedia

Télédétection basse altitude

Renseignement (RQ-4 Global Hawk)



U.S. Air Force

Garde-côte (VUAV)



U.S. Navy

Exploration (Camcopter S-100)



©MarineBuzz.com

Surveillance urbaine



US DoD

Classification par performance

Désignation	poids (kg)	portée (km)	altitude (m)	endurance (h)
Nano	< 0.025	< 1	100	< 1
Micro	< 5	< 10	250	1
Mini	< 30	< 10	150 - 300	<2
Close Range	25-150	10 - 30	3.000	2-4
Short Range	50-250	30 - 70	3.000	3-6
Medium Range	150-500	70 - 200	5.000	6 - 10
Medium Range End.	500-1500	> 500	8.000	10 - 18
Low Alt. Deep Penet.	250-2500	> 250	50 - 9.000	0,5 - 1
Low Alt. Long End.	15-25	> 500	3.000	> 24
Med. Alt. Long End.	1000-1500	> 500	5/8.000	> 24
High Alt. Long End.	2500-5000	> 2000	20.000	>24
Stratospheric	>2500	> 2000	> 20.000	> 48

Exemples de micro-drones civils

- Micro-UAVs ⇔ moins de 5 kilogrammes
- 200-1200 grammes de charge utile
- 20-60 minutes d'autonomie



Draganfly Innovations Inc. (US)



Microdrones GmbH (DE)



ESIEA (F)



Mikroopter GmbH (DE)



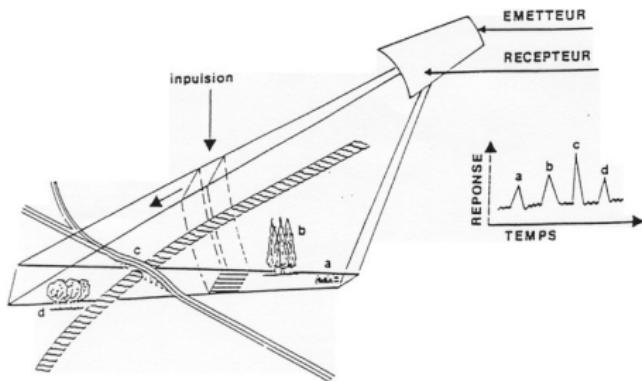
AR Drone (FR)



Fly-n-sense (FR)

Télédétection active - RADAR

Le principe du radar est basé sur la mesure du temps aller-retour d'une onde électromagnétique pour faire une image de distance de la scène observée. Principaux avantages : passer à travers les nuages, être sensible aux structures métalliques et avoir un éclairage cohérent pour faire de l'interférométrie pour estimer finement les déplacements de surface.



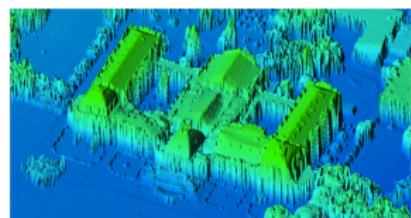
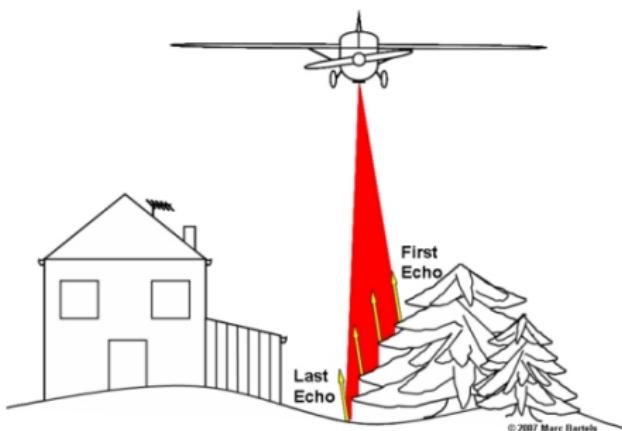
(source : CNES)



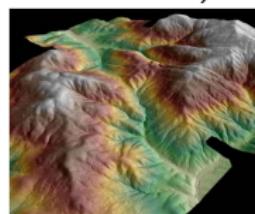
(source : ESA)

Télédétection active - LIDAR

Le principe du lidar est proche du celui du radar mais cette fois en utilisant un laser. C'est un télémètre longue distance.



