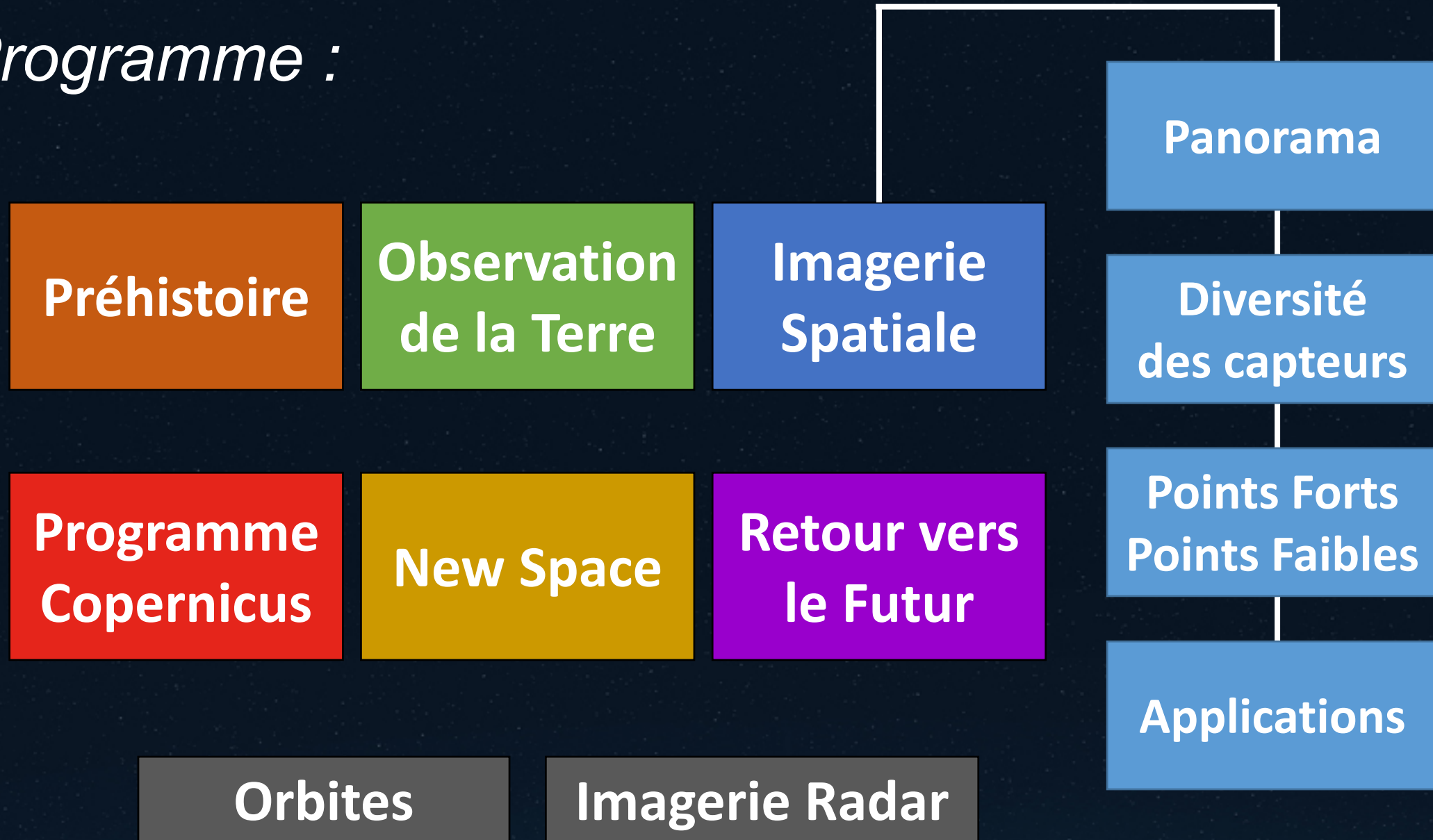


# ***Observation de la Terre par Satellite***



# Programme :





# Programme :

**Préhistoire**

Observation  
de la Terre

Imagerie  
Spatiale

Panorama

Diversité  
des capteurs

Programme  
Copernicus

New Space

Retour vers  
le Futur

Points Forts  
Points Faibles

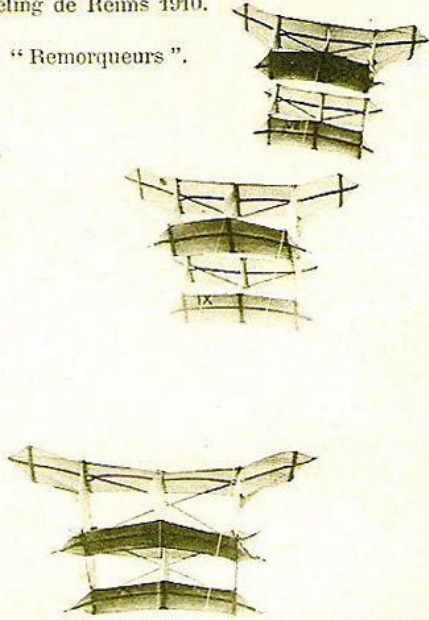
Orbites

Imagerie Radar

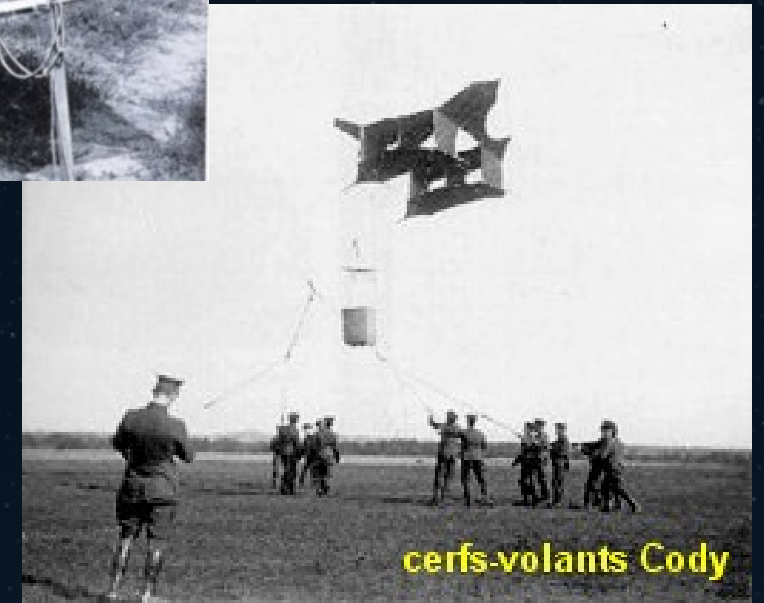
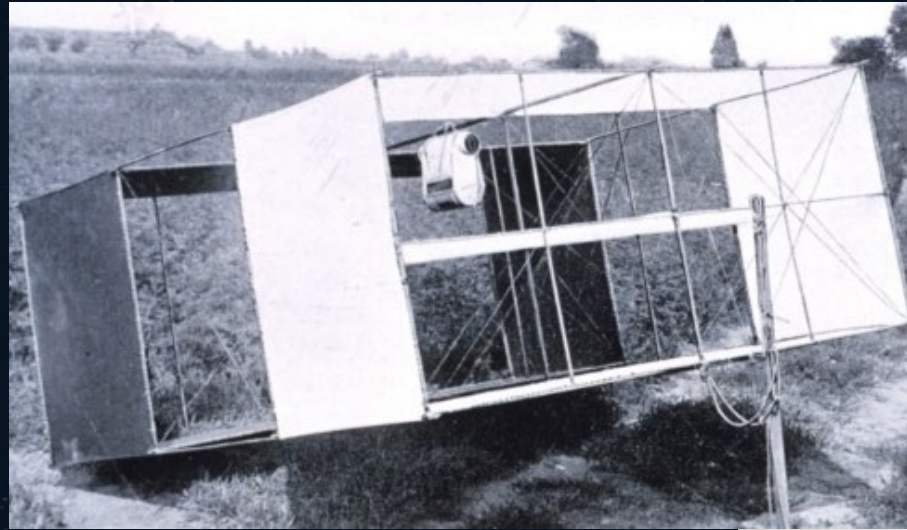
Applications

Train de Cerfs-Volants du Capitaine "SACONNEY"  
1<sup>er</sup> Prix du Meeting de Reims 1910.

Arrimage des "Remorqueurs".



