

L'Observation de la Terre

Académie de l'Air et de l'Espace

Toulouse

22 novembre 2012

Philippe Munier

L'Observation de la Terre

1. L'Observation de la Terre en cinq dates
2. Les applications de l'observation de la Terre

L'Observation de la Terre en cinq dates

- 1960 **① 18/08/1960 : KH-1** (Discoverer 14 / CORONA 9009)
◆ premier satellite d'observation militaire (États-Unis)
- 1972 **② 23/07/1972 : Landsat-1** (ERTS-1)
◆ premier satellite d'observation civile (États-Unis)
- 1986 **③ 22/02/1986 : Spot 1**
◆ premier satellite d'observation civile commerciale
- 1999 **④ 24/09/1999 : Ikonos-2**
◆ premier satellite d'observation civile commerciale à très haute résolution (États-Unis)
- 2005 **⑤ 28/06/2005 : Google Earth**
◆ globes virtuels : images spatiales, aériennes et terrestres sur la toile

1 L'observation militaire : chronologie (1)

■ 18/08/1960 : Discoverer 14 / CORONA 9009 / KH-1

- ◆ Premier satellite d'observation militaire (États-Unis)
- ◆ Caméra 70mm, focale 0,6m, altitude 165-460 km
- ◆ Résolution au sol: 25 pieds / 7,5 mètres



■ KH-4A (1963-1969): 1,8 mètres

■ KH-11 (1976-1995): 15-30 cm

- ◆ Premier satellite à imagerie numérique
- ◆ Conception similaire à Hubble

■ Cosmos (1980-): caméras KVR 1000 (2-3 m)

■ KH-13 (1999-): 10 cm à 4 cm (?)

■ Lacrosse (1988-): Radar à synthèse d'ouverture

■ 1996: déclassification (partielle) des images Corona par les États-Unis, et des images jusqu'à 2 m par la Russie

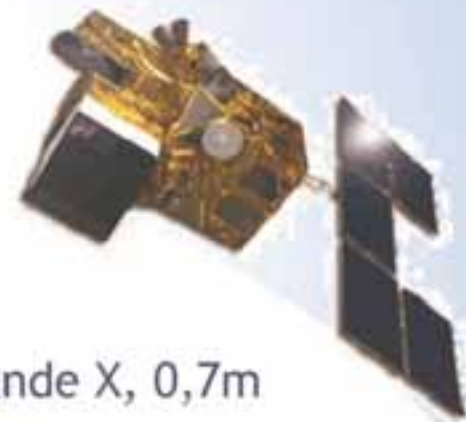


KH-7, 20/03/1966

L'observation militaire : chronologie (2)

■ France-Italie-Espagne, +Belgique-Grèce

- ◆ Hélios-1A (1995-2012) et Hélios-1B (1999-2004)
- ◆ Hélios-2A (18/12/2004-) et Hélios-2B (18/12/2009-)



■ Allemagne

- ◆ SarLupe 1 à 5 (lancement de 2006 à 2008): Radar bande X, 0,7m

■ Italie

- ◆ Cosmo-Skymed 1 (lancement de 2007 à 2010): Radar bande X, 1m

■ Japon

- ◆ IGS-3 (2006): optique 1m et SAR 1-3m
- ◆ IGS-4A & 4B (2007), 5A (2009), 6A (2011): optique 0,6m/4 m
- ◆ IGS-7A (2011): SAR 1-3m

■ Israël

- ◆ Ofeq-3 (1995), Ofeq-5 (2002), Ofeq-7 (2007): optique 1m/0,8m/? m

2 Le programme Landsat

■ de Earth Resources Technology Satellites à Landsat

- ◆ Programme initié par la NASA en 1966
- ◆ Programme rebaptisé Landsat en 1975 et transféré à la NOAA en 1979
- ◆ Transfert en 1985 des opérations et de la commercialisation au privé (EOSAT)
- ◆ Aléas de financement public 1989-90-91
- ◆ Land Remote Sensing Policy Act voté par le Congrès en 1992: financement de Landsat-7, dont la gestion est confiée à l'USGS
- ◆ 2005: décision de Landsat Data Continuity Mission, programme conduit par la NASA et l'USGS



■ Programme dédié à la surveillance de l'environnement et du changement global et à la science

■ Les satellites

- ◆ Landsat 1 & 2 (ERTS 1) (1972-1978, 1975-1981): MSS (80m, 185km, 4 bandes VIS-PIR)
- ◆ Landsat 3 (1978-1983): MSS (80m, 185km, 5 bandes VIS-PIR-TH)
- ◆ Landsat 4 (1982-1993) et Landsat 5 (1984-2009): TM (30m, 185km, 7 bdes VIS,PIR,MIR,TH)
- ◆ Landsat 7 (1999-): ETM+ (15m/30m/60m, 185km, 8 bandes PAN,VIS,PIR,MIR,TH)
- ◆ LDCM: lancement prévu le 11 février 2013

3 La résolution de l'ONU « Open skies »

■ Traité sur l'Espace signé le 27 janvier 1967

- ◆ Article I : liberté d'utilisation de l'espace extra-atmosphérique, notamment pour une exploitation commerciale

■ Résolution 41/65 adoptée par l'Assemblée générale de l'ONU le 3 décembre 1986 :

- ◆ Principe II : « Les activités de télédétection sont menées pour le bien et dans l'intérêt de tous les pays, quel que soit leur niveau de développement économique, social ou scientifique et technologique et compte dûment tenu des besoins des pays en développement... »
- ◆ Principe X et XI : « ... La télédétection doit promouvoir la protection de l'environnement naturel de la Terre ... et ... la protection de l'humanité contre les catastrophes naturelles »

■ Cette résolution ouvre l'ère de l'observation spatiale civile à haute et très haute résolution

- ◆ À commencer par Spot 1, lancé 9 mois auparavant...

Le programme Spot : de la genèse...

■ Programme décidé en 1978 par le gouvernement français

- ◆ Partenariat avec la Suède et la Belgique, après refus de l'ESA
- ◆ Choix technologique ambitieux : les CCD (Charge-Coupled Device)
- ◆ Promotion active mais discrète de la résolution ONU
- ◆ Un intérêt - tacite - pour la défense et le renseignement

■ En 1981, consolidation et pérennisation du programme

- ◆ La mission doit être opérationnelle : décisions de Spot 2, puis 3 et 4
- ◆ Choix de la voie commerciale : création de Spot Image en 1982

■ En 1995, décision - difficile - de Spot 5

- ◆ En 1997: amélioration de la résolution de 5 mètres à 2,5 mètres
- ◆ En 1999: décision d'embarquer HRS, mission stéréoscopique PPP et duale pour générer le modèle numérique de terrain mondial

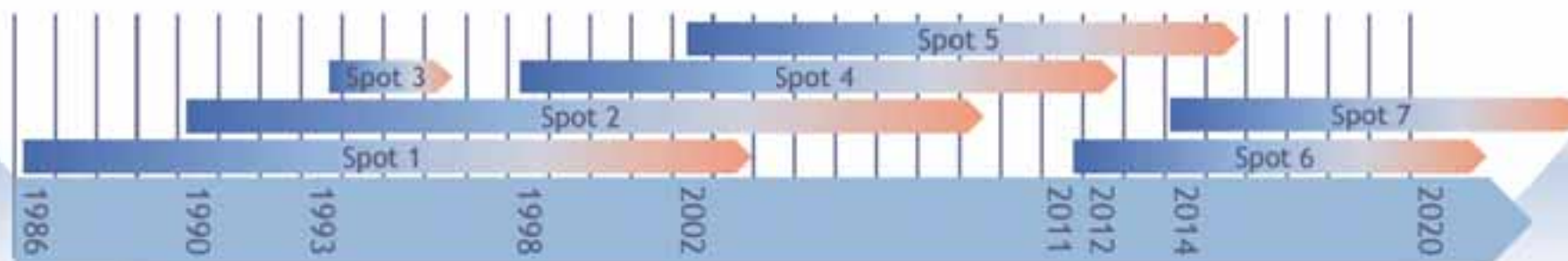
...à la maturité

■ Spot 5 permet un décollage des ventes

- ◆ Leader mondial de l'imagerie
« Champ Large »
à haute résolution (2,5 m)
- ◆ Seul fournisseur de DEM
(Modèles numériques de terrain)
labellisé par la NGA

■ 2008: rachat des parts du CNES dans Spot Image

■ 2010: décision par EADS/Astrium de financer Spot 6 et Spot 7

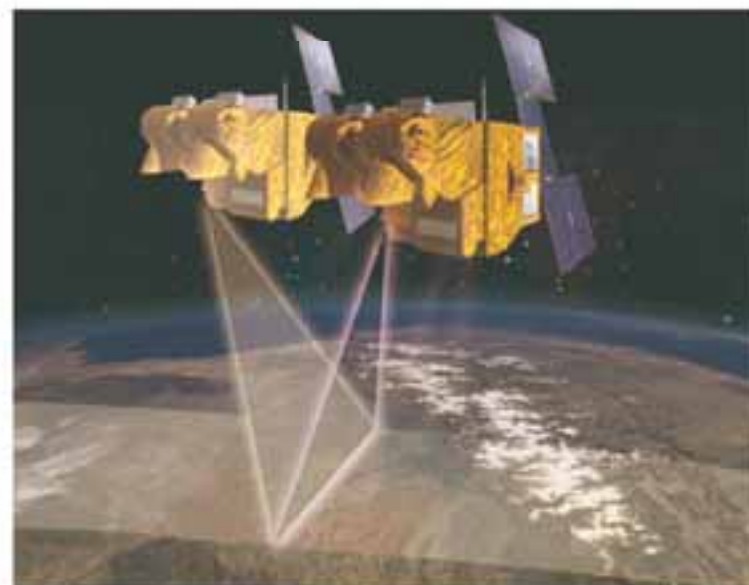


Spot 1 à 5

Lancements / fin de vie	<ul style="list-style-type: none">• Spot 1: 22 février 1986 / 27 nov 2003• Spot 2: 22 janvier 1990 / 29 juillet 2009• Spot 3: 26 septembre 1993 / 14 nov 96• Spot 4: 24 mars 1998 / 2012• Spot 5: 3 mai 2002 / 2015
Durée de vie	<ul style="list-style-type: none">• 3 ans (S1-4) / 5 ans (S5)
Résolution	<ul style="list-style-type: none">• S1-4: GSD 10 m Panchro, 20 m XS• S5: GSD 2,5 m Panchro, 10-20 m XS
Largeur de fauchée	<ul style="list-style-type: none">• 60 km / 120 km
Précision géolocalisation	<ul style="list-style-type: none">• 50 m CE90• 10 m CE90 avec Reference3D
Capacité de collecte journalière en mono	<ul style="list-style-type: none">• Spot 5: jusqu'à 5 000 000 km²/jour
Altitude / angle	<ul style="list-style-type: none">• 832 km• 30° en 8 s
Séréoscopie	<ul style="list-style-type: none">• S1-4: off-track• S5: in-track (instrument dual HRS)
Mémoire et downlink	<ul style="list-style-type: none">• Mémoire à bord: 1 terrabit• Xband (300mb/sec)
Poids	<ul style="list-style-type: none">• S1-3: 1800 kg• S4: 2760 kg• S5: 3000 kg
Orbite / période	<ul style="list-style-type: none">• Sun synchro / 101 mn