Palais national d'Haïti (source : cis.rit.edu)



(source : oregonstate.edu)

Télédétection passive

Les principales caractéristiques de la télédétection passive sont :

- d'être facilement interprétable par un être humain,
- d'être particulièrement efficace pour faire de la classification à partir d'images multi-spectrales (voire hyperspectral)
- d'être particulièrement sensible aux conditions d'éclairement (d'où l'héliosynchronisme)
- d'être dépendant de la couverture nuageuse locale (ce qui concerne près de 80 % des images !)

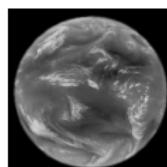
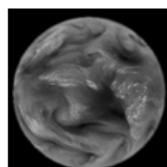
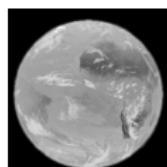
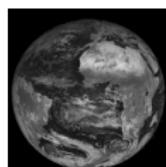
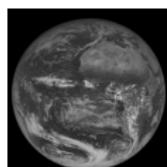


Hergé



NASA

Télédétection passive - Météosat Seconde Génération (MSG)



$0.6 \mu m$

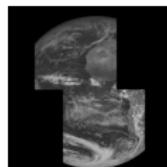
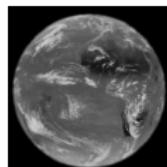
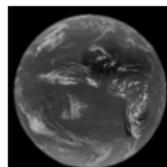
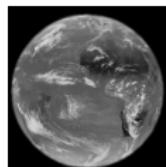
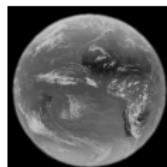
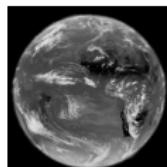
$0.8 \mu m$

$1.6 \mu m$

$3.9 \mu m$

$6.2 \mu m$

$7.3 \mu m$



$8.7 \mu m$

$9.7 \mu m$

$10.8 \mu m$

$12 \mu m$

$13.4 \mu m$

$0.6 \mu m$

De la donnée à l'application

Dans tous les cas, entre une donnée acquise (brute) et un produit de haut niveau (produits météorologiques, occupation des sols, renseignement...), il faut faire des traitements comme par exemple :

- niveau 1 : calibration et localisation des données instrumentales brutes (températures de brillance infrarouge)
- niveau 2 : extraction des paramètres géophysiques (température de surface de la mer)
- niveau 3 : produit élaboré (fusion de données multispectrales)
- niveau 4 : produit issu d'algorithmes complexes alimentés par les images et d'autres données (estimation du gisement solaire terrestre)

Météorologie spatiale

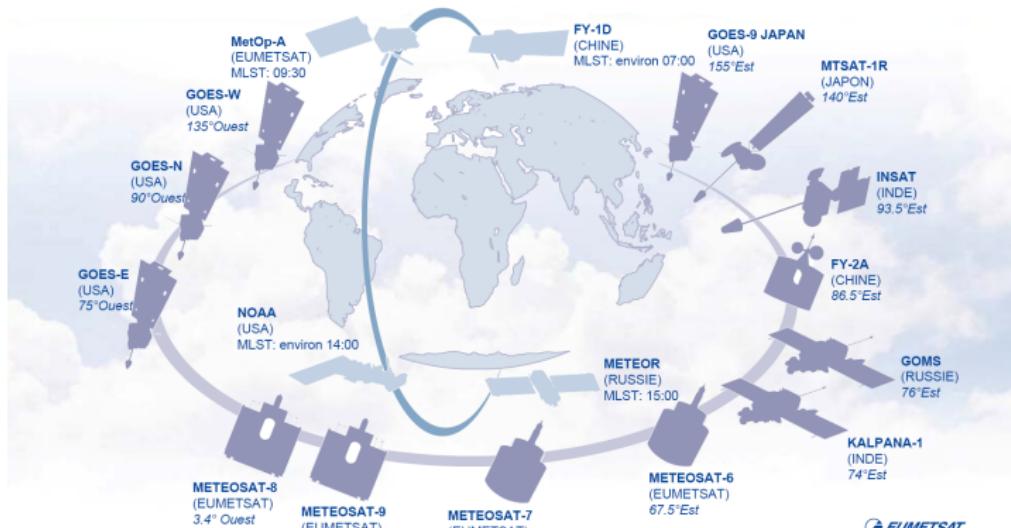
L'objectif de la météorologie spatiale est de pouvoir donner des prévisions météorologiques fiables à court terme (quelques heures à quelques jours).