Librairie Militaire Guérin, Montmélon



*Prendre de la hauteur...*





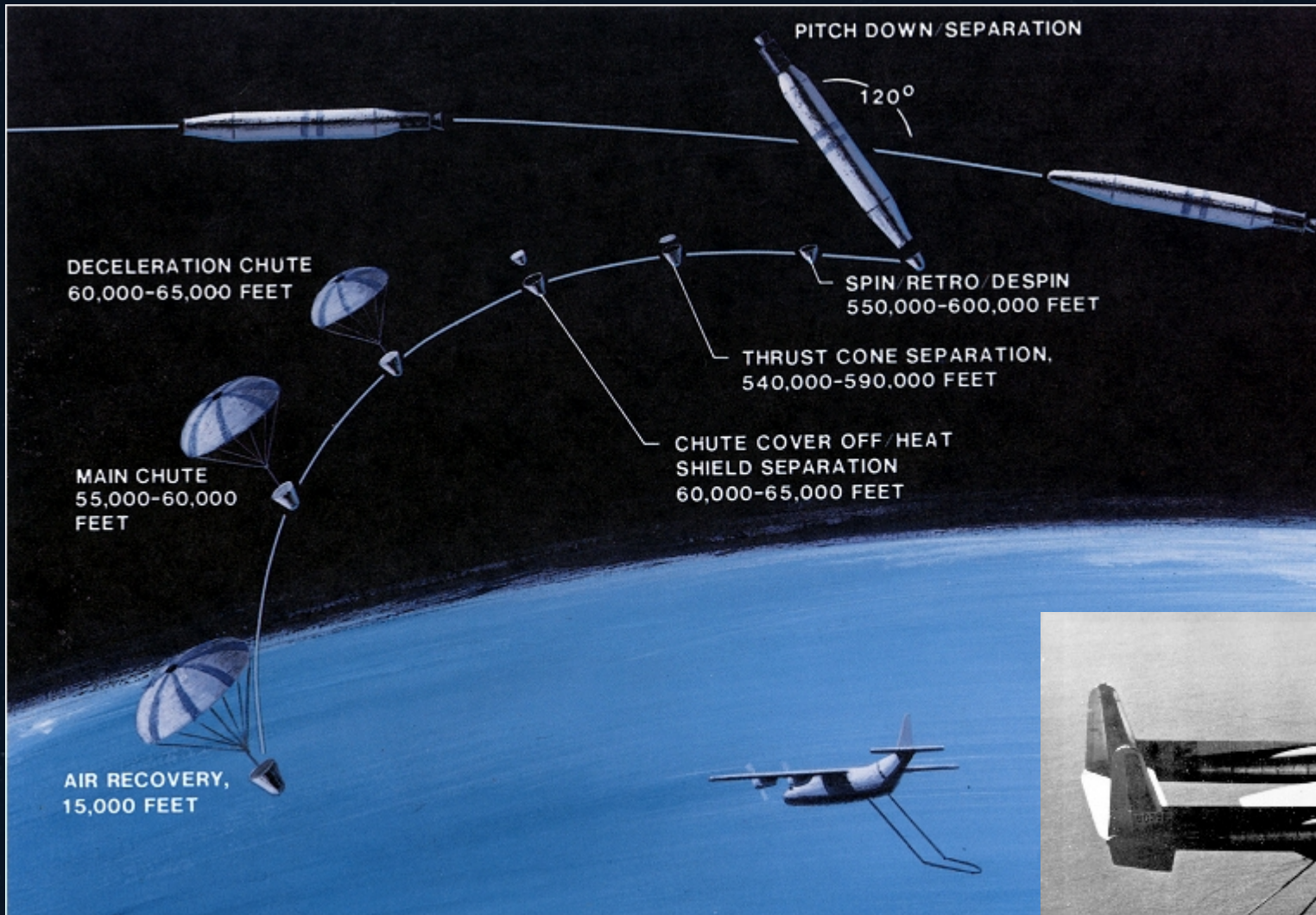
*Prendre de la hauteur...*



*Lockheed U-2*



# *Premiers satellites de reconnaissance : récupération des pellicules photos*



*Corona*

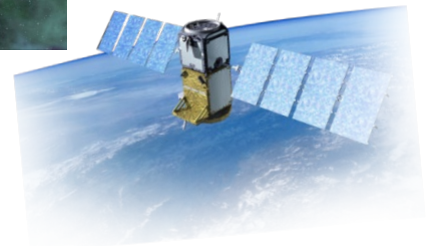
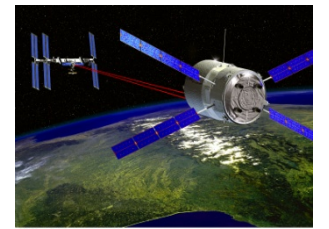
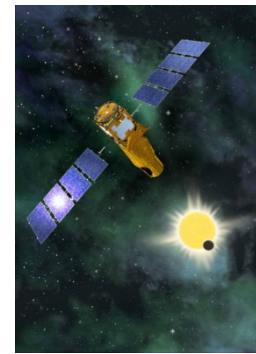
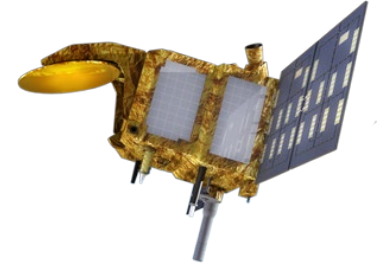
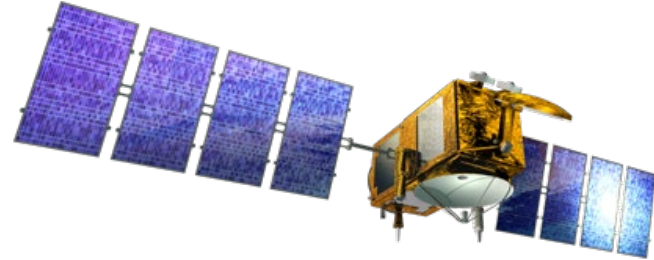
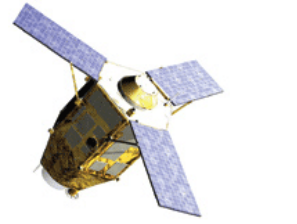
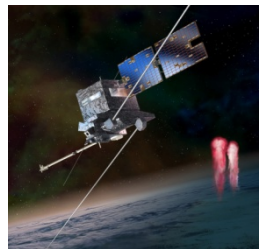
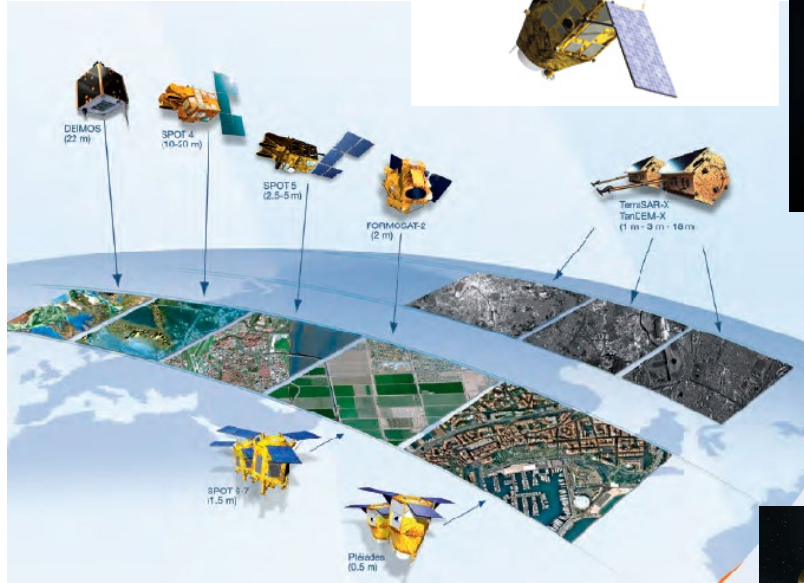
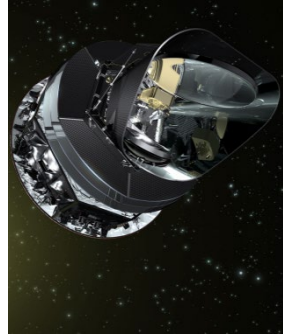
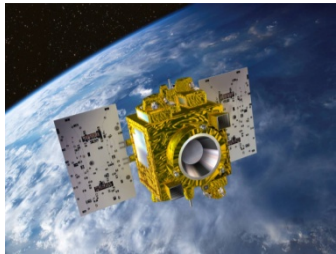


*4 octobre 1957*

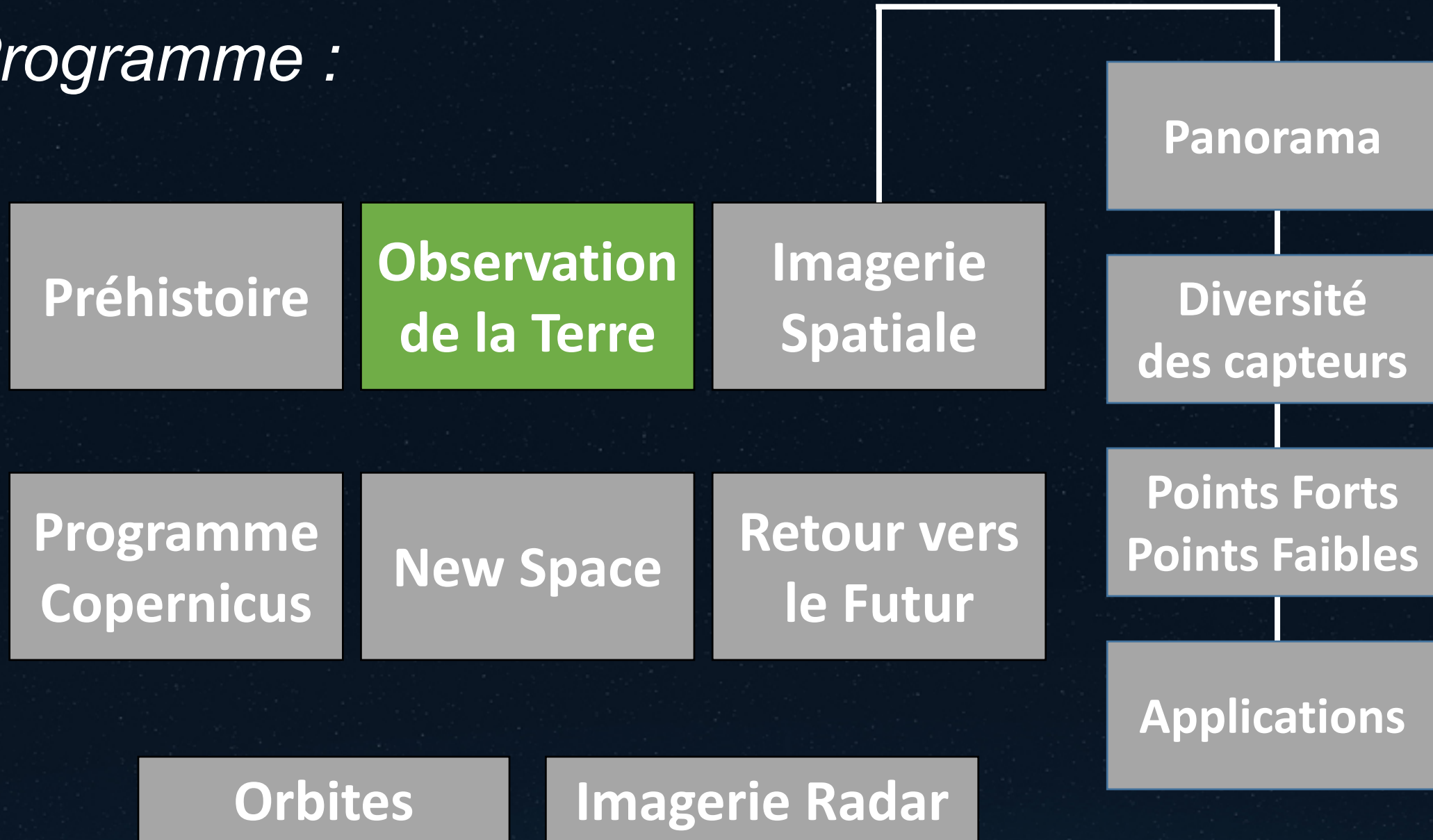
*Lancement de  
Spoutnik !*



# ***DIVERSITÉ ET POTENTIALITÉ DES SATELLITES ...***



# Programme :



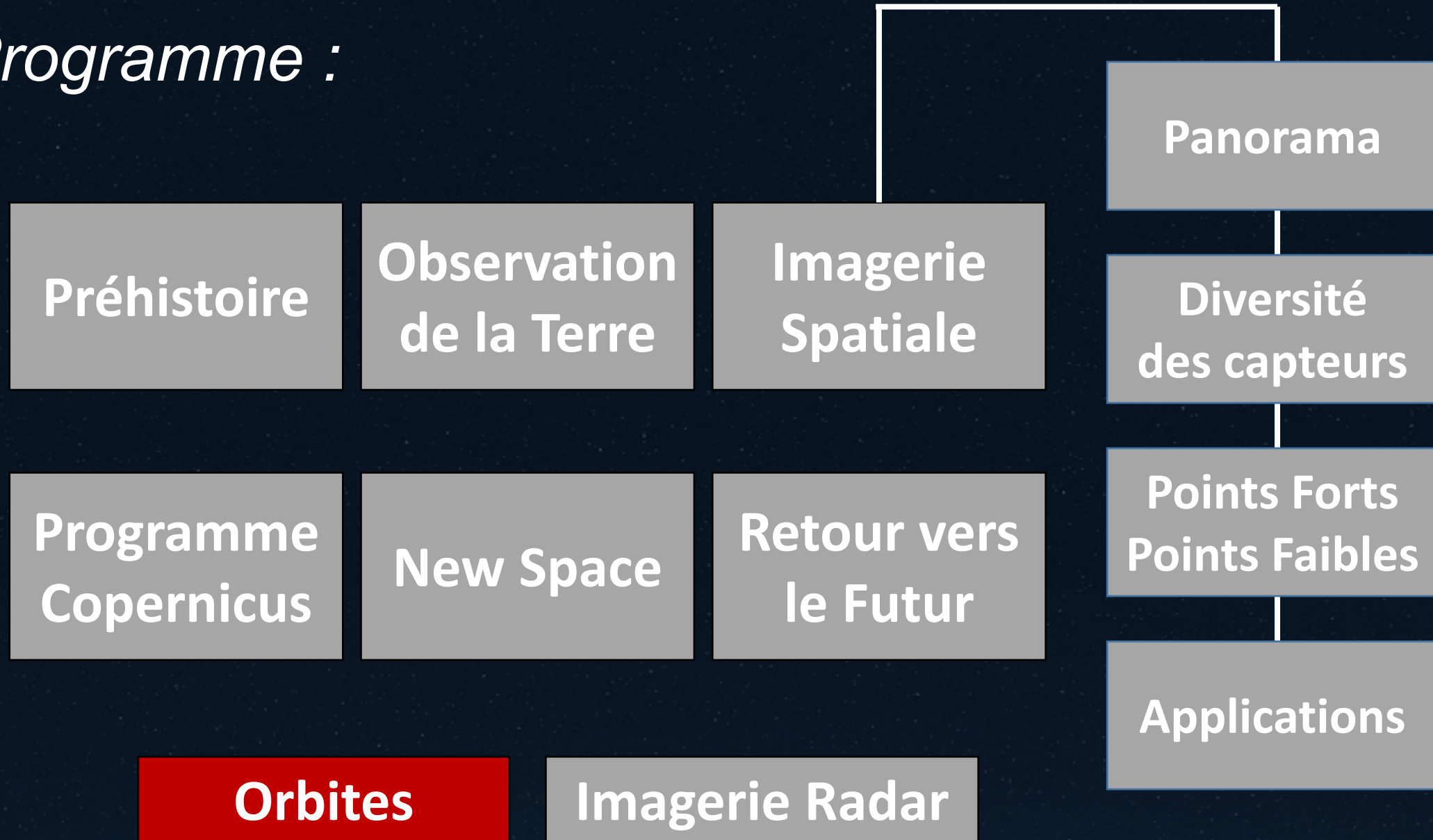


## *Une famille de capteurs très variés...*



*Météosat, MSG, ENVISAT, Calipso, Parasol, SMOS, Topex-Poseidon, Jason, Venus, Microcarb, Biomass, IASI, Cryosat, ...*