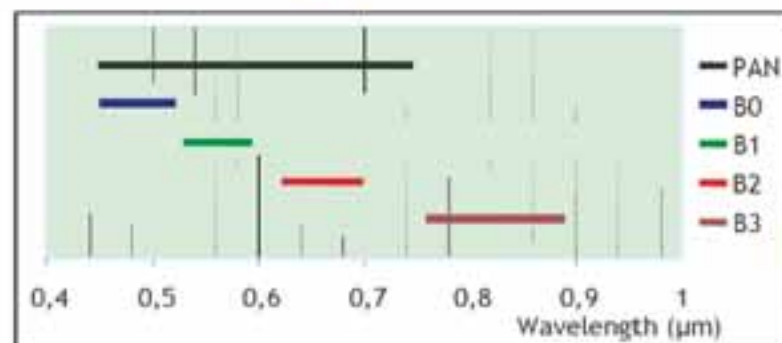


Spot 5



Spot 6 & 7

Lancement	- 09 septembre 2012 - Janvier 2014
Durée de vie	- 10,5 ans
Résolution	- GSD 2,2 m panchromatique, 8,8 m XS - Échantillonnage 1,5 m
Capteurs (modes)	- Panchromatique et multispectral simultané
Largeur de fauchée	- 60 km
Précision géolocalisation	- Mono: 10 m CE90 (Reference3D)
Capacité de collecte journalière en mono	- Jusqu'à 3 000 000 km ² /jour
Altitude / angle	- 694 km - 30° en 12 s
Mémoire et downlink	- Mémoire à bord: 1 terrabit - Xband (300mb/sec)
Poids	- 800 kg
Orbite / période	- Sun synchro / 98,64 mn



4 Les satellites commerciaux « THR »

■ PDD-23 du 9 mars 1994 : U.S. Policy on Foreign Access to Remote Sensing Space Capabilities

◆ “The fundamental goal of our policy is to support and to **enhance Us industrial competitiveness** in the field of remote sensing space capabilities while at the same time **protecting Us national security and foreign policy interests**. Success in this endeavor will contribute to maintaining our critical industrial base, advancing Us technology, creating economic opportunities, strengthening the Us balance of payments, enhancing national influence, and promoting regional stability.”

■ Cette directive du Président Clinton autorise l'exploitation de licences commerciales, principalement pour des satellites de très haute résolution

Un démarrage chaotique...



- **1991:** création de la division opérationnelle d'Orbital Sciences
- **1994:** création de Space Imaging par Lockheed Martin et Raytheon
- **1995:** rachat d'Orbital Science par Orbital Imaging (Orbimage)
- **1999:** perte d'Ikonos 1 et lancement d'Ikonos 2 (résolution 0,8m), **premier satellite civil submétrique**
- **2001:** perte d'OrbView 4 (résolution 1m)
- **2002:** Chapter 11
- **2003:** perte d'OrbView 3 (1m)
- **2006:** achat de Space Imaging par Orbimage → GeoEye
- **2012:** achat de GeoEye par DigitalGlobe

... et des consolidations



- **1993:** création du premier fournisseur commercial de données satellitaires aux États-Unis.
Deviens EarthWatch en 1994 après fusion avec Ball Aerospace
- **1997:** perte d'EarlyBird (résolution 3m)
- **2000:** perte de QuickBird1 (résolution 1m)
- **2001 et 2002:** lancement de QuickBird2
EarthWatch devient DigitalGlobe
- **2005:** restructuration majeure du fait de pertes importantes
- **2012:** DigitalGlobe, Inc achète GeoEye pour 453 M\$

Programmes NextView et ClearView : un sauvetage miraculeux

- En 2003, George W. Bush rénove la directive présidentielle PDD 23 de Clinton (mars 1994) et annonce sa nouvelle politique spatiale en matière de télédétection. La directive recommande aux agences fédérales d'avoir davantage recours aux entreprises privées pour se fournir en imagerie satellite :

« L'objectif général de cette politique est de promouvoir la sécurité nationale et la politique étrangère, en maintenant le leadership américain en matière de télédétection et en favorisant l'industrie américaine liée à l'observation de la Terre»

- Programmes NextView, ClearView, puis EnhancedView, gérés par la National Geospatial-Intelligence Agency (NGA)

Programmes NextView, ClearView, puis EnhancedView: un sauvetage miraculeux

- Programmes ClearView et NextView : de 2003 à 2010, la NGA a dépensé plus d'1,7 milliards \$ en achat d'imagerie ou en financement de capacité satellitaire commerciale, soit une moyenne annuelle de 123 M\$ pour chaque acteur
- EnhancedView : une accélération substantielle ; une moyenne annuelle de 360 millions de dollars par acteur, soit un budget annuel NGA quasiment triplé
- Les contrats de la NGA ont permis aux acteurs US de recréer une structure financière assainie, garantissant en parallèle leur succès et leur développement sur les marchés civils

Les satellites THR américains (2^{ème} génération)



GeoEye1

Lancement	- 06/11/2008
Durée de vie	- 7 ans
Résolution	- 0.41 m panchromatique - 1.65 m multispectral
Capteurs (modes)	- Panchromatique seul - Multispectral seul - Panchromatique et multispectral simultané (pan-sharpened)
Largeur de fauchée	- 15 km
Précision géolocalisation	- Mono: 5 m CE90 - Stereo: 4 m CE90 horiz.; 6m LE90 vertic.
Capacité de collecte journalière en mono	- Jusqu'à 700 000 km ² /jour (panchro) - Jusqu'à 350 000 km ² /jour (pan sharp)
Altitude / angle	- 681 km - 10° (rés 0.42) – 28° (rés 0.50) – 35° (rés 0.59)
Mémoire et downlink	- Mémoire à bord: 1 terrabit - Xband (740mb/sec)
Poids	- 1955 kg
Orbite / période	- Sun synchro / 98 mn



WorldView1

Lancement	- 18/09/2007
Durée de vie	- 7 ans
Résolution	- 0.50 m
Capteurs	- Panchromatique
Largeur de fauchée	- 17.6 km
Précision géolocalisation	- 6.5 m CE90 au nadir
Capacité de collecte journalière en mono	- Jusqu'à 750 000 km ² /jour
Altitude / Angle	- 496 km +/- 45° off nadir
Mémoire et downlink	- Mémoire à bord: 2.2 terrabits - Xband (800mb/sec)
Poids	- 2500 kg
Orbite / période	- Sun synchro / 94.6 mn

Les satellites THR américains (3^{ème} génération)

GeoEye2

Lancement	- 2013
Durée de vie	- A priori 7 ans
Résolution	- 0.33 m
Capteurs (modes)	
Largeur de fauchée	
Précision géolocalisation	- Sans les détailler, GeoEye a annoncé que les caractéristiques de GeoEye2 seraient sensiblement identiques à celle de GeoEye1, avec néanmoins des améliorations substantielles en terme de capacité, notamment en terme de direct tasking) et d'agilité (CMG).
Capacité de collecte journalière en mono	
Altitude	
Mémoire et downlink	
Poids	
Orbite / période	

WorldView2

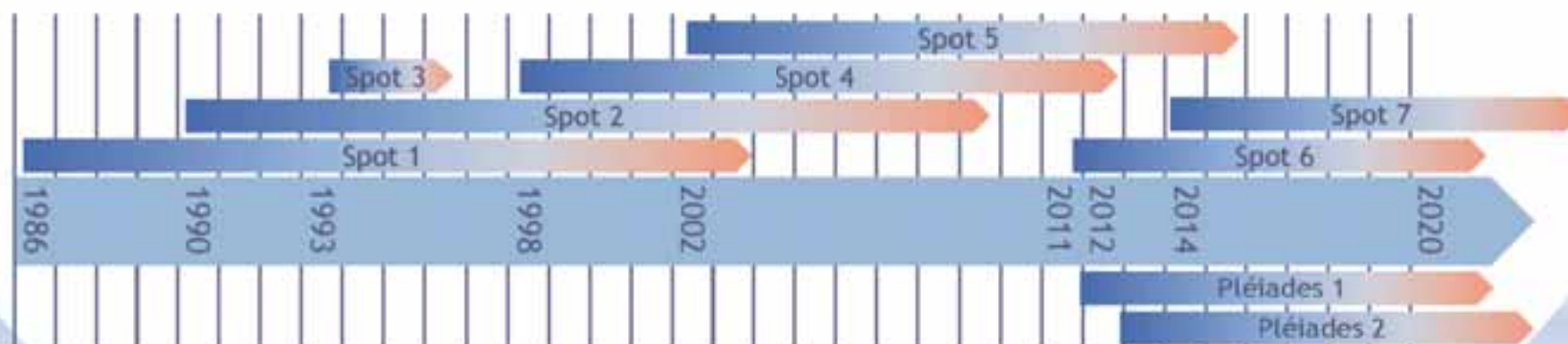
Lancement	- 08/10/2009
Durée de vie	- 7 ans
Résolution	- 0.46 m au nadir (panchromatique) - 1.84 m multispectral
Capteurs	- Panchromatique et 8 multispectral (rouge, bleu, vert, proche infrarouge, red edge, coastal, jaune et proche infrarouge 2)
Largeur de fauchée	- 16,4 km
Précision géolocalisation	- 6.5 m CE90 au nadir
Capacité de collecte journalière	- N.a.
Altitude / angle	- 770 km +/- 45° off nadir
Mémoire et downlink	- Mémoire à bord: 2199 gigabits - Xband (800mb/sec)
Poids	- 2800 kg
Orbite / période	- Sun synchro / 100 mn