La météorologie est particulièrement compliquée à prévoir car :

- elle est la résultante d'interactions entre des systèmes complexes (atmosphère, océans, interfaces... effet papillon !)
- elle nécessite une masse de données colossale en entrée des algorithmes de prévision (relevés terrestres, satellitaires etc...). Ces données doivent être ré-actualisées en permanence car les systèmes sont dynamiques !
- les algorithmes sont en temps contraints.

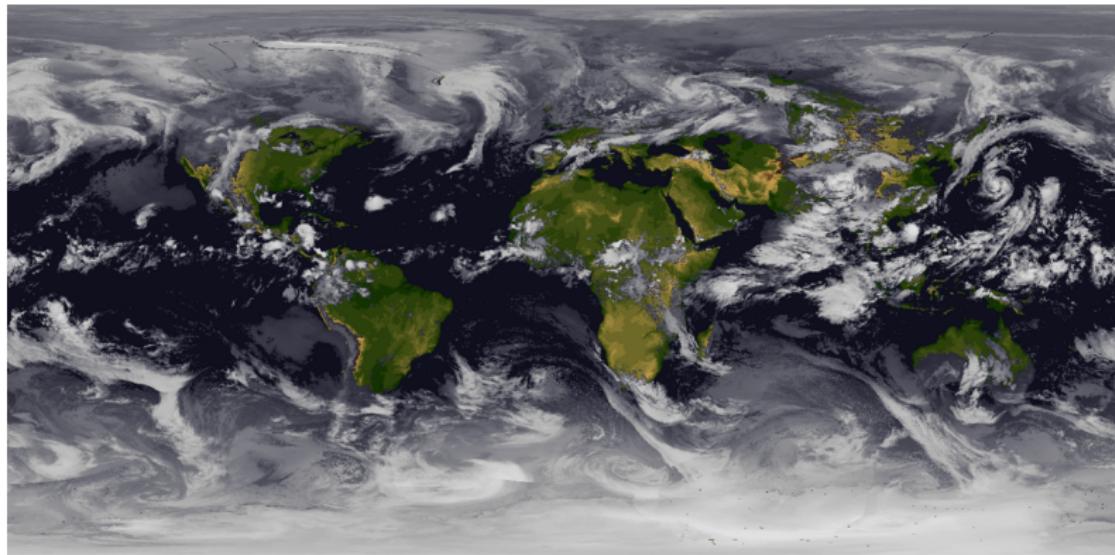
Météorologie spatiale

Les satellites ayant une vision globale, ils sont le fer de lance des données utilisées pour prévoir la météorologie. Cependant, leur données doivent être calibrées (i.e. confirmées) par des mesures locales et précises (relevés terrain). L'ampleur de la tâche d'imagerie nécessite la collaboration de toutes les agences spatiales pour avoir une couverture 24/7 !