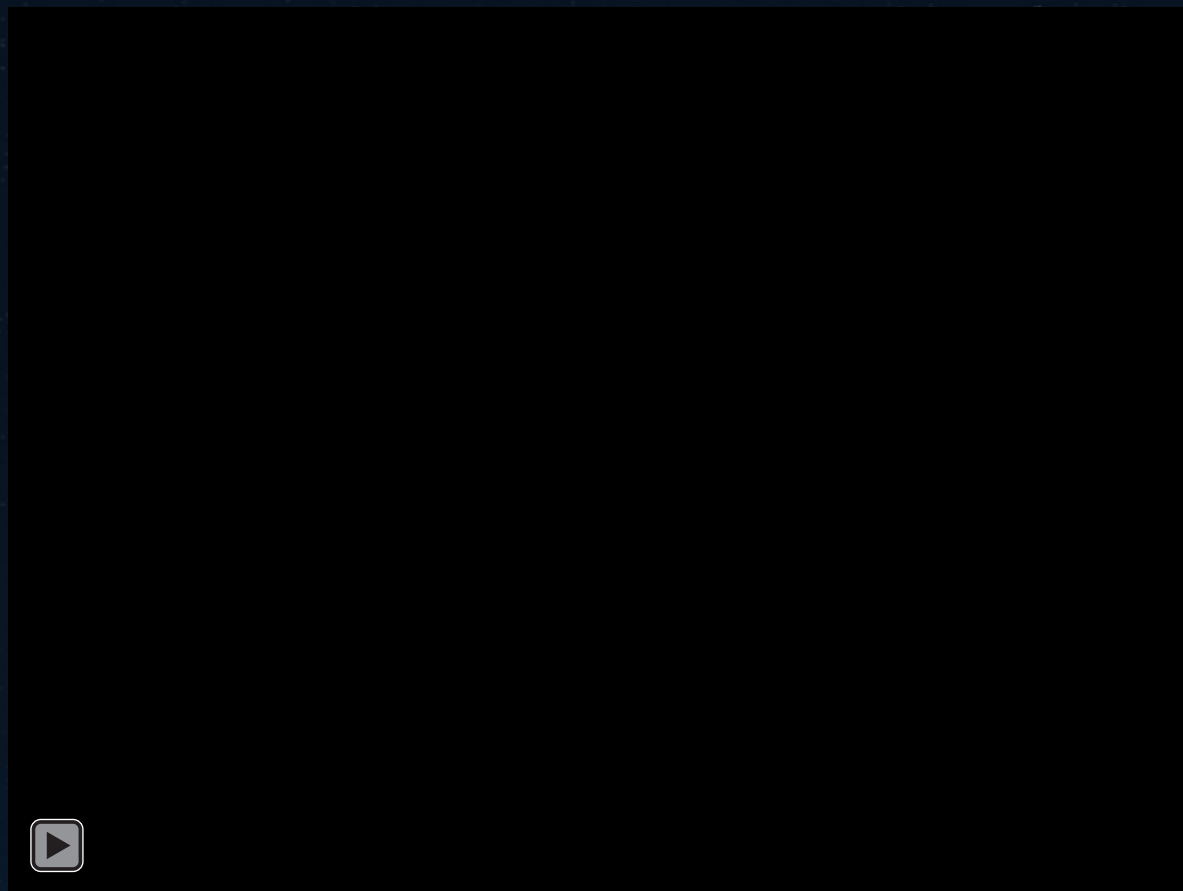
# Programme :



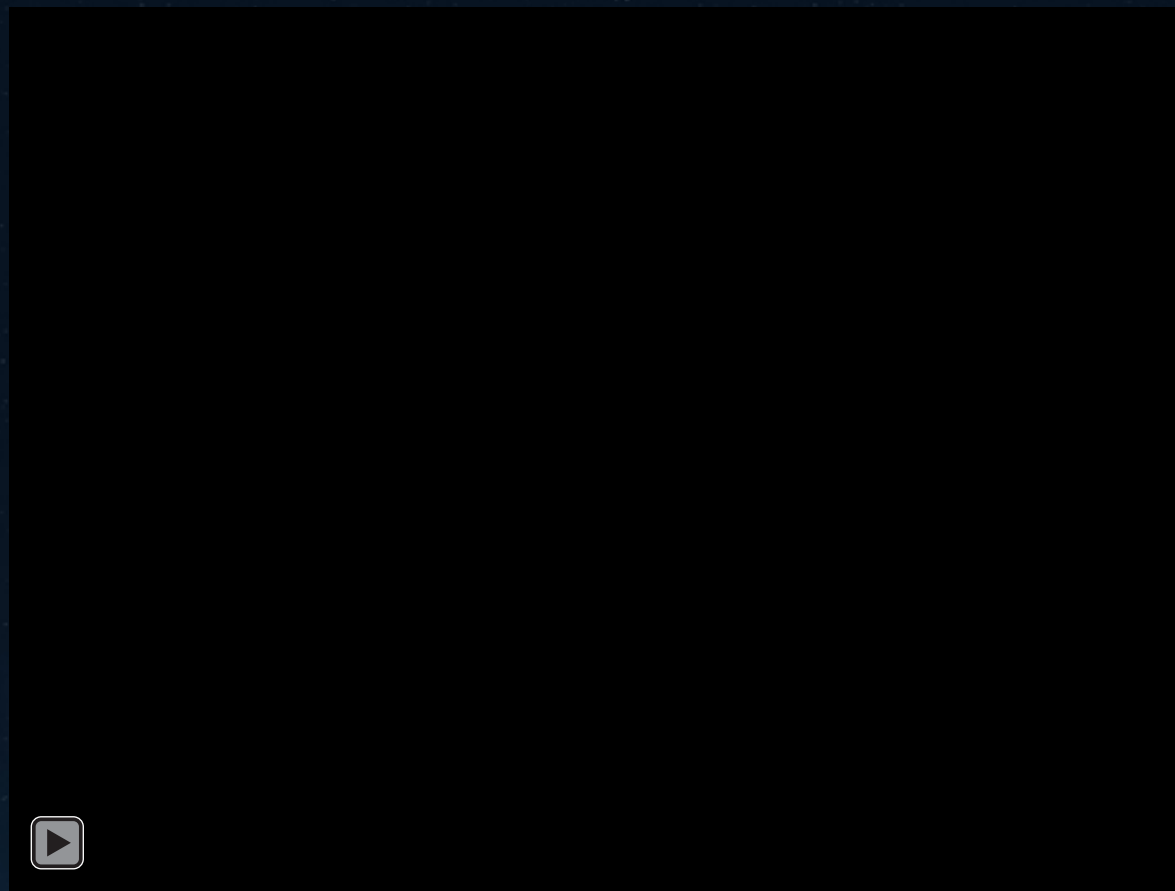


# Les orbites pour l'observation de la Terre

🔗 [Orbite Polaire](#)

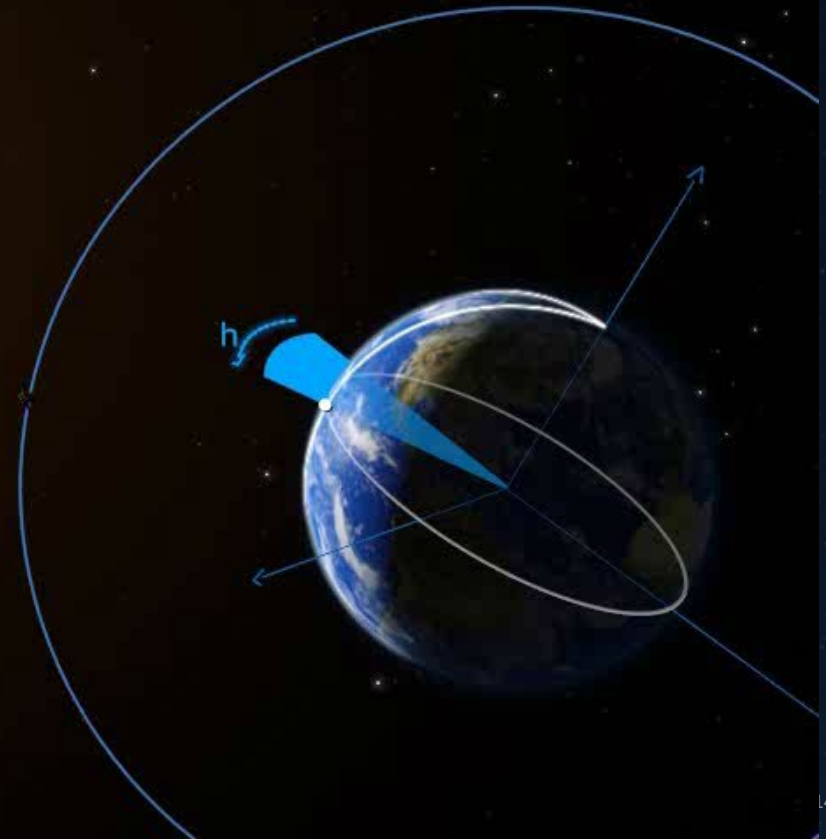


🔗 [Orbite Géostationnaire](#)