Le programme Pléiades

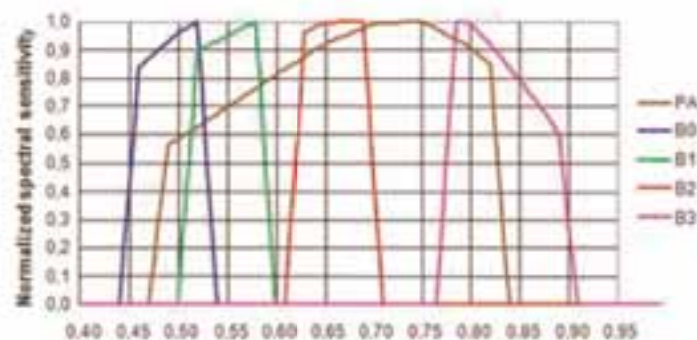
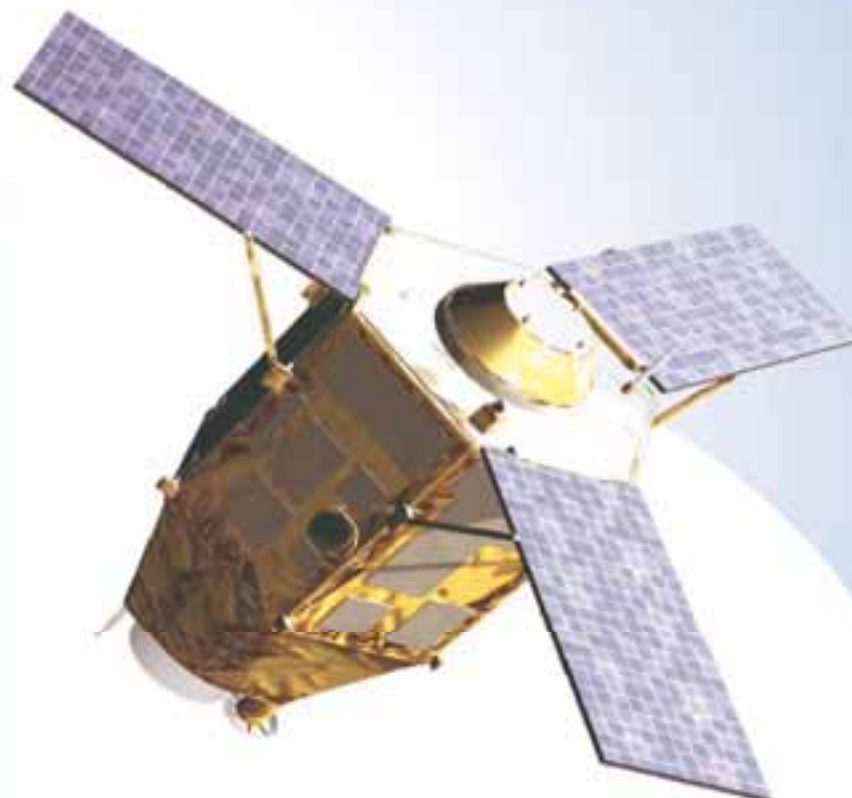
■ Pléiades 1 et 2 décidés par le gouvernement français en 2001

- ◆ Partenariat avec l'Italie, qui exploite Cosmo-Skymed
- ◆ Canal Défense géré par les défenses partenaires (Fr-Esp-Belg)
- ◆ Mission duale : canal civil géré par un Astrium GeoInformation Services (Spot Image), sous délégation de service public du CNES et convention avec le Ministère de la défense

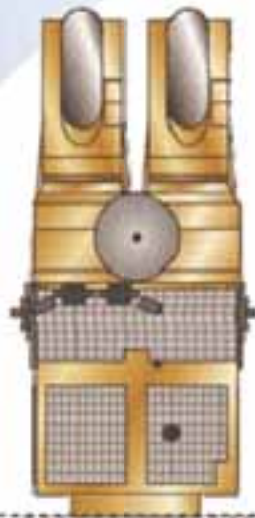


Pléiades 1 & 2

Lancement	<ul style="list-style-type: none"> • 17 décembre 2011 • 1^{er} décembre 2012
Durée de vie	• 7 ans, carburant prévu pour 15 ans
Résolution	<ul style="list-style-type: none"> • GSD 0.7 m panchromatique, 2,8 m XS • Échantillonnage 0,5 m
Capteurs (modes)	• Panchromatique et multispectral simultané
Largeur de fauchée	• 20 km
Précision géolocalisation	<ul style="list-style-type: none"> • Mono: 10 m CE90 • Stereo: 8 m CE90 horiz, 6 m LE90 vertic.
Capacité de collecte journalière en mono	• Jusqu'à 1 000 000 km ² /jour
Altitude / angle	<ul style="list-style-type: none"> • 694 km • 10° (rés 0.7) – 30° (rés 1m)
Mémoire et downlink	<ul style="list-style-type: none"> • Mémoire à bord: 1 terrabit • Xband (465mb/sec)
Poids	• 1955 kg
Orbite / période	• Sun synchro / 98,64 mn



Les satellites Spot - Pléiades



Spot 1-2-3

1800 kg

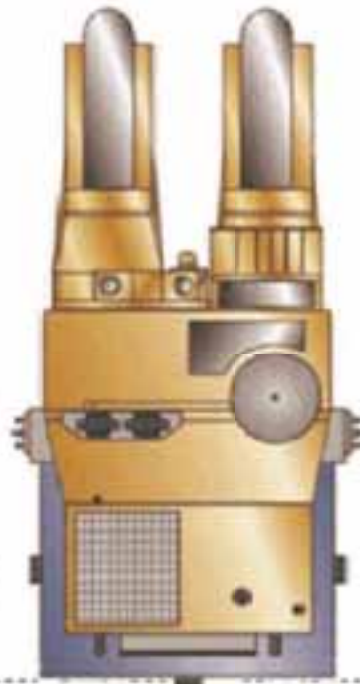
1986-1990-1993



Spot 4

2760 kg

1998



Spot 5

3000 kg

2002



Pléiades 1-2

1000 kg

2011-2012



Spot 6-7

800 kg

2012-2014



5 Google Earth et les globes virtuels

- L'ouverture du service Google en juin 2005 crée un électrochoc et brise des tabous sur l'imagerie satellitaire
- Le paysage de l'information géographique se transforme à grande vitesse



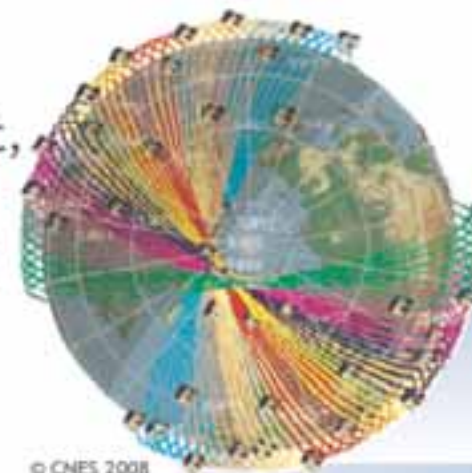
L'accès aux images est en forte évolution

■ Tendances web : « data as a commodity »

- ◆ ftp : aujourd'hui plus des deux tiers des livraisons d'images
- ◆ Élargissement de la base des utilisateurs
- ◆ Simplification de l'accès aux services et aux données
- ◆ Autonomie de l'utilisateur
- ◆ La nouveauté : accès direct à la donnée fraîche par le web (webmapping, streaming)

■ L'apparition d'une offre globale d'images très haute résolution en continu et en temps quasi-réel ?

- ◆ Basée sur des constellations de petits satellites, un réseau dense de stations de réception/traitement, et une diffusion par le web
- ◆ Investissement immense, challenges technologiques
- ◆ Des enjeux de sécurité et de droit
- ◆ Un modèle économique incertain...



© CNES 2008

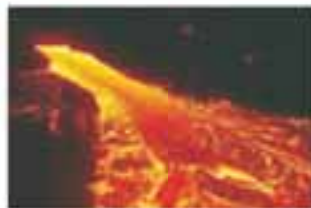
L'Observation de la Terre

1. L'Observation de la Terre en cinq dates
2. Les applications de l'observation de la Terre

Des besoins immenses...



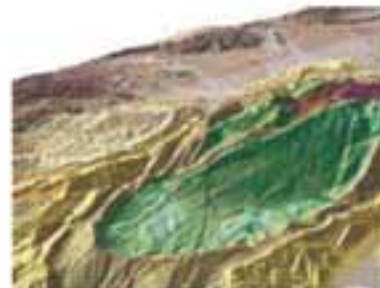
- Renforcement des politiques de sécurité
- Montée en puissance des préoccupations environnementales
- Crises alimentaire et agricole mondiales
- Fort développement de certaines régions du monde
- Fréquence et intensité des catastrophes naturelles



...une gamme étendue de solutions



- Défense & sécurité
- Gestion des risques & des crises
- Agriculture
- Forêt & environnement
- Surveillance maritime & côtière
- Services d'exploration pétrolière
- Planification de la croissance urbaine
- Cartographie & cadastre...