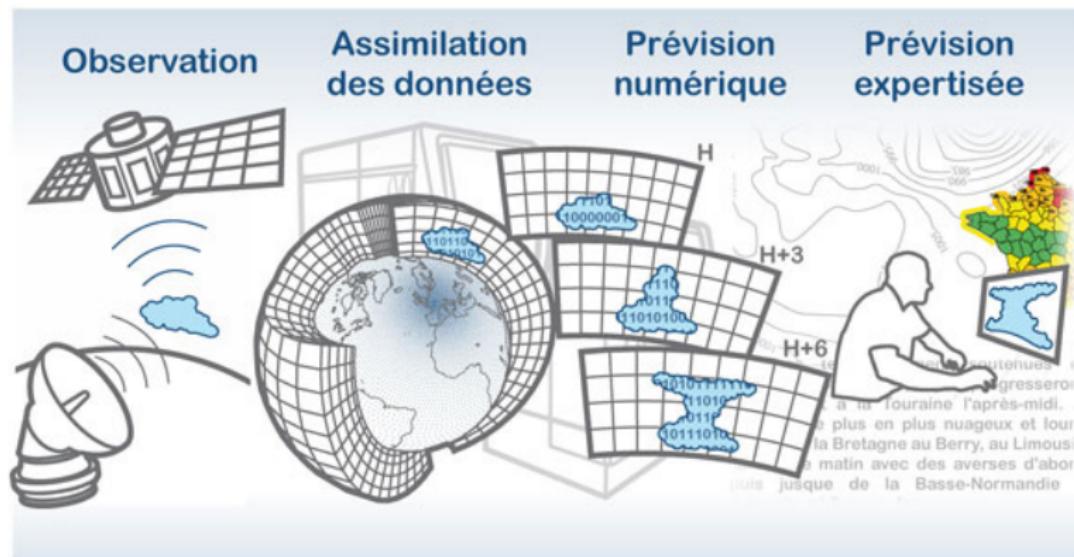
Météorologie spatiale

Exemple de couverture de la surface de la Terre en 24/7 :



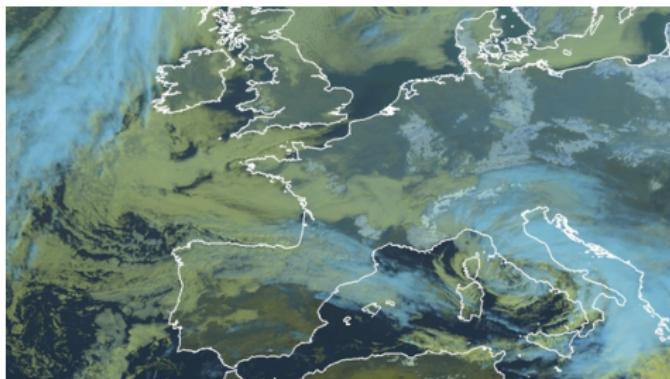
Météorologie spatiale - de la donnée brute à la prévision

Les différentes étapes de construction d'un bulletin météorologique :



Météorologie spatiale - de la donnée brute à la prévision

Le problème revient donc à passer de l'image gauche à celle de droite :



Météofrance



Météofrance

Imagerie militaire

Les objectifs de l'imagerie militaire sont entre autres de détecter et d'identifier et d'estimer la dangerosité de menaces ou de cibles potentielles sur un théâtre d'opération. Historiquement, les services de renseignement aériens et de cartographie opérationnelle sont nés pendant la première guerre mondiale et n'ont cessé de se développer depuis. Les premiers porteurs ont été les avions et des dirigeables, puis les satellites ont complété le dispositif.

Imagerie militaire

Première guerre mondiale :



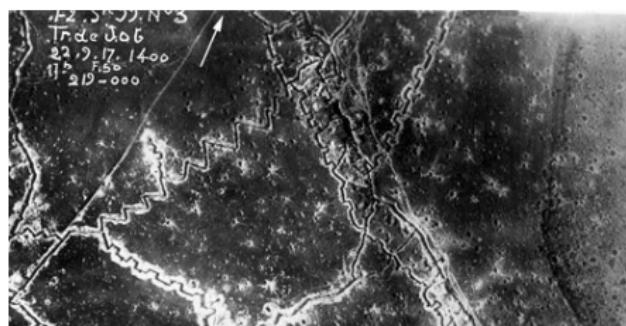
Bombardement de l'aérodrome allemand de Lomme par l'aviation australienne (1918)



Ville Ypres (Belgique) après les bombardements (1918)

Imagerie militaire

Première guerre mondiale :