# Les orbites pour l'observation de la Terre

## 🔗 Orbite héliosynchrone

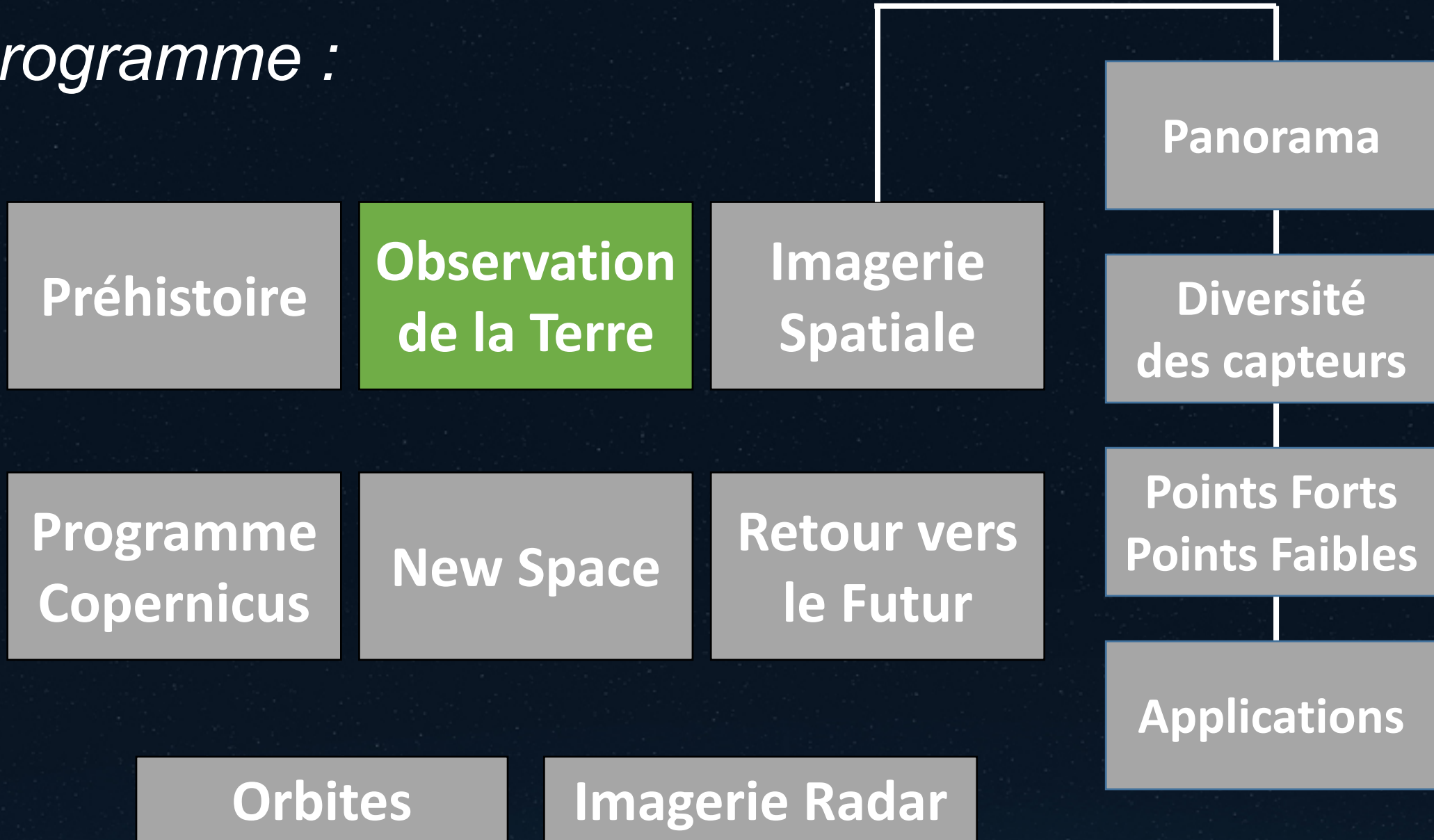




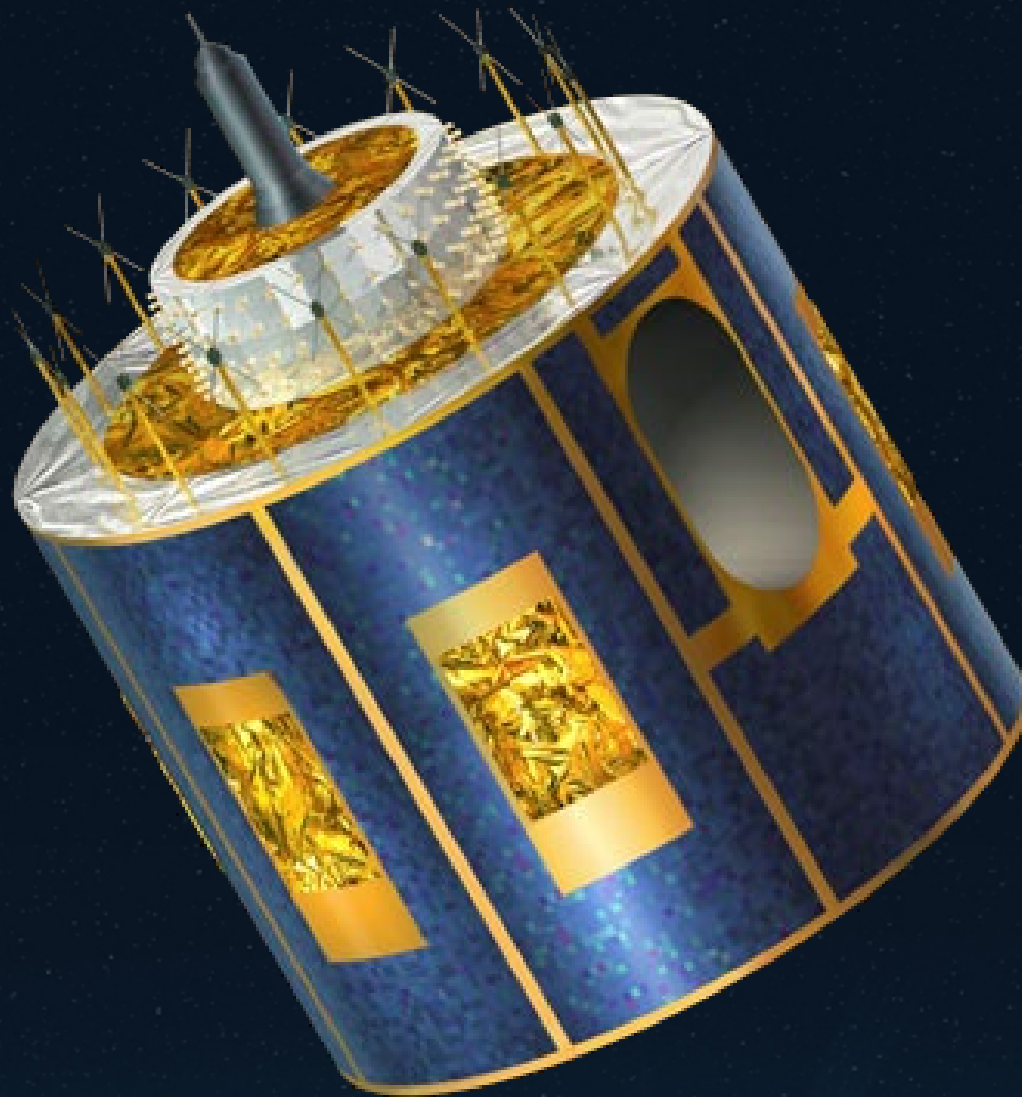
↳ Orbite Polaire  
↳ 800 km d'altitude



# Programme :





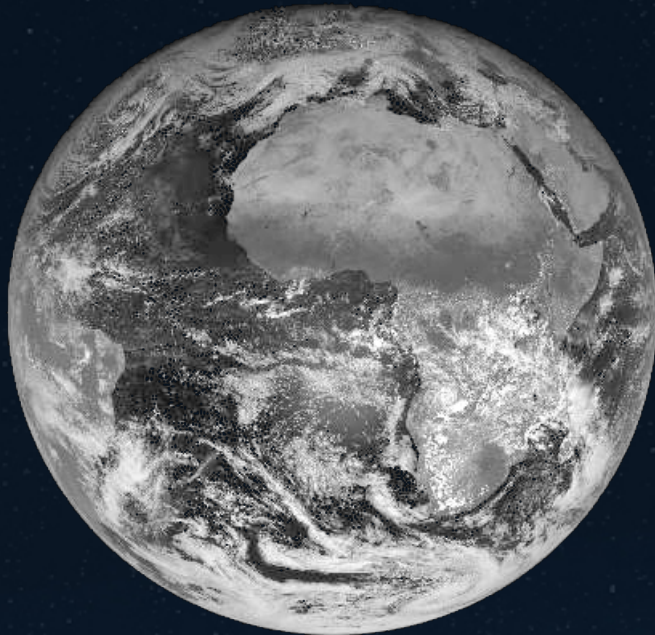


**MSG**

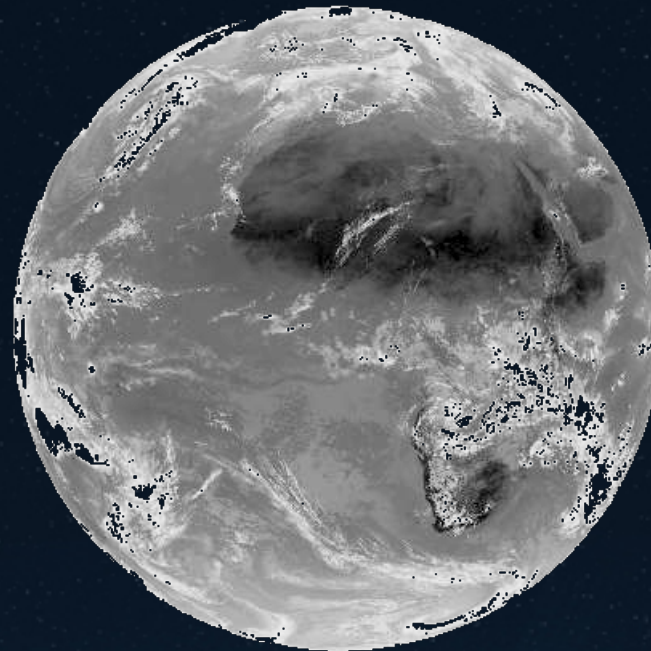
# Satellite Météo Géostationnaire

## ☞ *Météosat*

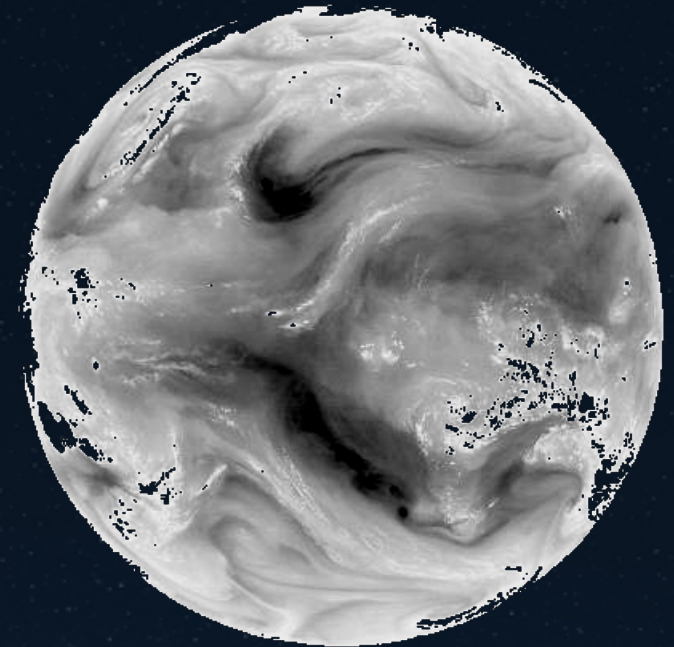
- *Résolution 3km*
- *champ 12.000 km*



Visible  
0.4-1.1  $\mu\text{m}$



Infrarouge  
10.5-12.5  $\mu\text{m}$



Vapeur d'eau  
5.7-7.1  $\mu\text{m}$



**Météosat Seconde Génération** (MSG) est la seconde génération de trois satellites météorologiques METEOSAT, après les sept déjà réalisés au titre de la première génération.

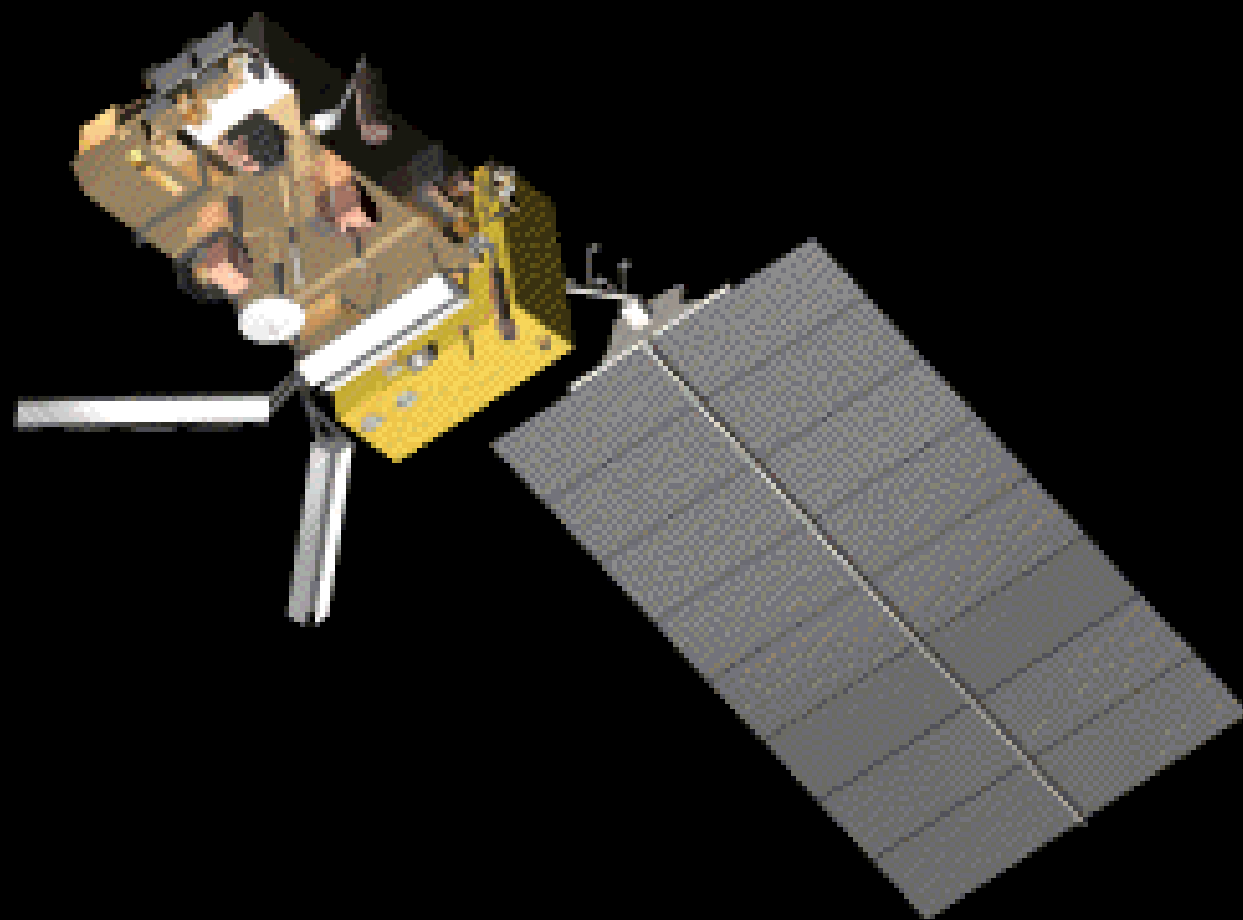
Comme pour la première génération, la plate-forme est spinnée à 100 tr/min. Elle a été améliorée sur le plan des performances, en particulier adoptant un système de propulsion unifié bi-ergols assurant les manœuvres d'apogée et de contrôle d'attitude et d'orbite pendant 10 ans.