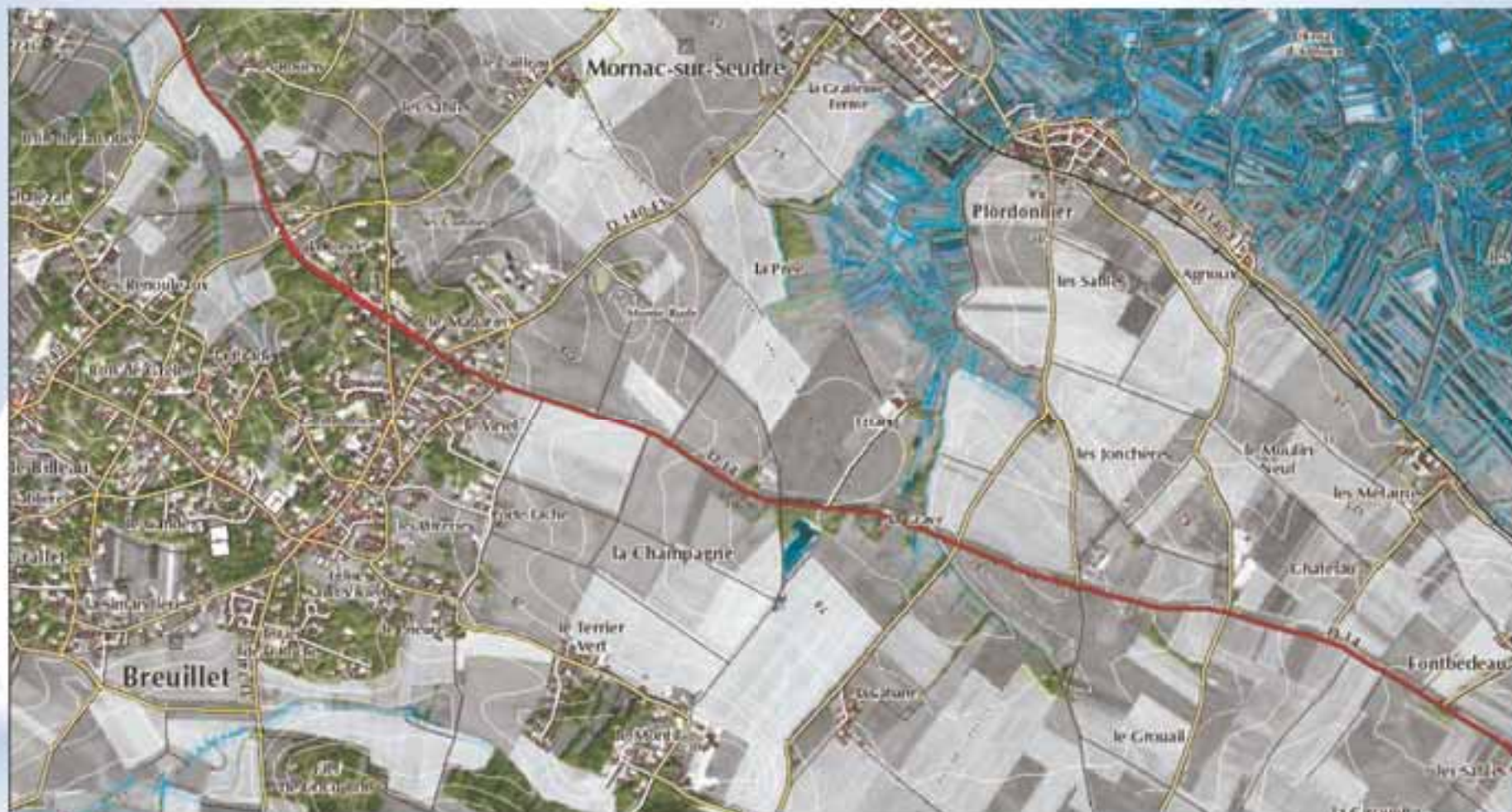


Cartographie et cadastre



Mise à jour cartographique (1/25 000)

Cartographie



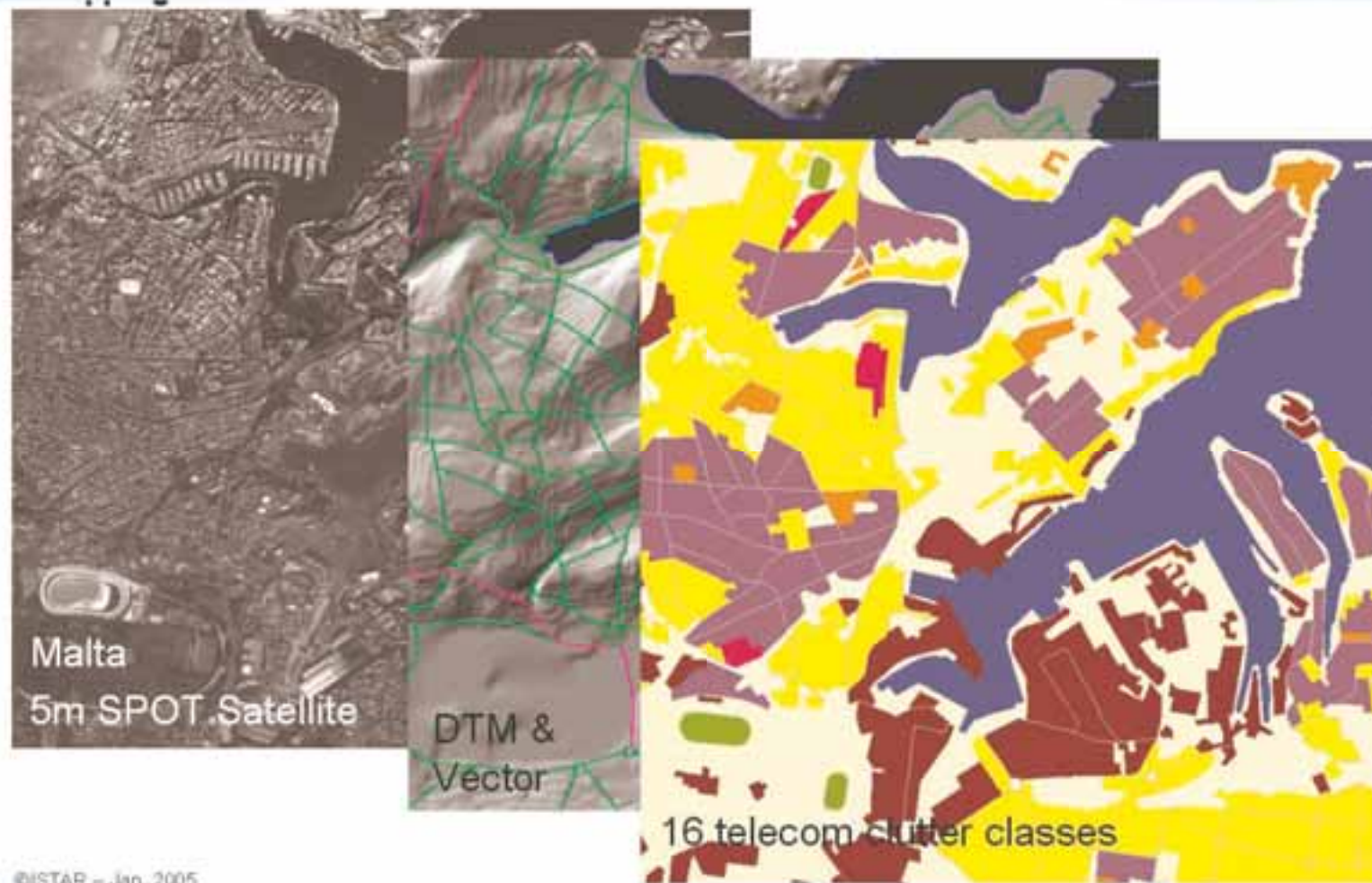
Mise à jour de cartes 1/25 000

Planification urbaine



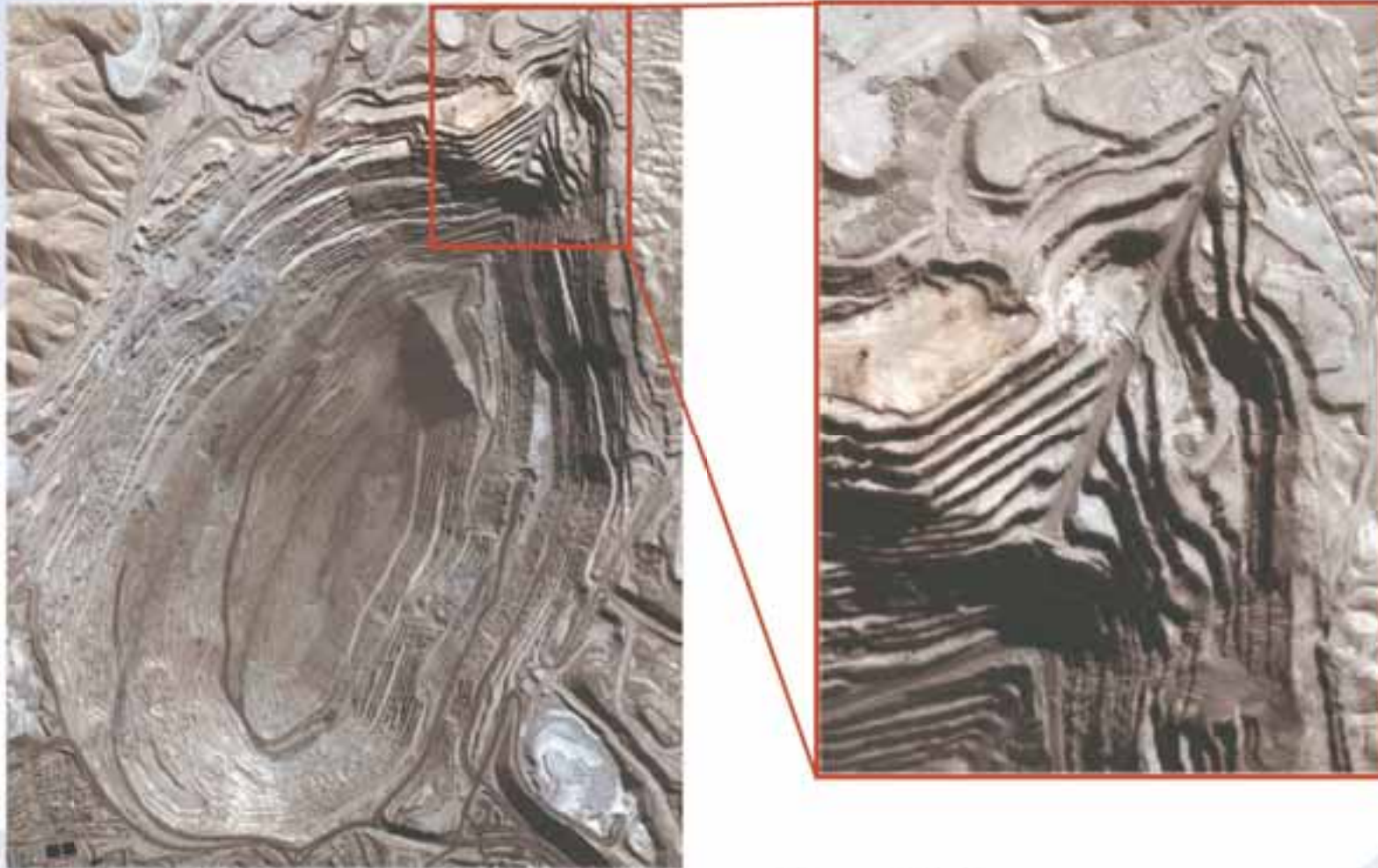
Mesure et cartographie de la pression urbaine