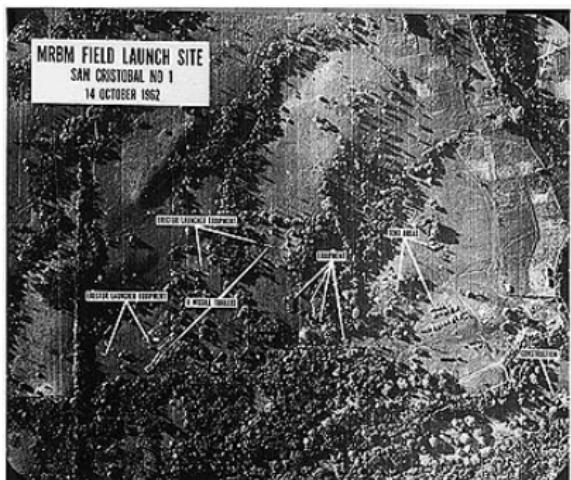
Tranchée de Job-l'Ailette (1917)



Fort de la Pompelle (1918)

Imagerie militaire

Crise de la Baie des cochons (1962) vue par des U2 américains :

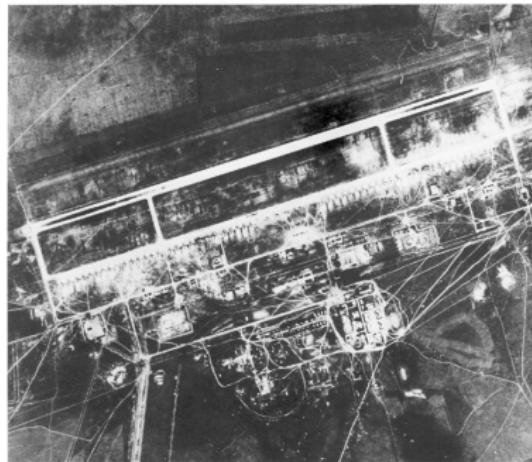


(Source : fas.org)

Imagerie militaire

Le renseignement spatial par les premiers satellites KH américains :

Soviet Long-Range Aviation Airfield, 20 August 1966



Severodvinsk Shipyard, USSR, 10 February 1969



(Source : fas.org)

Imagerie militaire

Le renseignement spatial pendant la première guerre du golfe (1991) :



(Source : fas.org)

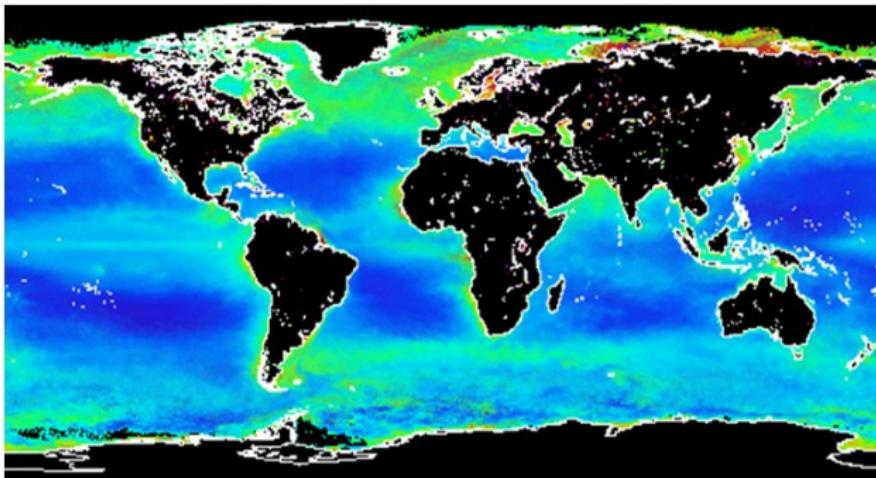
Imagerie militaire

Le renseignement spatial pendant la guerre de Bosnie-Herzégovine (1992-1995) :