Cette famille de satellites dispose d'un radiomètre imageur plus sophistiqué, le **SEVIRI**, avec 12 canaux contre 3 pour la précédente génération, et fournissant des images tous les quarts d'heure, soit deux fois plus fréquemment.

#### **Sur les 12 canaux :**

Quatre sont consacrés à la **lumière visible**, dont un en haute résolution, avec des détails aussi fins qu'un kilomètre

Huit travaillent dans **l'infrarouge** dans différentes longueurs d'onde apportant de très nombreuses informations sur l'état de l'atmosphère (un canal de l'infrarouge est dédié à la mesure de l'ozone, un autre mesure la concentration de vapeur d'eau dans l'atmosphère, d'autres encore servent à détecter et identifier les différents types de nuages).



**METOP**



**MetOp** est une famille de trois satellites météorologiques placés en *orbite polaire héliosynchrone* et développés conjointement par l'ESA et EUMETSAT.

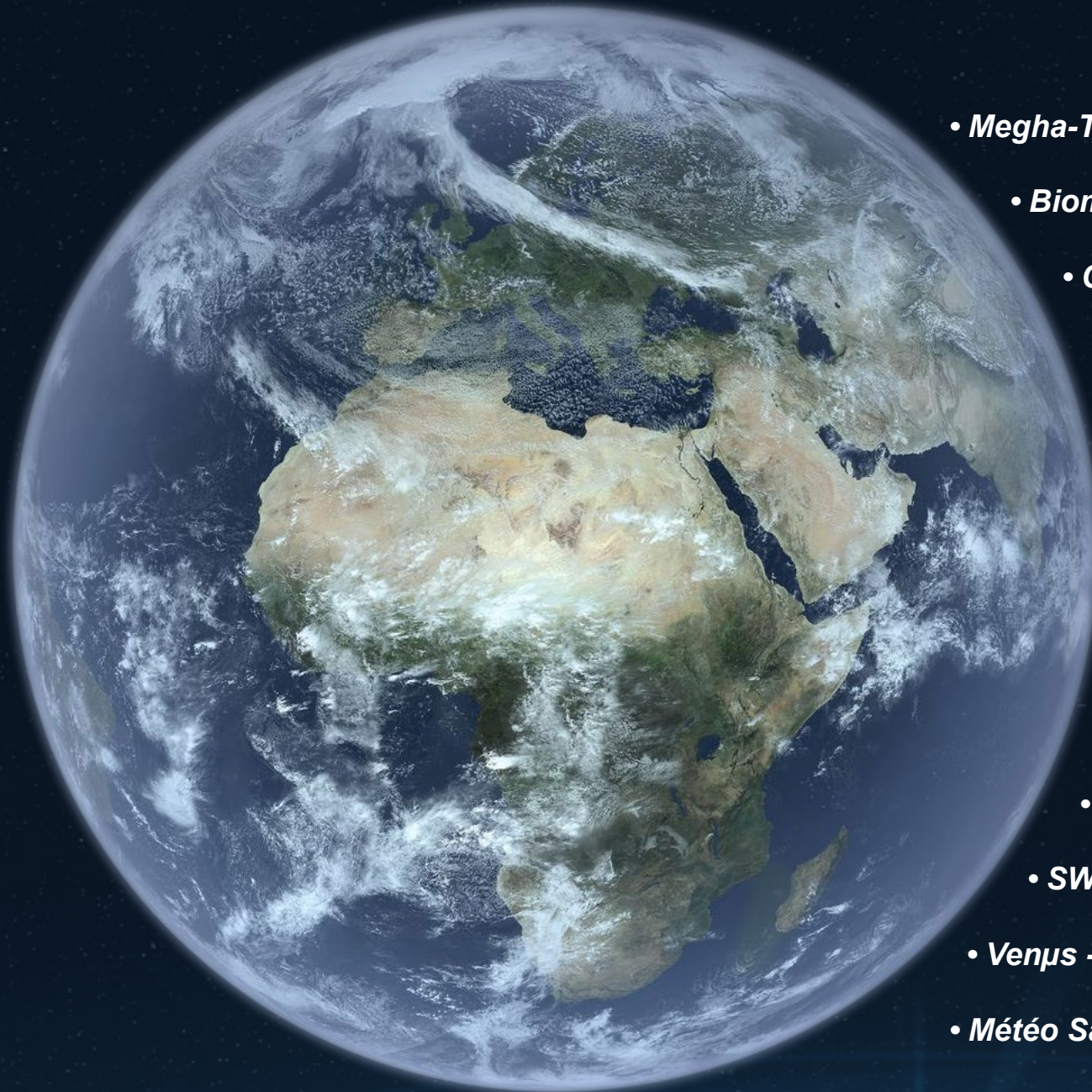
Ils devraient fournir des données d'observation jusqu'en 2020. Ils embarquent onze instruments de mesure dont le capteur **IASI** élaboré par le CNES.

**Metop-A** a été placé en orbite en 2006, **Metop-B** en 2012, le lancement du troisième satellite est prévu pour fin 2017.

Les satellites **METOP** embarquent douze instruments de mesures météorologiques :

- **IASI** : Interféromètre atmosphérique de sondage dans l'infrarouge
- **MHS** : sondeur hyperfréquences pour la détermination de l'humidité
- **GOME 2** : surveillance de l'ozone à l'échelle du globe
- **ASCAT** : diffusiomètre de pointe
- **GRAS** : récepteur GNSS de sondage atmosphérique
- **AVHRR 3** : radiomètre de pointe à très haute résolution
- **AMSU/A** : sondeur hyperfréquences de technologie avancée
- **HIRS** : sondeur haute résolution du rayonnement infrarouge
- **SEM 2** : spectromètre pour la mesure des flux de particules ionisés dans l'espace
- Système **Argos** : deux charges utiles de recherche et de sauvetage pour le réseau international Cospas-Sarsat

# Les satellites français du climat...



- *Megha-Tropiques - la ceinture intertropicale*
- *Biomass - les forêts*
- *Calipso - les nuages*
- *CFOSAT - les océans*
- *Cryosat - mission polaire*
- *IASI et IASI-NG - l'atmosphère*
- *Jason-2 et Jason-3 - l'altimétrie*
- *Merlin - le méthane*
- *Microcarb - le CO2*
- *SMOS - humidité et salinité*
- *SWOT - l'hydrologie*
- *Venus - la végétation*
- *Météo Sat – Imagerie nuages et dépressions*





**Aqua** : cycle de l'eau.

**CloudSat** : (LIDAR) nuages

**CALIPSO** : profils verticaux de l'atmosphère (aérosols)

**PARASOL** : propriétés radiatives et microphysiques des nuages et des aérosols

**Aura** : qualité de l'air, ozone stratosphérique et l'évolution du climat

**OCO** : cycle du Carbone

**Glory** : aérosols et irradiance (rayonnement) totale du Soleil

**A-Train**



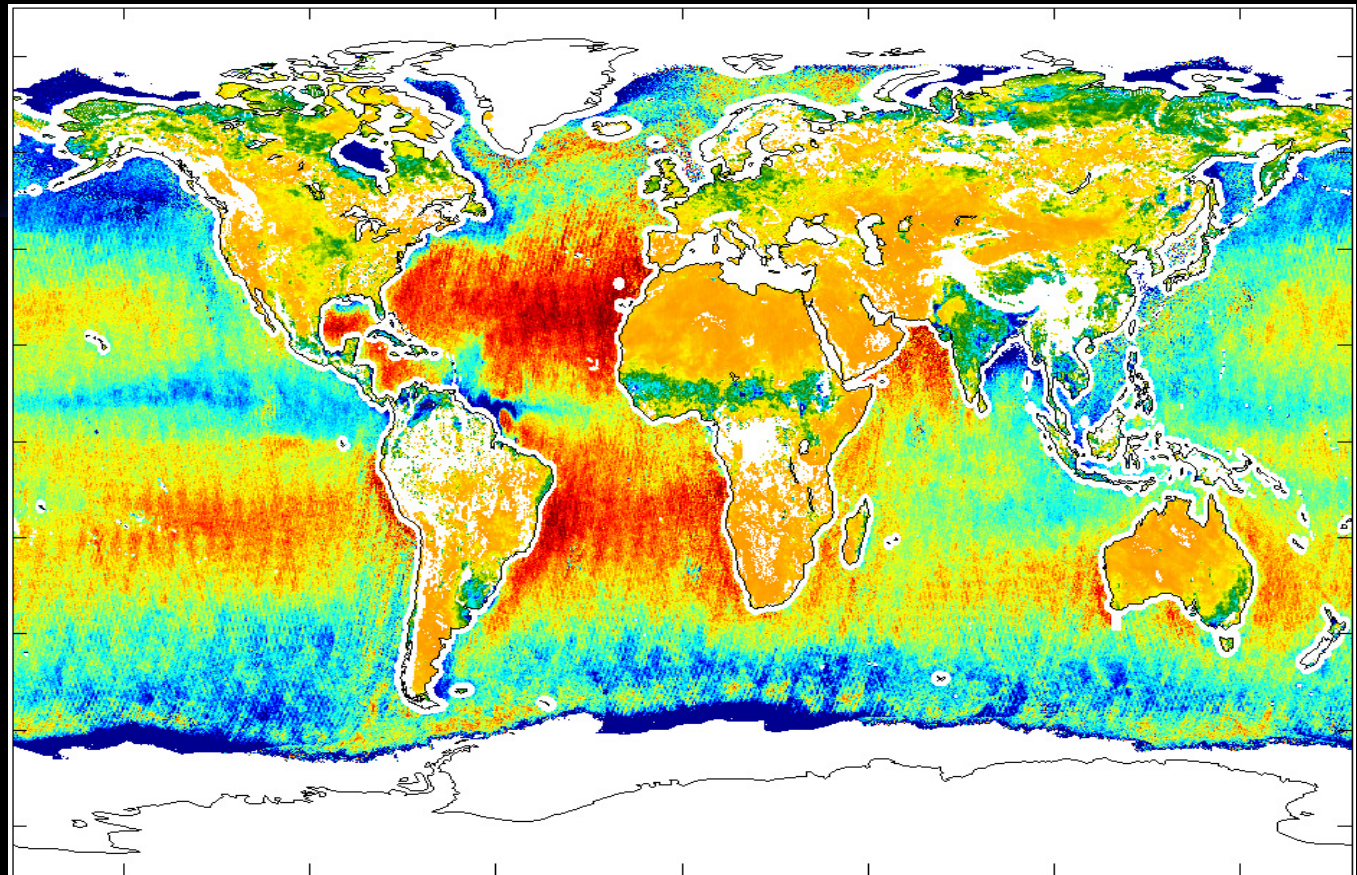
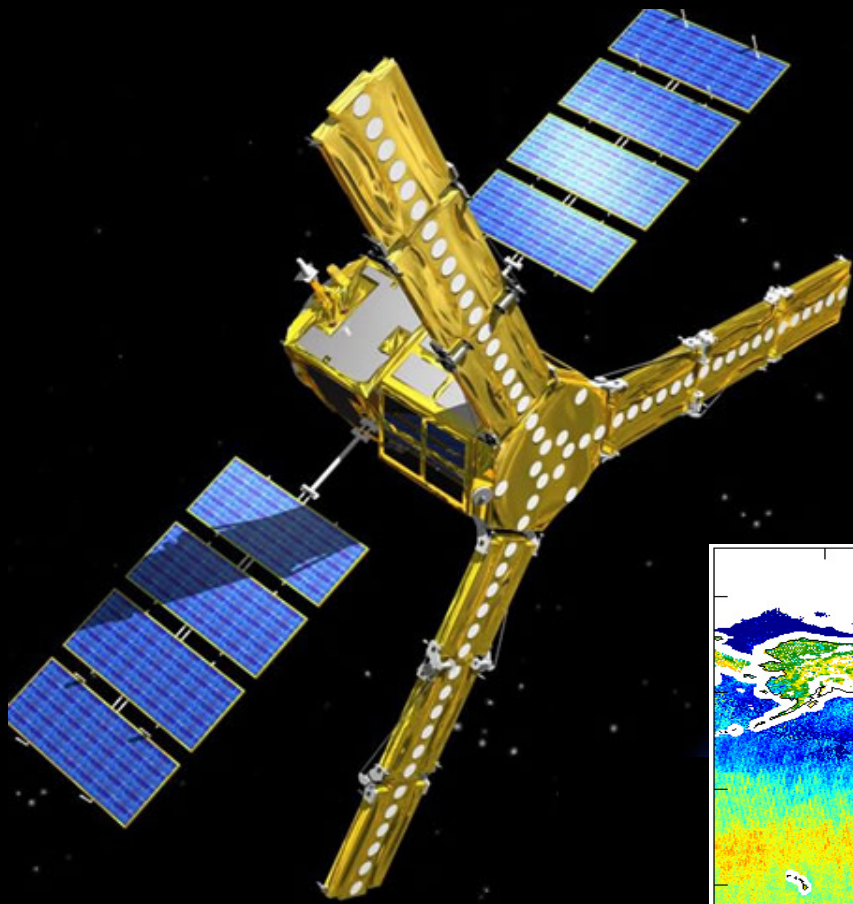
# ENVISAT