Équipement, réseaux



Implantation de réseaux de téléphonie cellulaire

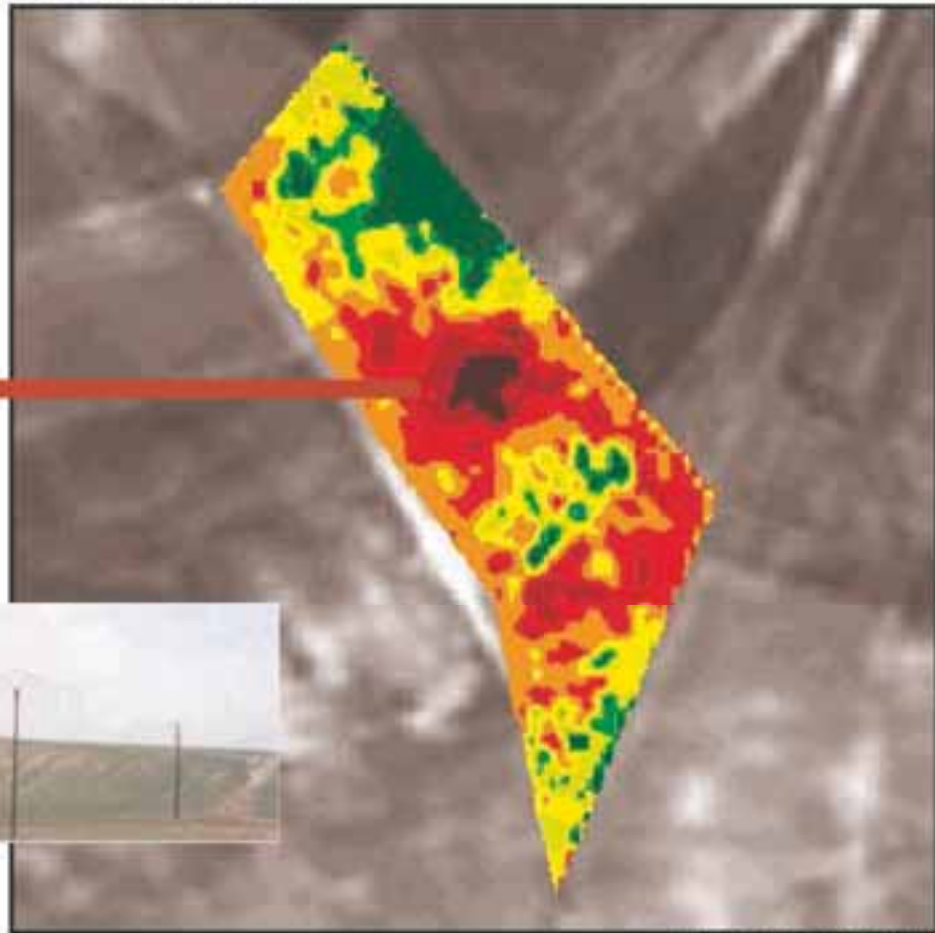
Grands travaux, infrastructures



Suivi d'un site minier (Chili)