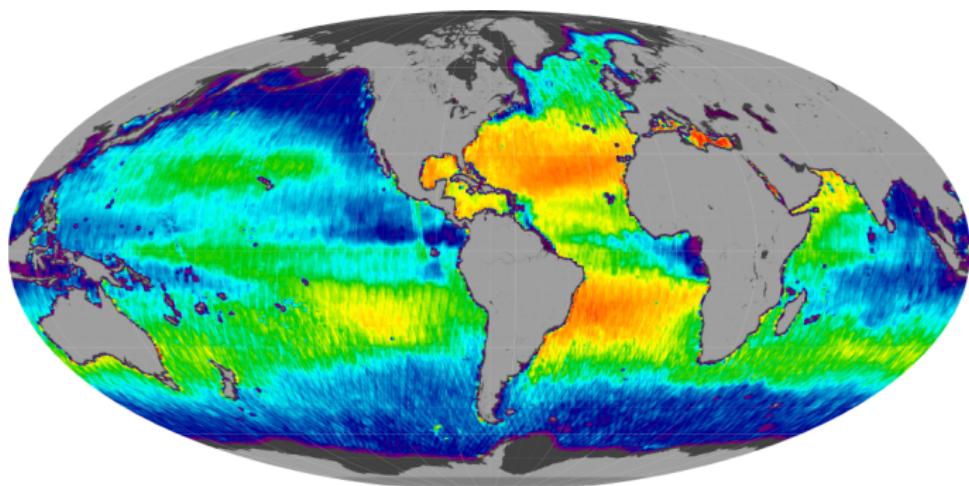
(Source : fas.org)

Océanographie



Concentration de chlorophylle

Océanographie

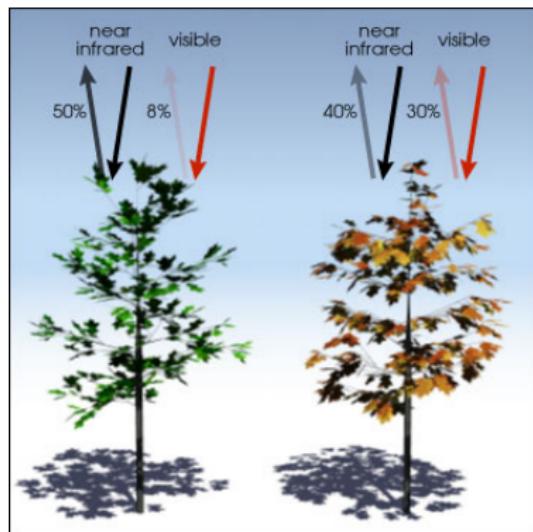


Salinité des océans (avril 2013)

NASA

Cartographie végétale - NDVI

- Le Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) permet d'estimer simplement l'activité chlorophyllienne.
- $$NDVI = \frac{(NIR - VIS)}{(NIR + VIS)}$$
- Les plantes chlorophylliennes absorbent en visible contrairement aux pierres et autres.