Instrument	Type	Masse	Consommation électrique	Fréquence	Précision	Volumes de données
ASAR	Radar à synthèse d'ouverture	817 kg	601 à 1386 W	5,331 GHz	30 m à 1 km (résolution)	de 0,9 à 100 Mb/s
MERIS	Spectromètre	209 kg	146 W	15 bandes spectrales dans le visible entre 1,25 et 30 nm	1 km (résolution)	de 1,6 à 24 Mb/s
AATSR	Radiomètre	108 kg	86 W	infrarouge 1,6 µm, 3,7 µm, 10,8 µm, 12 µm visible : 0,55 µm, 0,66 µm, 0,87 µm	1 km (résolution)	625 kb/s
GOMOS	Spectromètre et télescope	164 kg	187 W	plusieurs bandes spectrales dans le visible et l'infrarouge	1,27 km (résolution verticale)	222 kb/s
MIPAS	Spectromètre à transformation de Fourier	327 kg	196 W	infrarouge 4,15 µm - 14,6 µm	-	222 kb/s
SCIAMACHY	Spectromètre	201 kg	119 W	plusieurs bandes spectrales entre 240 nm et 2 400 nm	2,4-3 km (résolution verticale)	400 kb/s, non traité 1,87 Mb/s
MWR	Radiomètre	24 kg	10 W	23,8 GHz et 36,5 GHz	1 km (résolution)	427 kb/s
RA-2	Radar altimètre	111 kg	130 W	13,575 GHz et 3,2 GHz	4,5 cm (altitude)	533 kb/s, non traité 8 Mb/s
DORIS	Récepteur radio	85 kg	51 W	2,03625 GHz et 401,25 MHz	5-100 cm (position) et 0,4-2,5 mm/s (vitesse)	16,7 kb/s



# SMOS



**SMOS** (***Soil Moisture and Ocean Salinity***) est un minisatellite scientifique de l'ESA dont la mission est de mesurer l'humidité superficielle des terres émergées et la salinité de la surface des océans. L'objectif est d'améliorer la compréhension de l'environnement terrestre et de son évolution.

Le satellite a été lancé le 2 novembre 2009 par une fusée Rockot. La mission doit durer 3 ans.

La mission, proposée par le **Centre d'études spatiales de la biosphère** (CESBIO), a pour objets :

- Suivi des courants marins et de ses évolutions
- Impact climatique
- Meilleure connaissance du rôle des océans dans le cycle du carbone
- Suivi de l'humidité du sol combiné avec l'évolution du couvert végétal
- Amélioration de la connaissance du processus de photosynthèse.

Le satellite de 660 kg, qui utilise une plateforme Proteus, est placé sur une orbite héliosynchrone circulaire de 687 km. Il effectue ses mesures avec un radiomètre interféromètre fonctionnant en bande L (**MIRAS** : Microwave Imaging Radiometer with Aperture Synthesis).



GOCE



**Gravity Field and Steady-State Ocean Circulation Explorer (GOCE)** est un satellite scientifique de l'ESA lancé le 17 mars 2009, destiné à mesurer le **champ gravitationnel** (géoïde) de la Terre avec une précision de 2-3 cm pour une résolution de 100 km .

Pour remplir cet objectif le satellite a été placé sur une orbite particulièrement basse à 250 kilomètres d'altitude et doté d'accéléromètres d'une très grande précision. La mission s'est achevée le 11 novembre 2013 en ayant rempli tous ses objectifs.

Les mesures effectuées par **GOCE** doivent permettre d'améliorer nos connaissances sur la structure interne de la Terre et les mécanismes sismiques.

À l'altitude très basse retenue pour la mission (une orbite héliosynchrone de 250 km avec une inclinaison de  $96,5^\circ$  ) la résistance de l'atmosphère résiduelle est importante. Pour limiter son incidence sur le déplacement du satellite d'une masse de 1100 kg, celui-ci a une forme allongée (longueur de 5 mètres) symétrique avec une section avant octogonale d'une superficie limitée à 1 m<sup>2</sup>. Deux ailerons verticaux greffés sur le corps central viennent apporter un supplément de stabilité aérodynamique. Le satellite est stabilisé 3 axes. Les panneaux solaires fournissent 1.300 Watts et une batterie lithium-ion d'une capacité de 78 A.h est utilisée pour stocker l'énergie électrique durant les périodes d'éclipse. Un ensemble de moteurs ioniques alimenté avec du xénon dont la poussée peut être modulée entre 1 et 20 milliNewtons compense en permanence la traînée atmosphérique de manière à ce que le déplacement du satellite soit uniquement soumis au champ de gravité terrestre.



**LARES**

**LARES** est un satellite scientifique développé par l'Agence spatiale italienne (ASI). Il prend la suite des deux satellites italo-américain LAGEOS avec comme objectif d'améliorer d'un facteur 10-20 la qualité des données obtenues par ces derniers.

Le satellite a été placé en orbite dans le cadre du premier vol du lanceur Vega début 2012.

**LARES** est un satellite passif d'une masse de 387 kg. C'est une sphère très dense de 36,4 cm de diamètre en tungstène recouvertes de 92 rétro-rélecteurs rhomboédriques (en coins de cube) réalisés en Suprasil 31.

**LARES** a été placé sur une orbite circulaire de 1 450 km de 71,5° d'inclinaison.

La trajectoire du satellite est reconstituée par la technique de la télémétrie laser sur satellites : des lasers installés au sol envoient vers le satellite des impulsions lumineuses qui sont réfléchies. Le temps mis par le signal lumineux pour revenir sur Terre permet de mesurer avec une extrême précision la distance au sol du satellite.

En analysant la trajectoire déterminée par cette technique, on peut mesurer l'influence de l'effet ***Lense-Thirring*** prévu par la théorie de la Relativité générale. L'objectif est d'arriver à l'estimer avec une précision de 1 % en combinant les données recueillies avec celle des deux satellites LAGEOS.





**SWARM**

**SWARM** (essaim en anglais) est une mission spatiale scientifique de l'**ESA** pour étudier le **champ magnétique terrestre**. Elle repose sur une constellation de trois mini-satellites qui a été placée sur orbite par une fusée Rockot le 22 novembre 2013.

L'objectif de la mission est mesurer avec une grande précision les variations spatiales et temporelles du champ magnétique terrestre ainsi que l'environnement ionosphérique de la Terre.

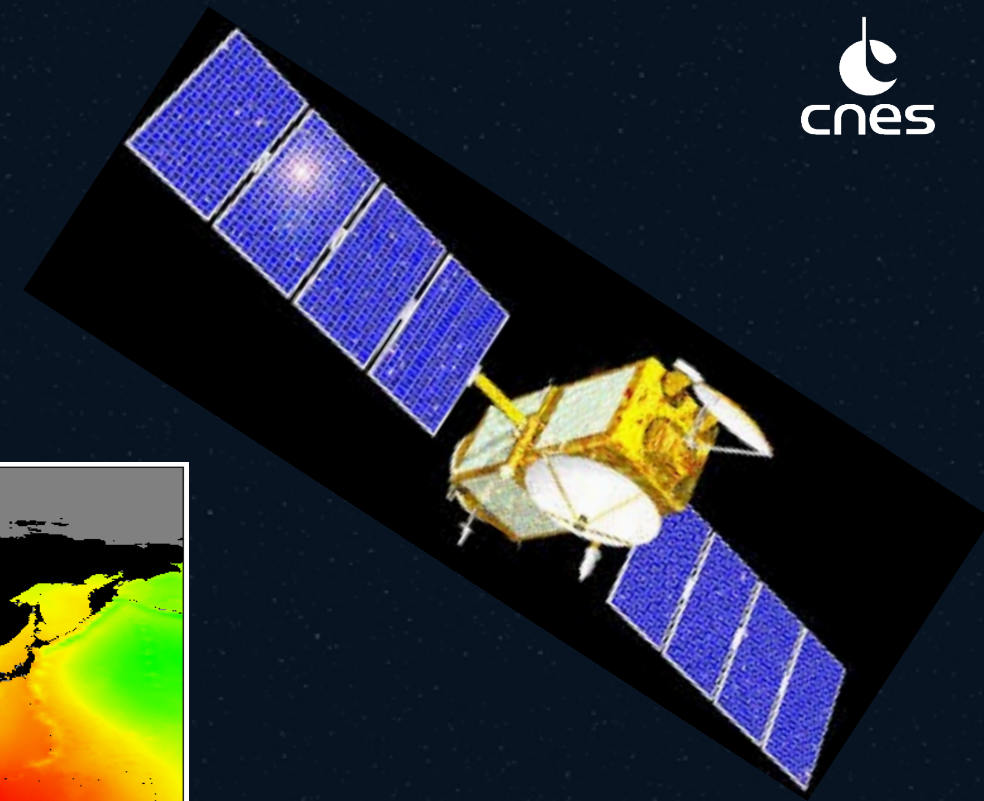
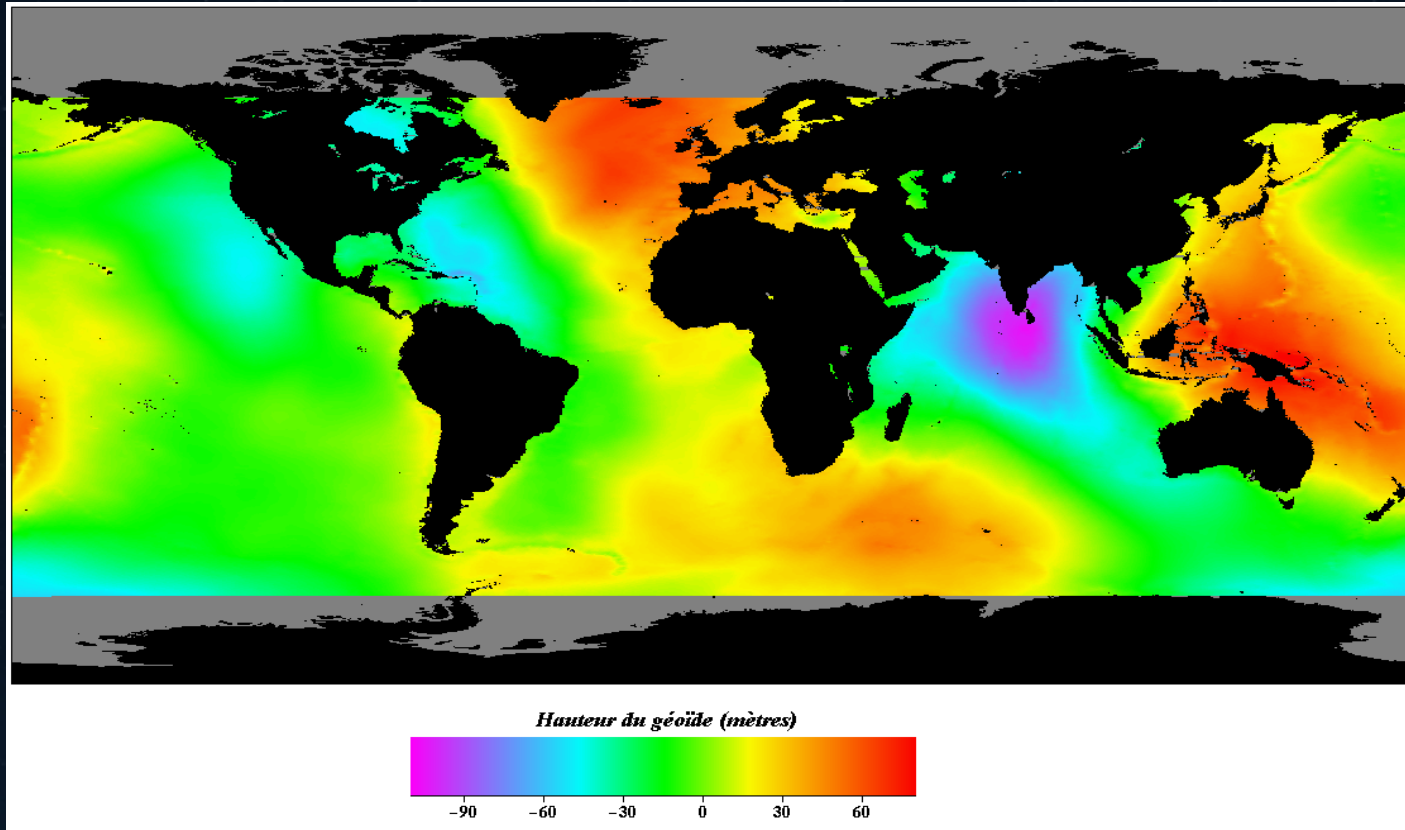
SWARM est développée dans le cadre des missions scientifiques **Earth Explorer** du programme d'observation de la Terre **Living Planet**. La mission doit durer 4 ans.