Agriculture

e 3°44'44.3" E / 49°8'42.3" N

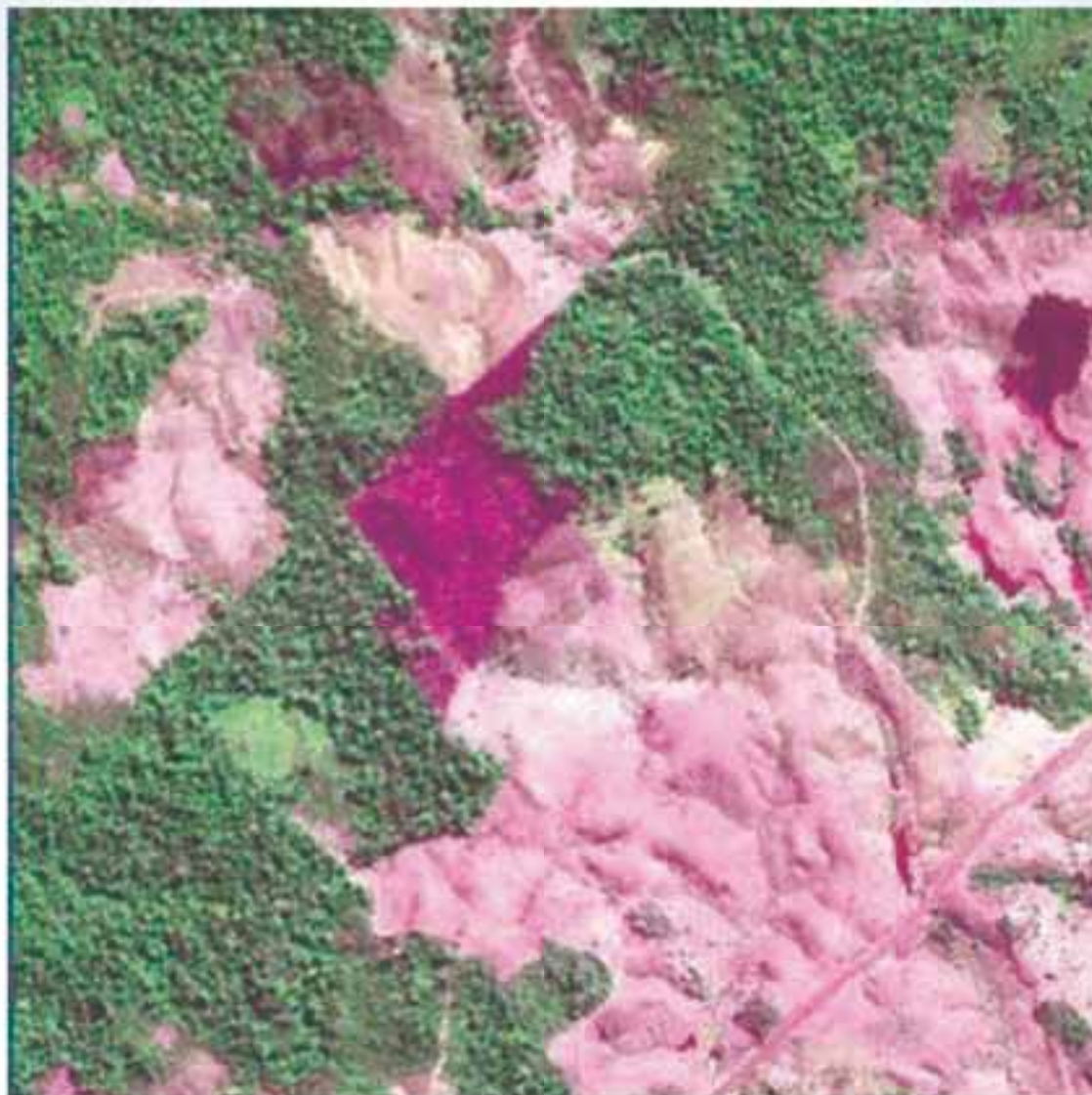


Projection : Lambert-2 étendue



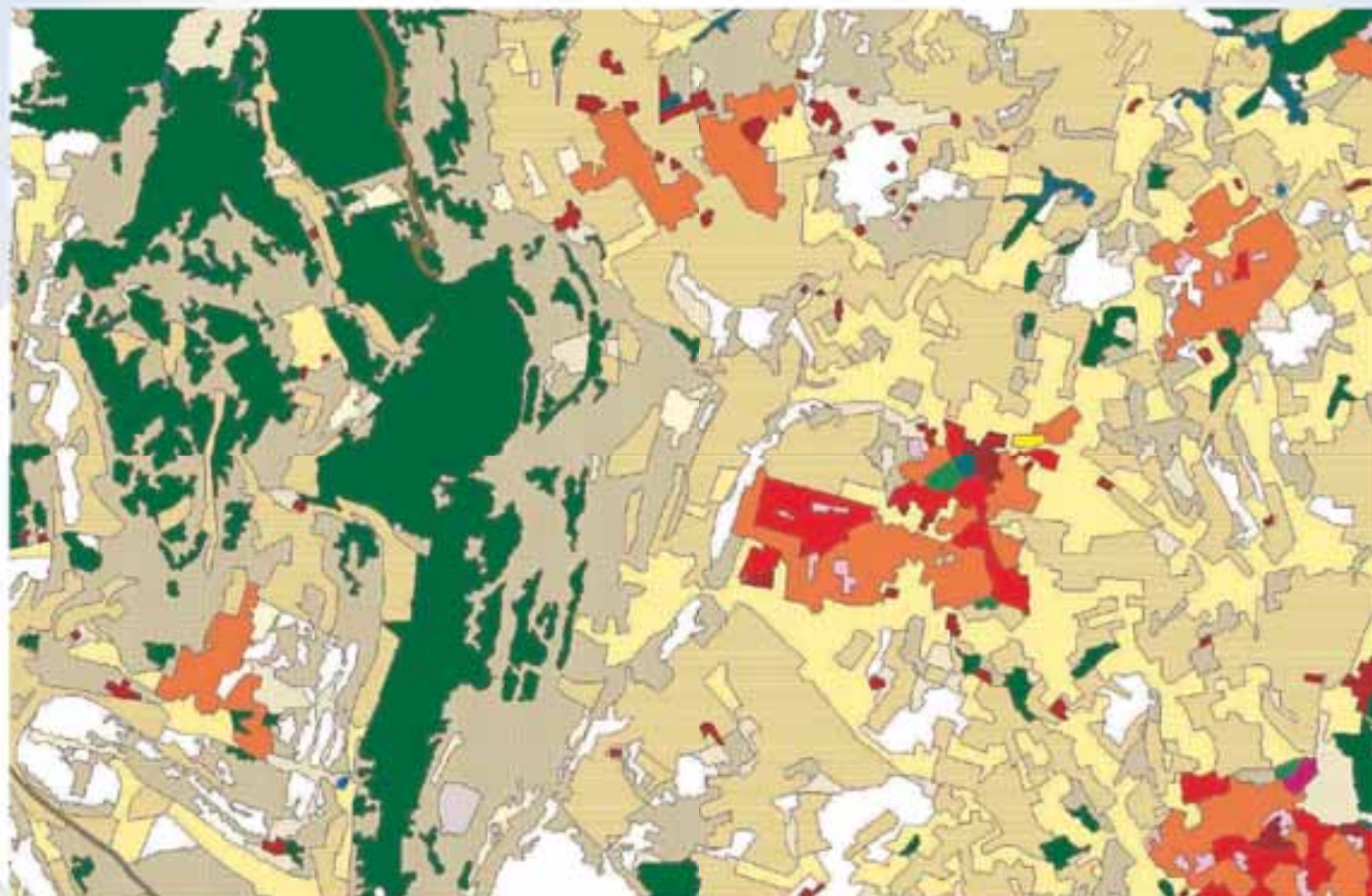
Code :
COHB1443B01

Détection rapide d'attaques de bio-agresseurs ou de stress hydrique



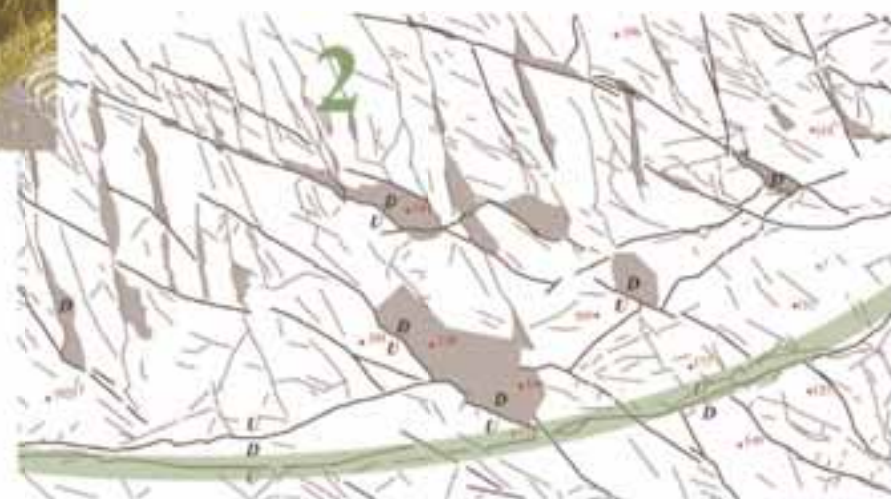
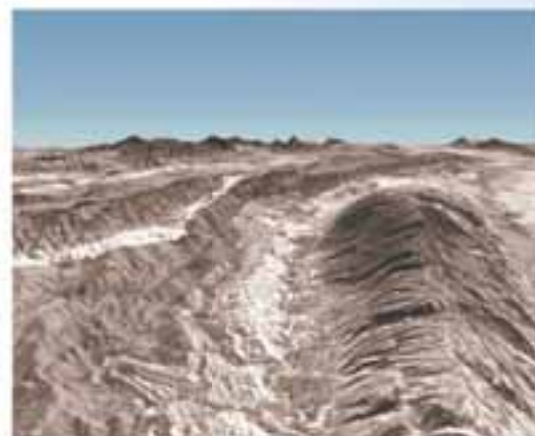
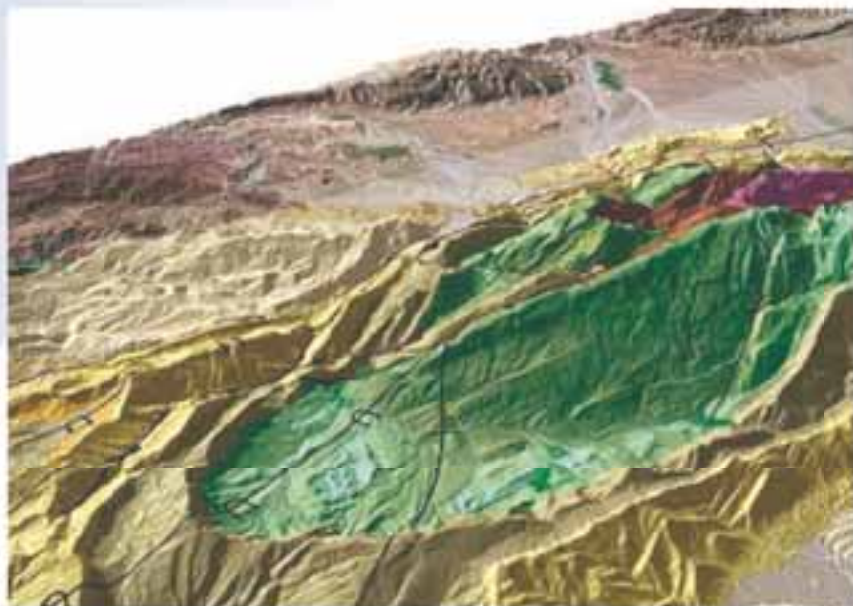
Détection et suivi de la déforestation (Brésil)

Environnement



Cartographie d'occupation du sol (Montpellier)