$$\frac{(0.50 - 0.08)}{(0.50 + 0.08)} = 0.72$$

$$\frac{(0.4 - 0.30)}{(0.4 + 0.30)} = 0.14$$

NASA

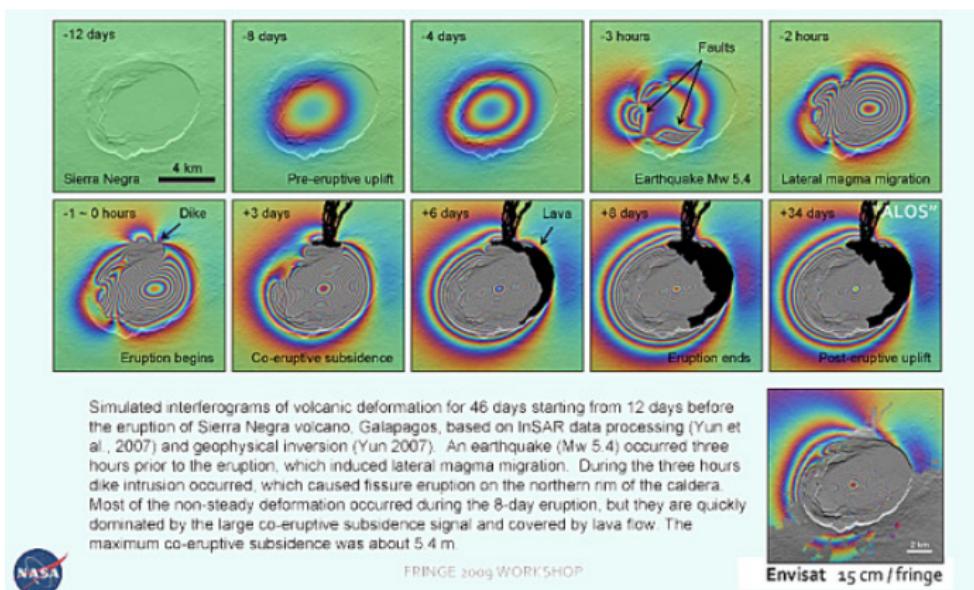
Cartographie végétale - NDVI



CESBIO

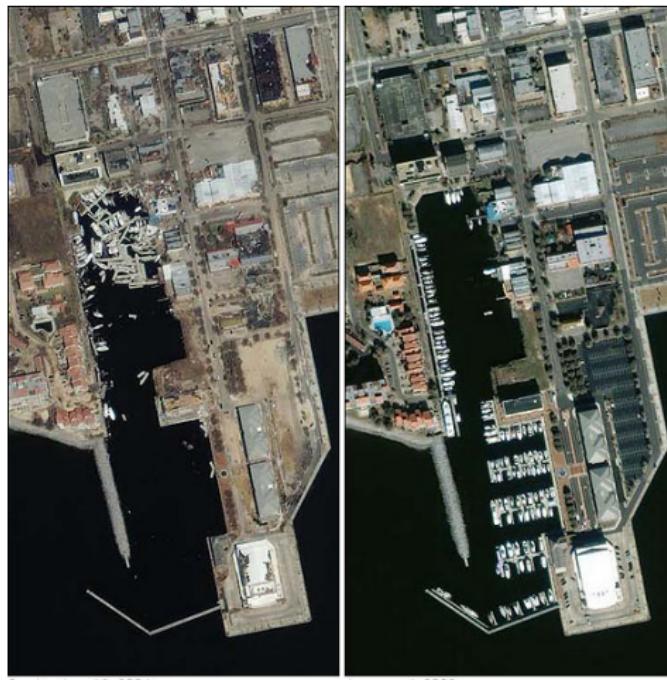
Mesure du relief

Par intererrométrie radar, cas du volcan Sierra Negra (Iles Galapagos)