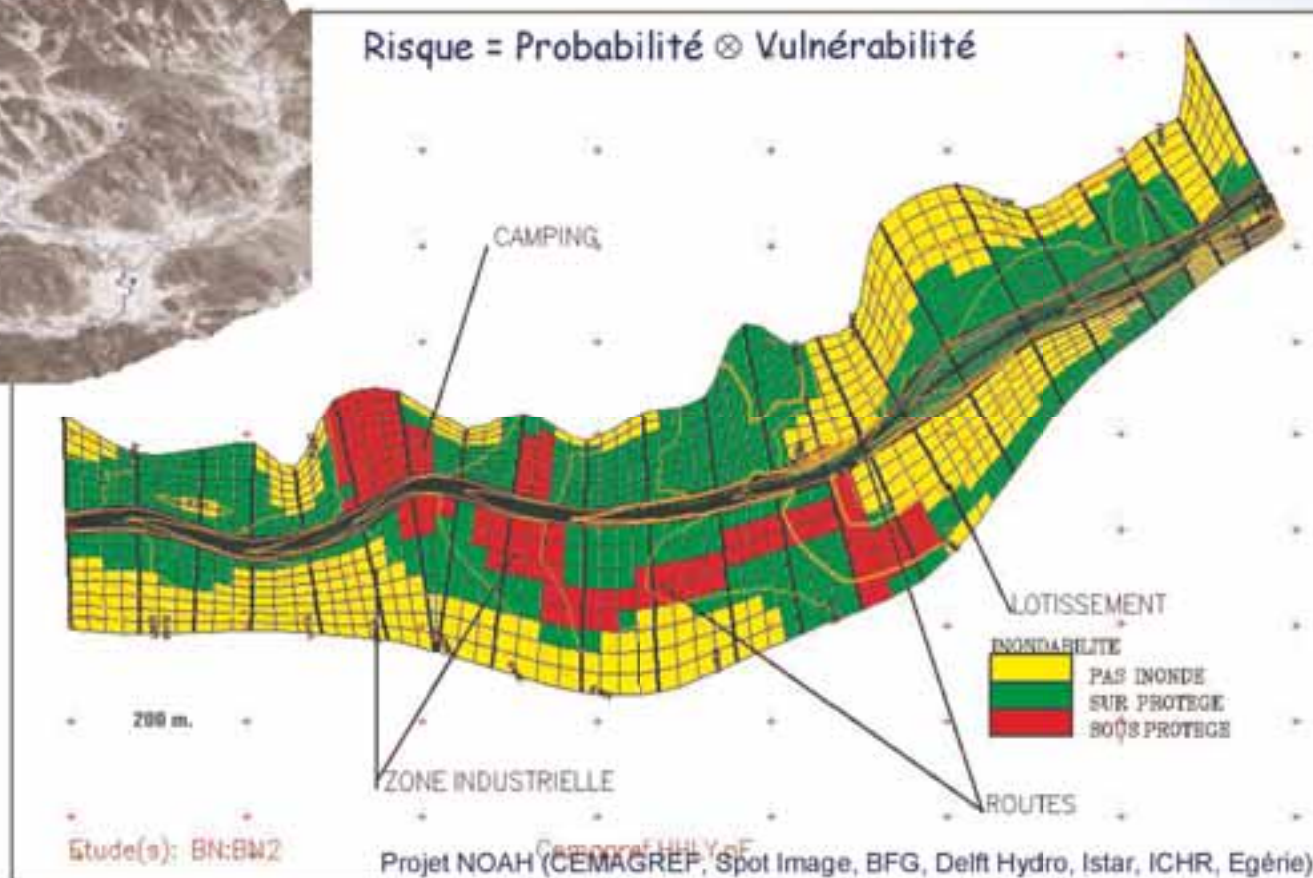
Cartographie géologique



TOTAL

Mise à jour de la carte morphostructurale

Gestion des risques



Prévention et gestion des risques d'inondation

Gestion des risques

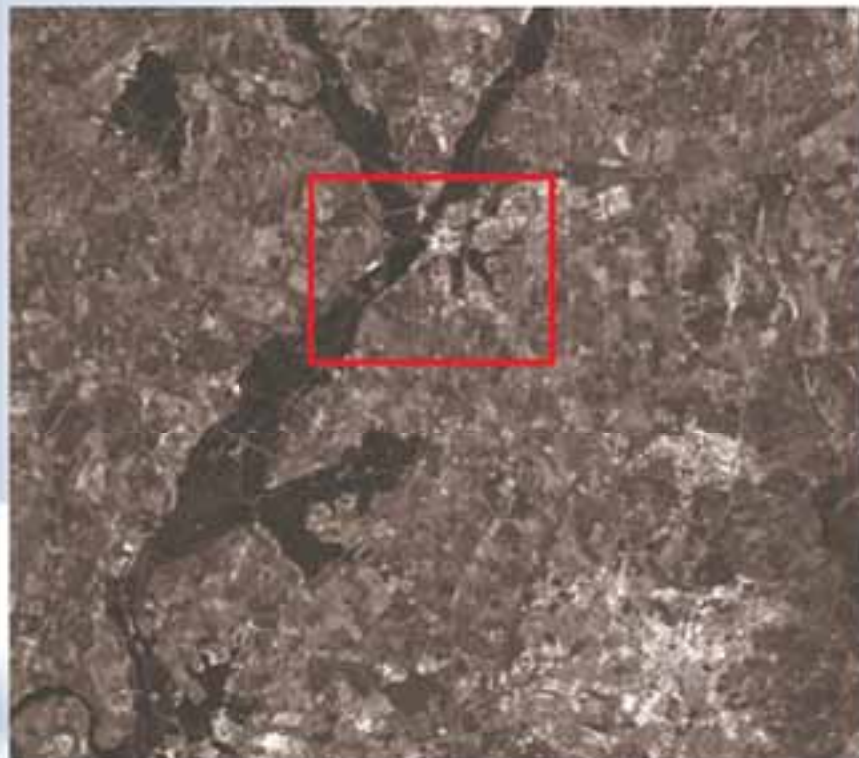


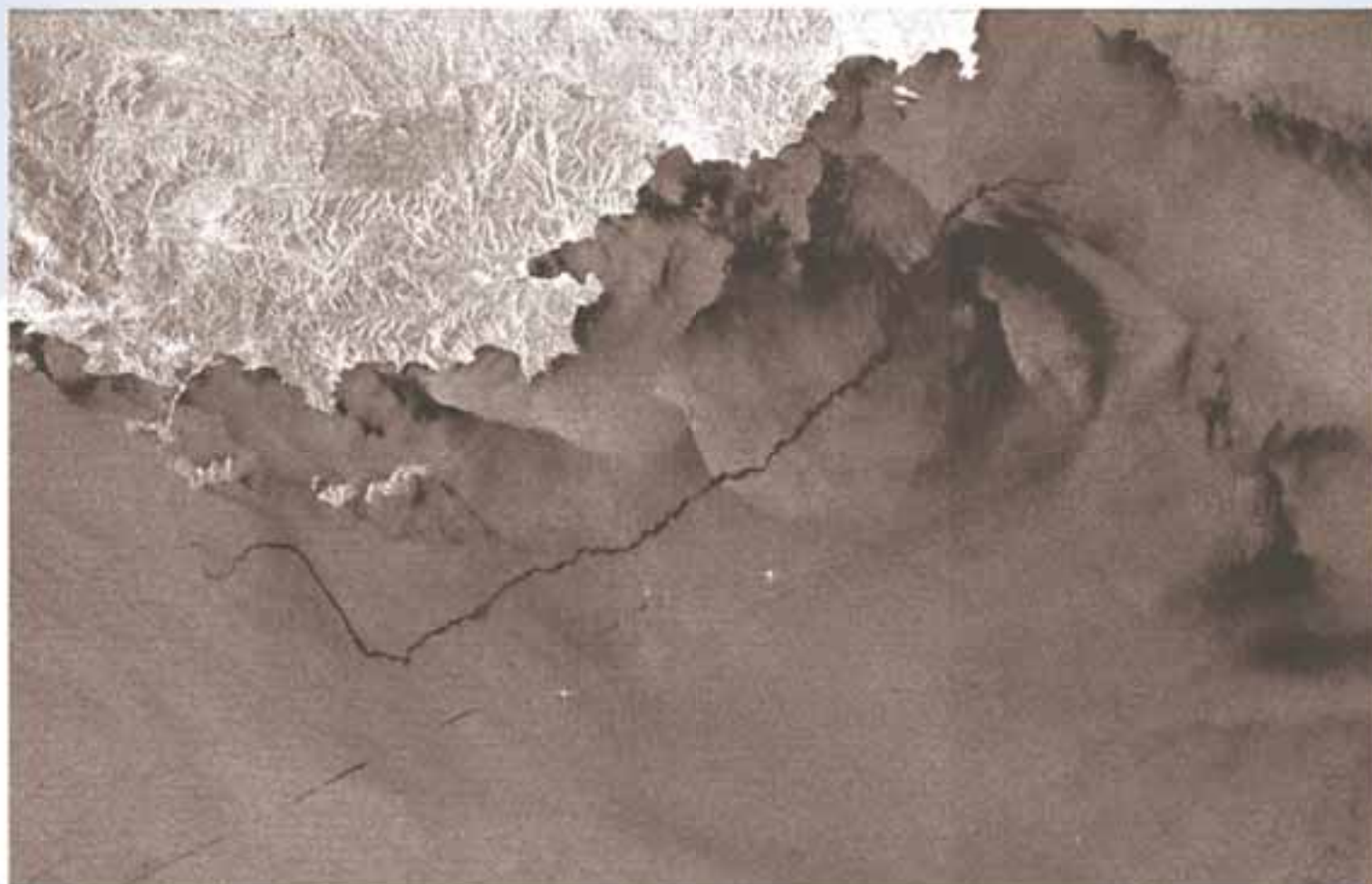
Image TerraSAR-X - 25/07/2007



Tewkesbury city, UK

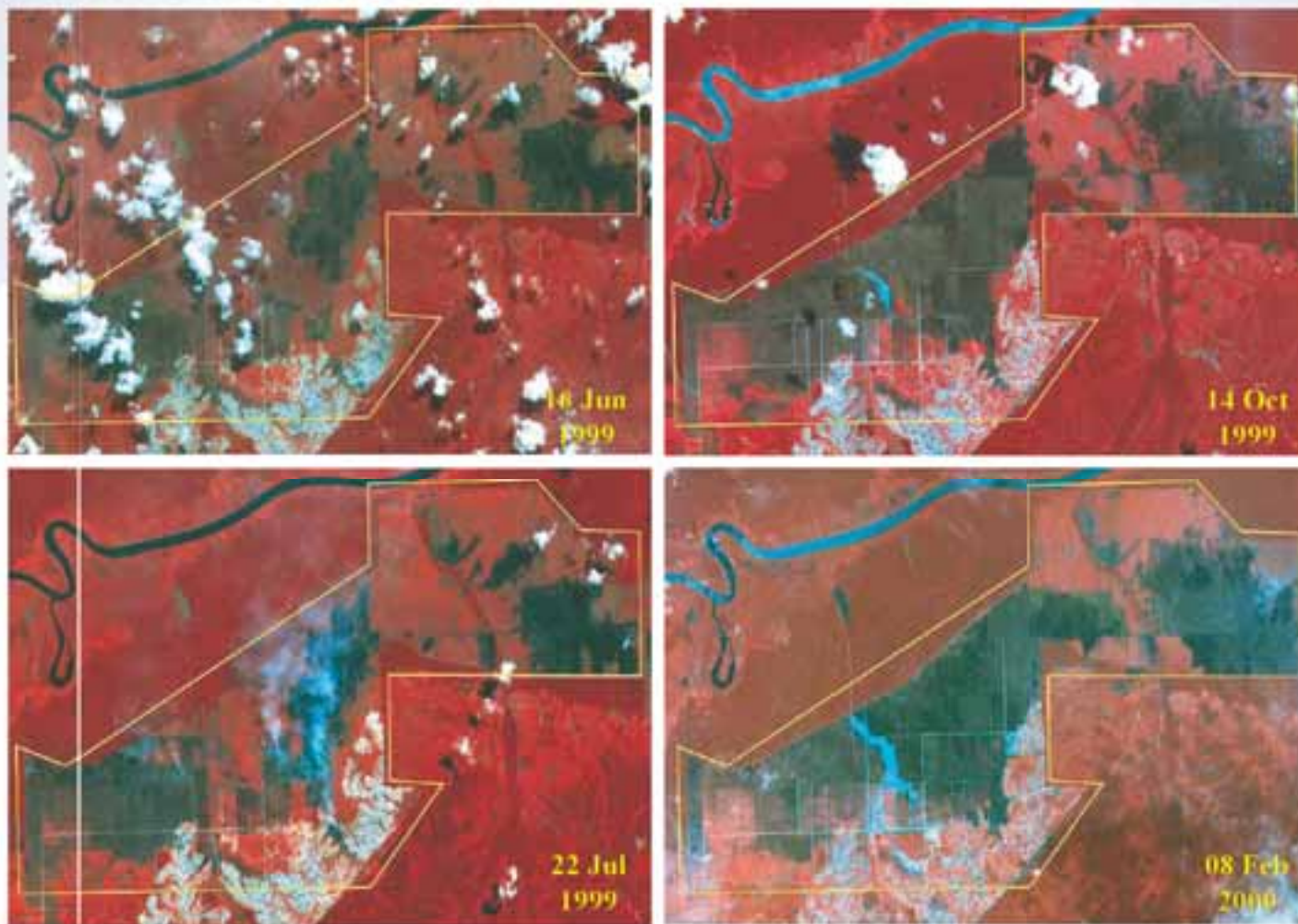
Évaluation de l'extension de l'inondation

Gestion des risques



Pollution d'hydrocarbures (03/08/2004) détectée par ENVISAT-ASAR

Gestion des risques



Suivi de feux de forêt (Indonésie)

Surveillance de sites

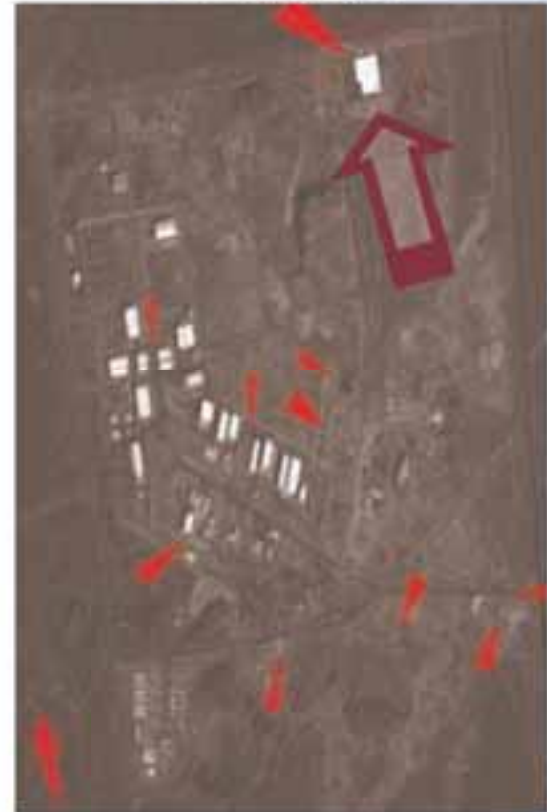
22/10/2007



23/10/2007

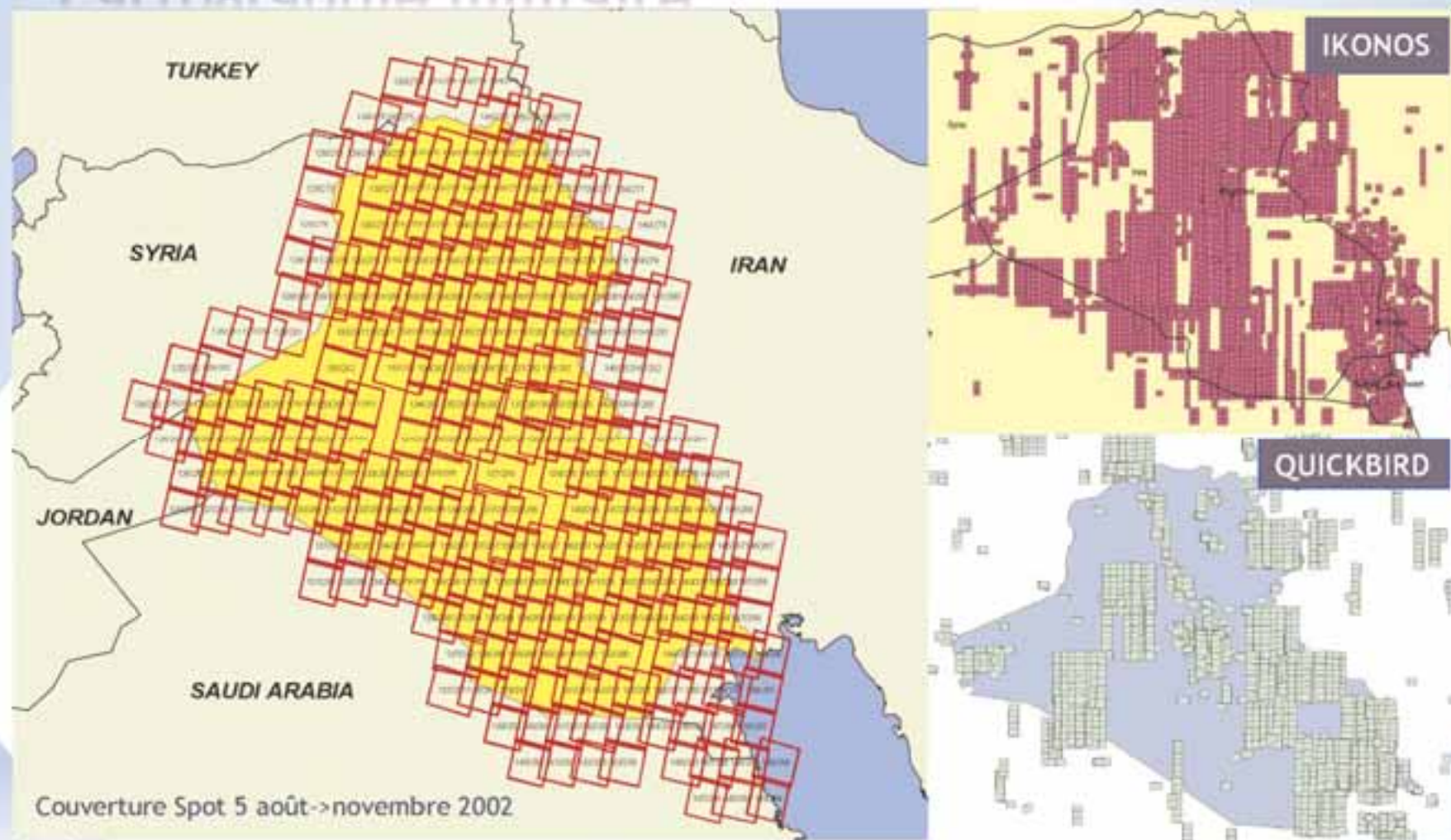


24/10/2007



Détection de changement par Formosat-2 (Natanz, Iran)

Cartographie militaire



Couverture image pour mise à jour cartographique rapide (Irak, 437 000 km²)

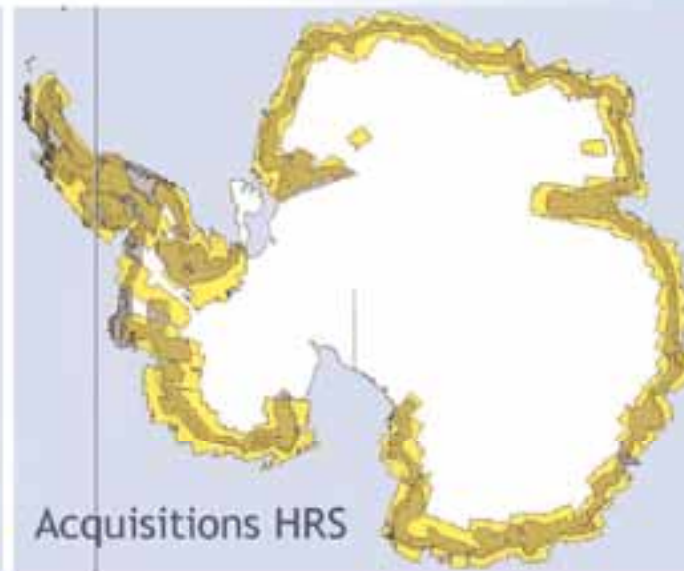
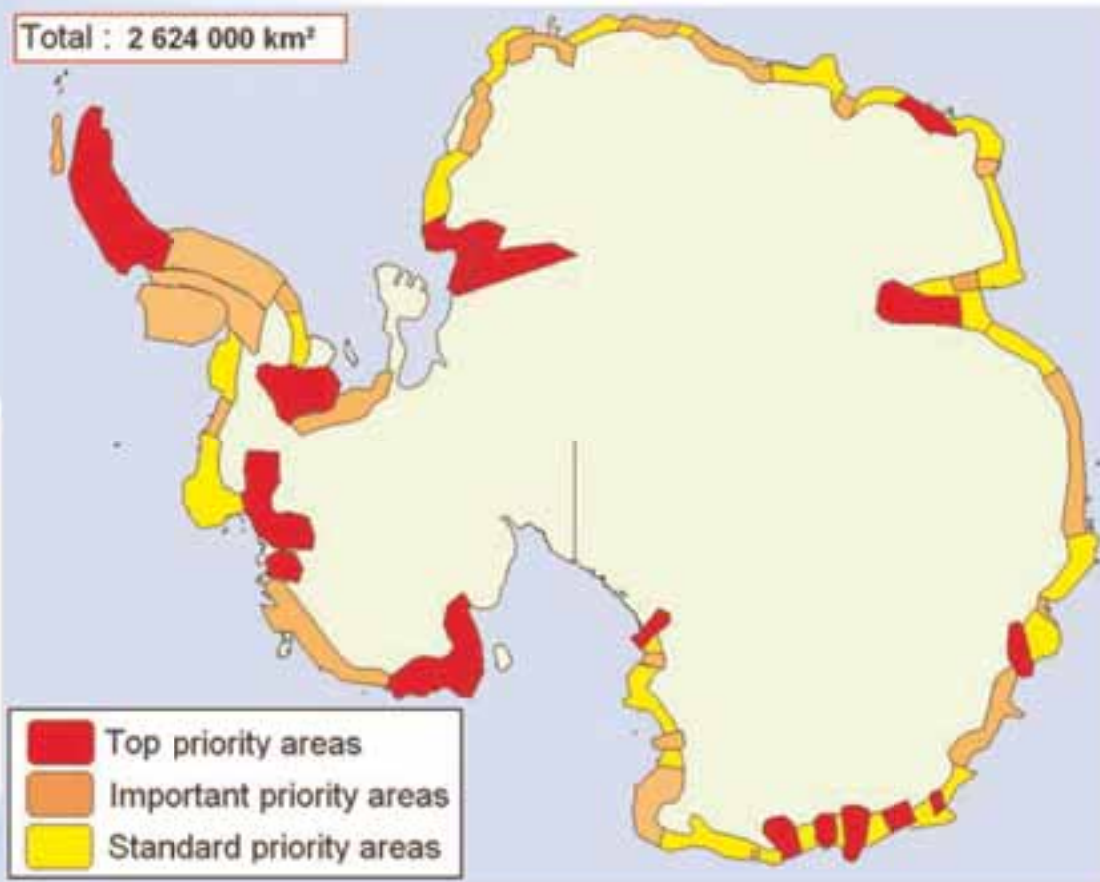


QuickBird

Commando marine américain dans le Chatt-el-Arab le 22 mars 2003

Cartographie 3D des glaces polaires

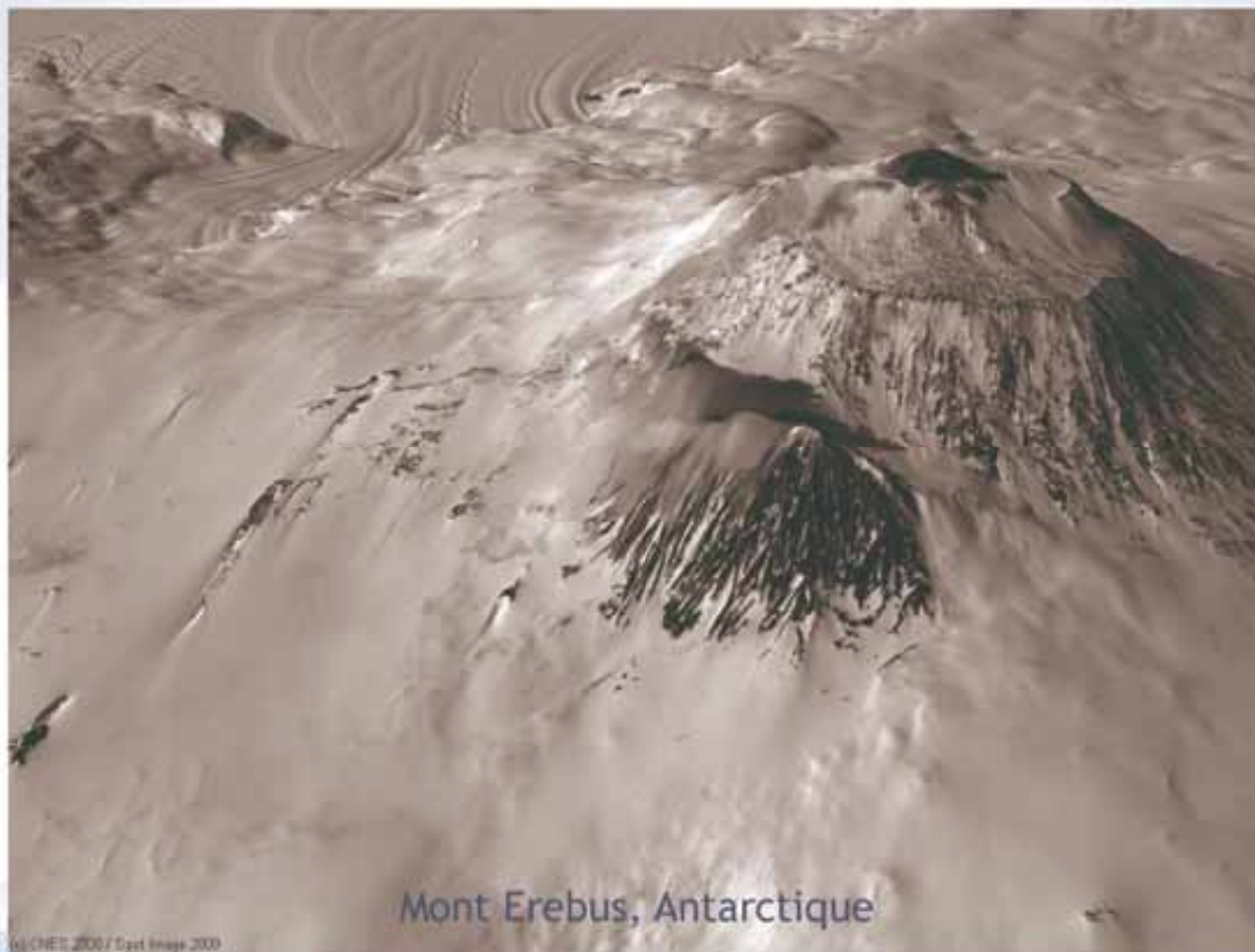
Total : 2 624 000 km²



Arctique et Groenland :
1,36 Mkm² de MNT
Antarctique : 1,30 Mkm²

Programme Spirit (CNES, CNRS, Legos, Spot Image, 2007-2009)

Cartographie 3D des glaces polaires



Port de Bouc- France - 0,50m Couleur



Capetown - South Africa - 0,50m Colour



Cannes - France - 0,50m Couleur





cnes Pleiades

Toulouse Capitole



Image © 2007 TerraMetrics

© 2007 Cnes/Spot Image

Google

Position: 43°52'51.20" N, 1°23'02.48" E, elev. 3467 ft

Mise au point: 100%

Altitude: 3705 ft