Catastrophes naturelles

Cas du cyclone IKO sur le port Pensacola

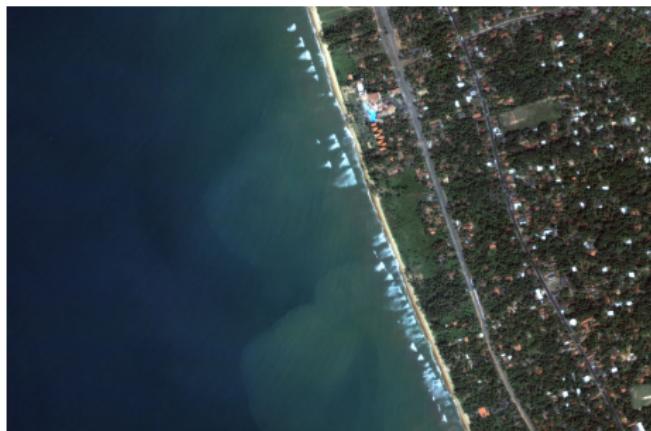


September 18, 2004

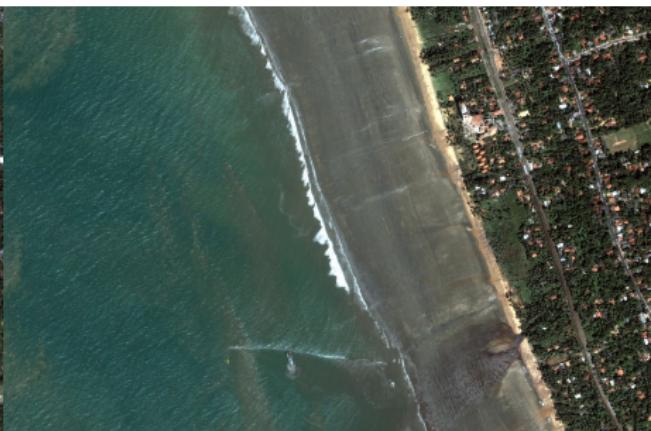
January 4, 2003

Catastrophes naturelles

Tsunami du 26 décembre 2004



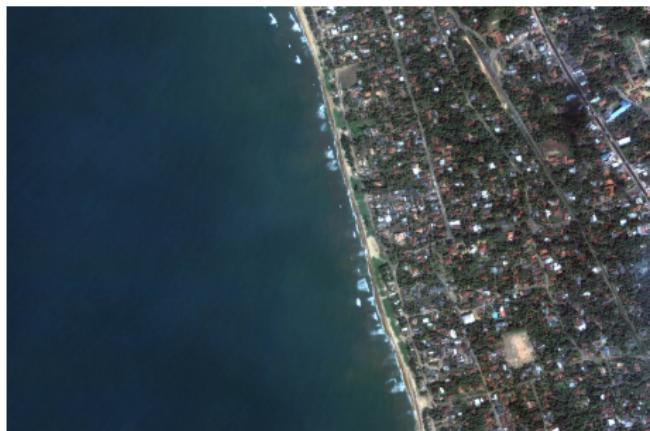
Kalutara beach
(Srilanka janvier 2004)



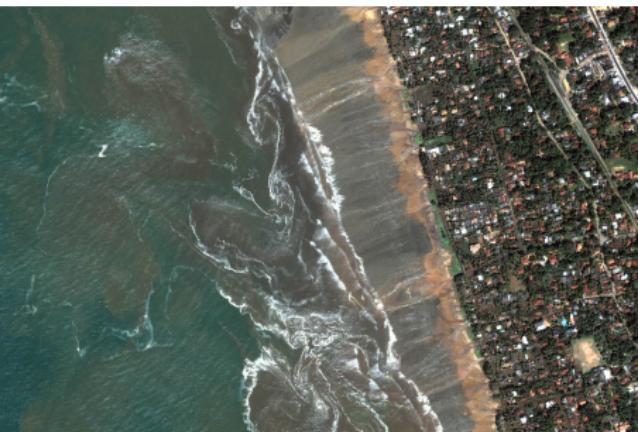
Kalutara beach
(Srilanka 26/12/2004)

Catastrophes naturelles

Tsunami du 26 décembre 2004



Kalutara beach
(Srilanka janvier 2004)



Kalutara beach
(Srilanka 26/12/2004)

Catastrophes naturelles

Tsunami du 26 décembre 2004



Kalutara beach
(Srilanka janvier 2004)



Kalutara beach
(Srilanka 26/12/2004)

Catastrophes naturelles

Tsunami du 26 décembre 2004



Banda Aceh
(Sumatra juin 2004)



Banda Aceh
(Sumatra 28/12/2004)

Internet : une source de données images... fiables ?

Le cours a largement puisé dans les ressources disponibles sur internet. Comme d'habitude avec ces informations, il est important de conserver un bon sens critique...

Quelques exemples de merveilles de la nature :



Le lac de l'Homme

Internet : une source de données images... fiables ?

Le cours a largement puisé dans les ressources disponibles sur internet. Comme d'habitude avec ces informations, il est important de conserver un bon sens critique...

Quelques exemples de merveilles de la nature :



Le lac de l'Homme



Volcan Pinatubo

Internet : une source de données images... fiables ?

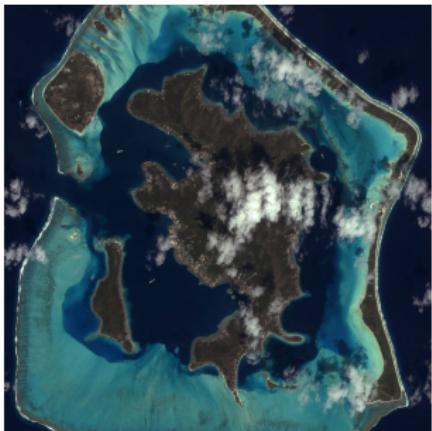


L'ile Scorpion

Internet : une source de données images... fiables ?



L'ile Scorpion



Bora Bora