La constellation de satellites SWARM doit mesurer l'intensité, la direction et les variations du champ magnétique terrestre avec comme objectif de mieux connaître :

Le processus de génération du champ magnétique terrestre par le noyau métallique de la Terre

- les interactions entre le noyau et le manteau
- le champ magnétique de la lithosphère
- la conductivité électrique dans le manteau
- l'influence du Soleil sur le champ magnétique terrestre à travers les couplages entre l'ionosphère et la magnétosphère
- la composante du champ magnétique produite par les marées et courants océaniques

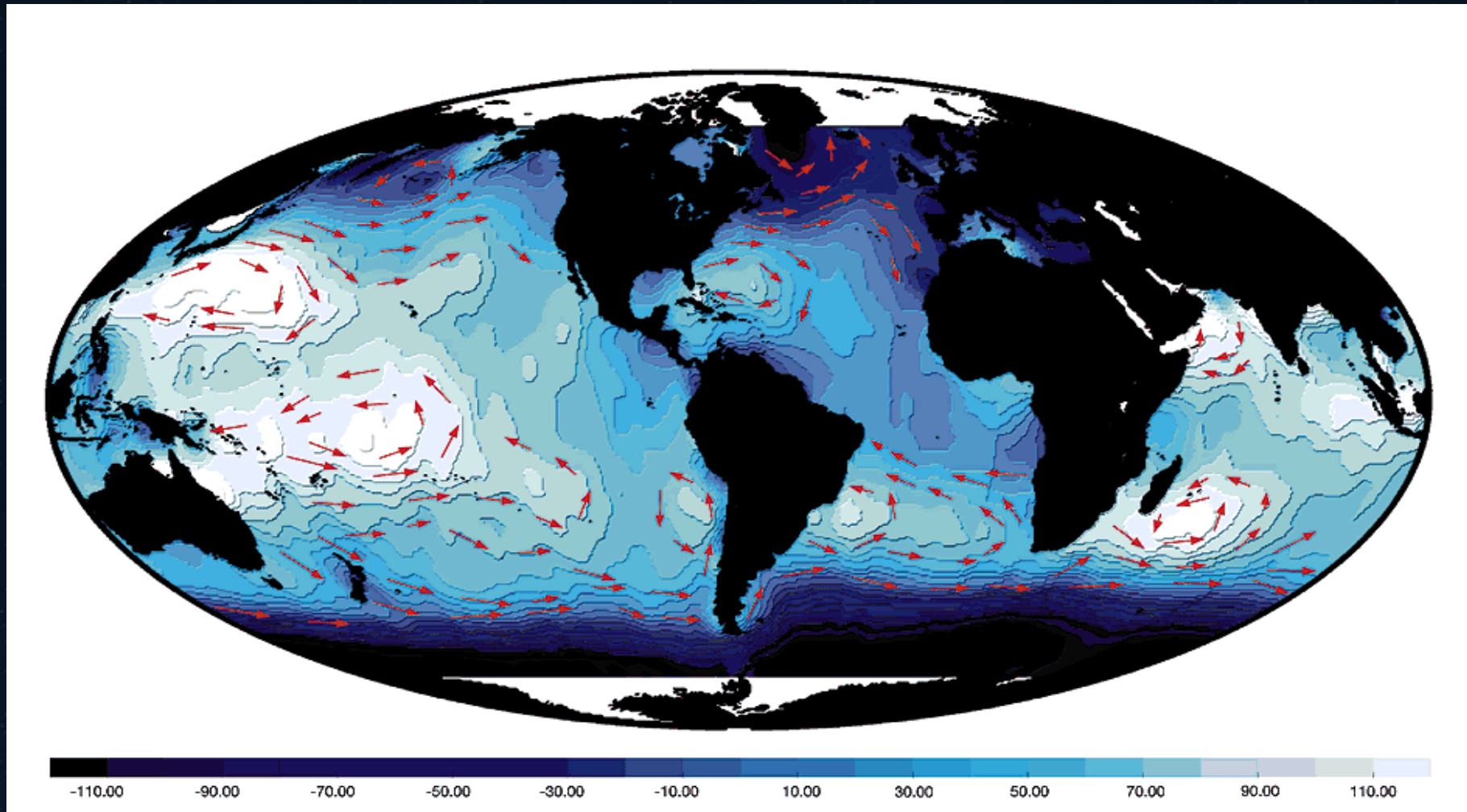
# *Altimétrie*



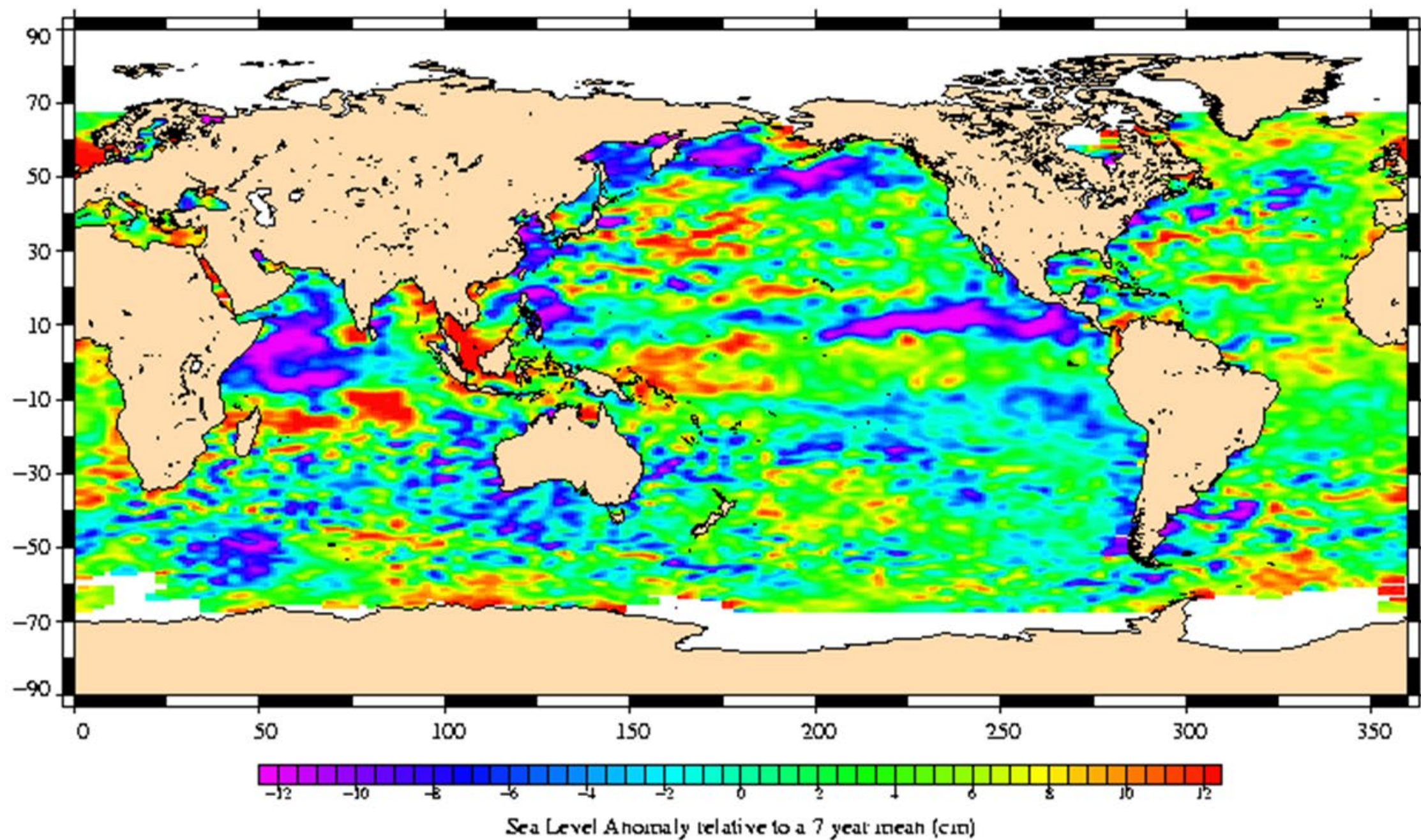
# JASON

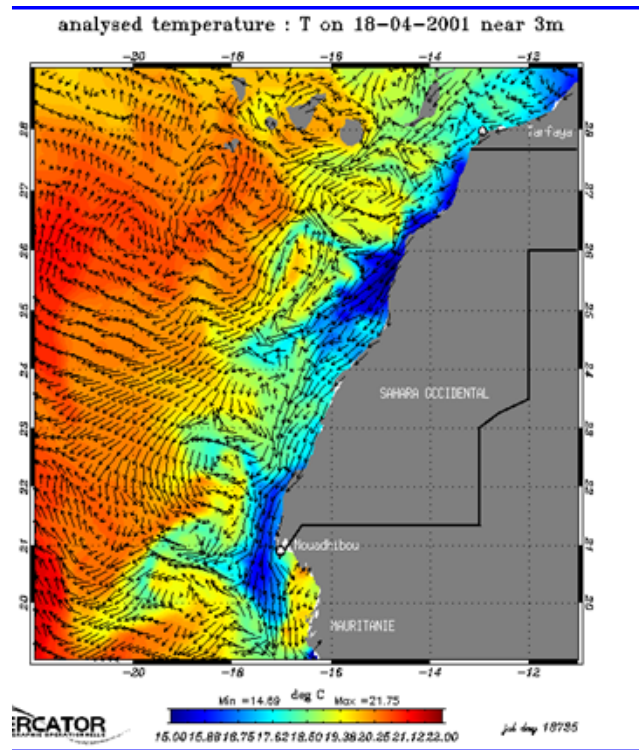


# *Dynamique des Océans*

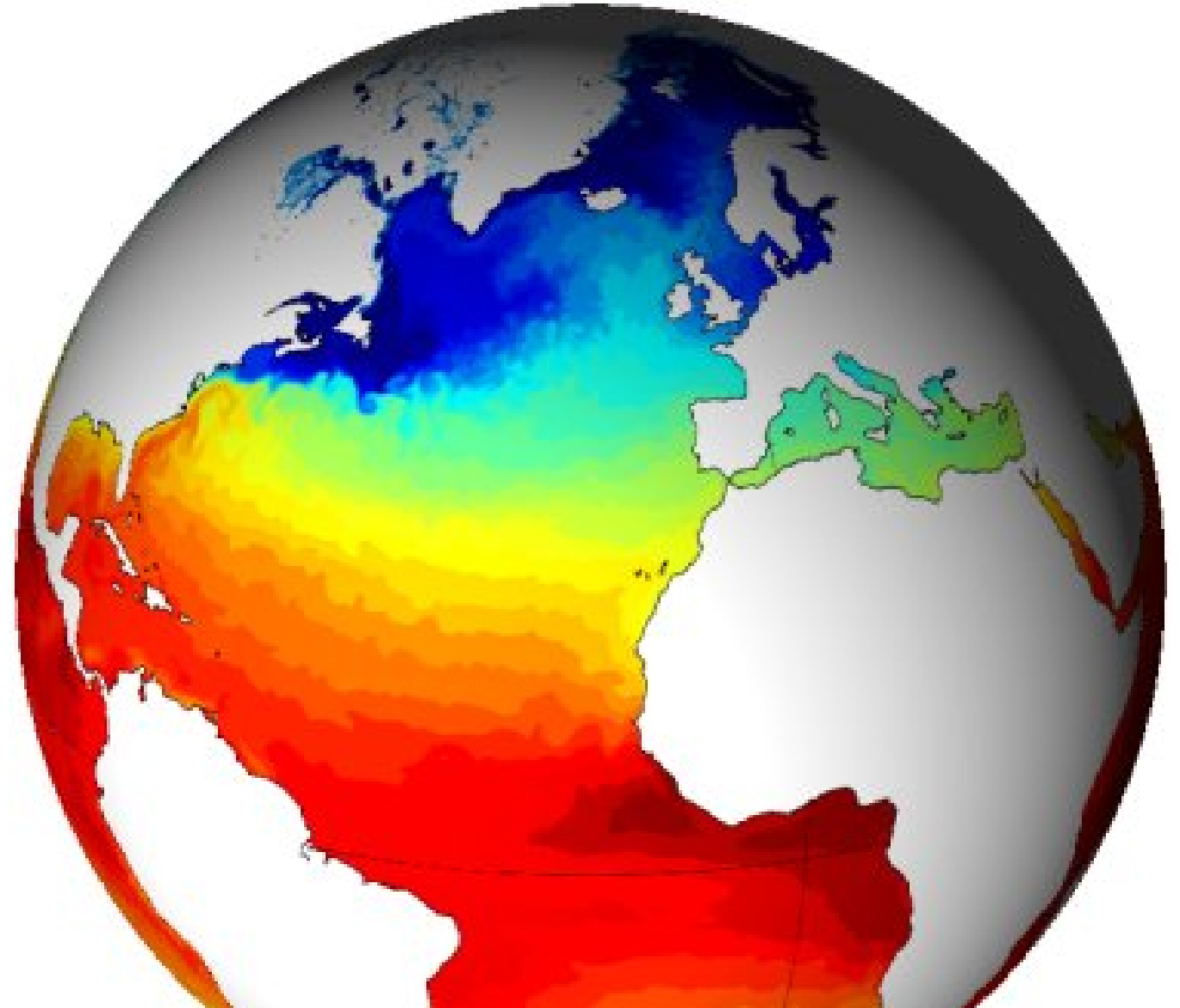






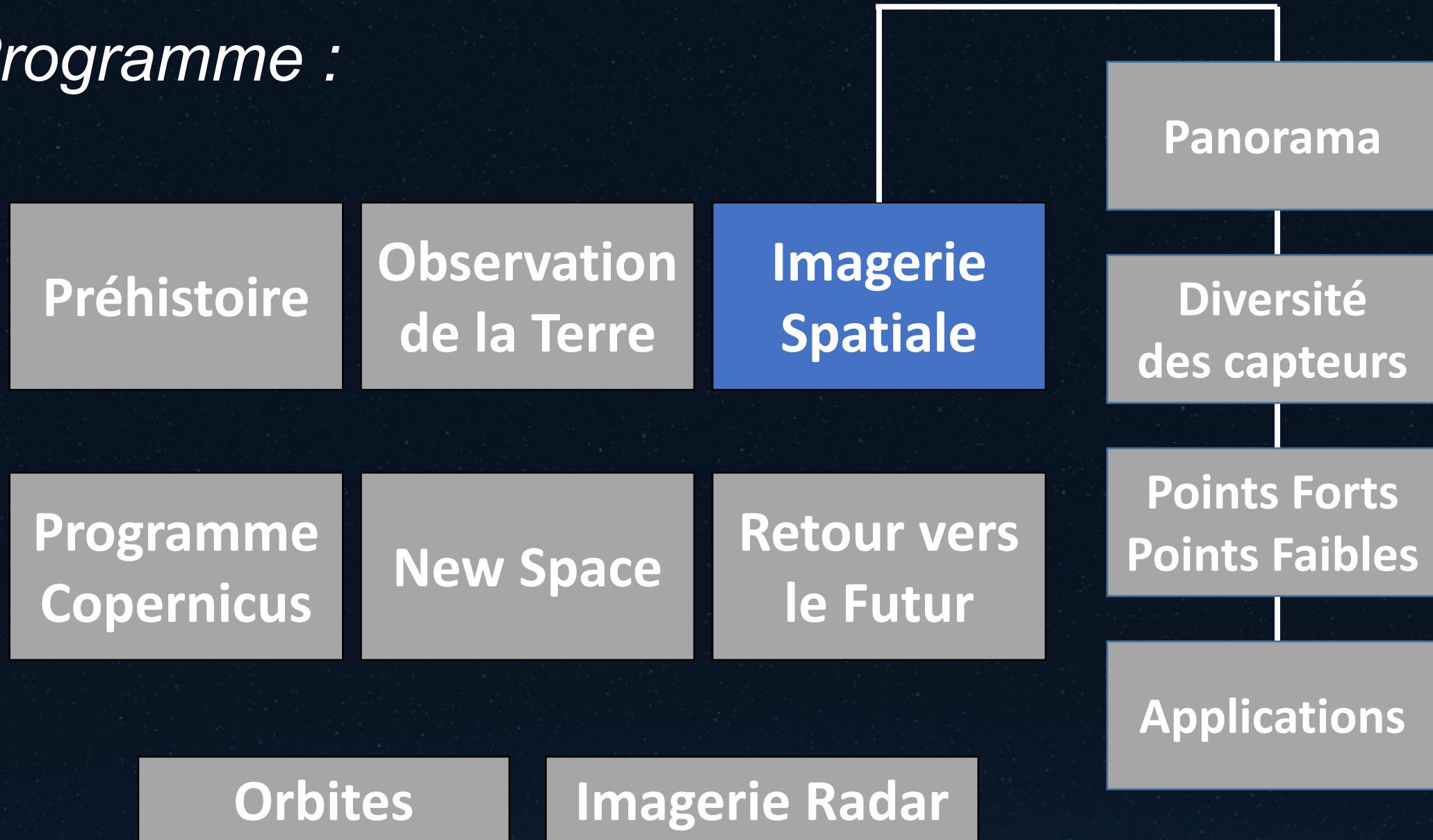


# Océanographie opérationnelle

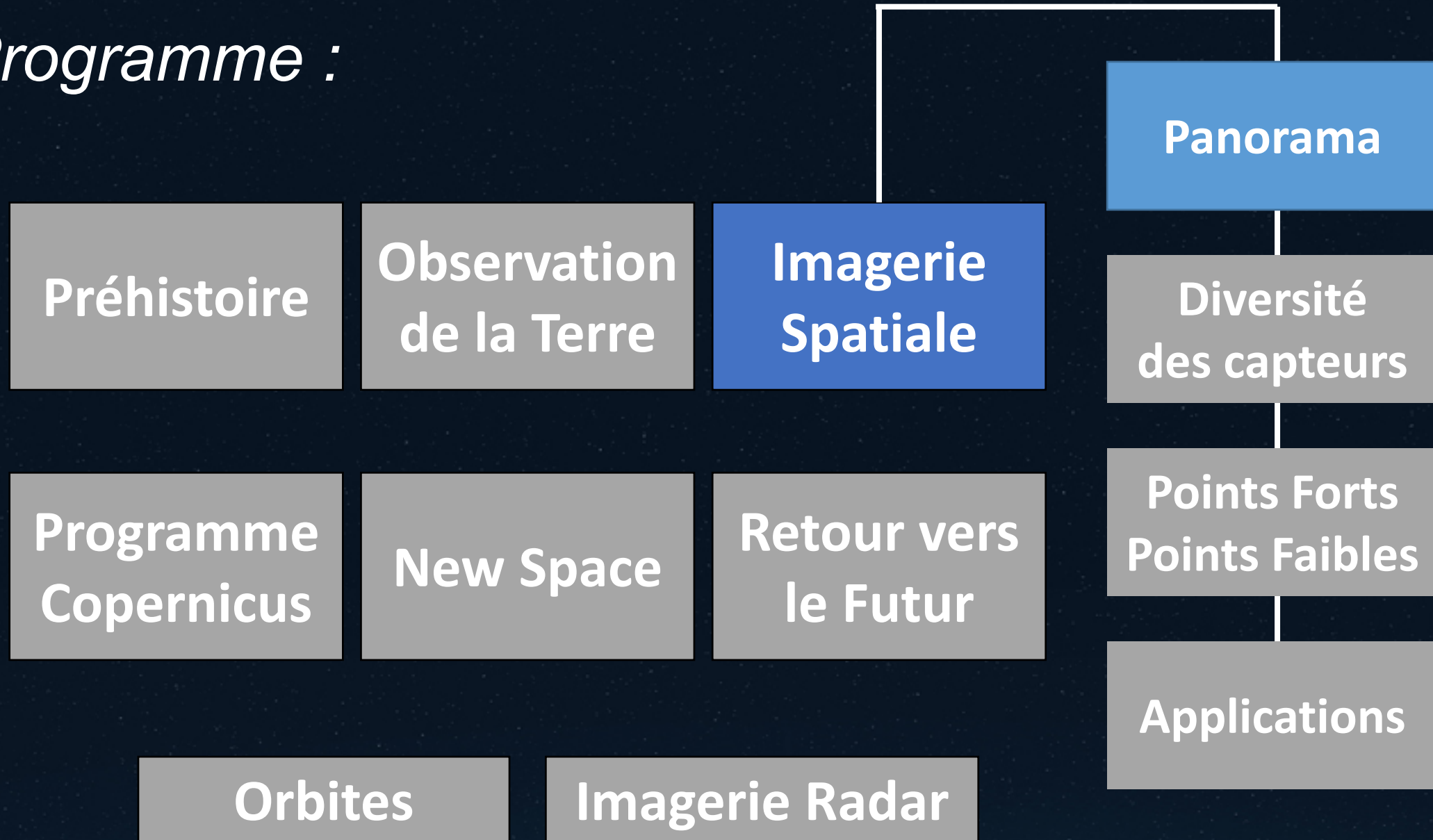




# Programme :



# Programme :











**MODIS :**

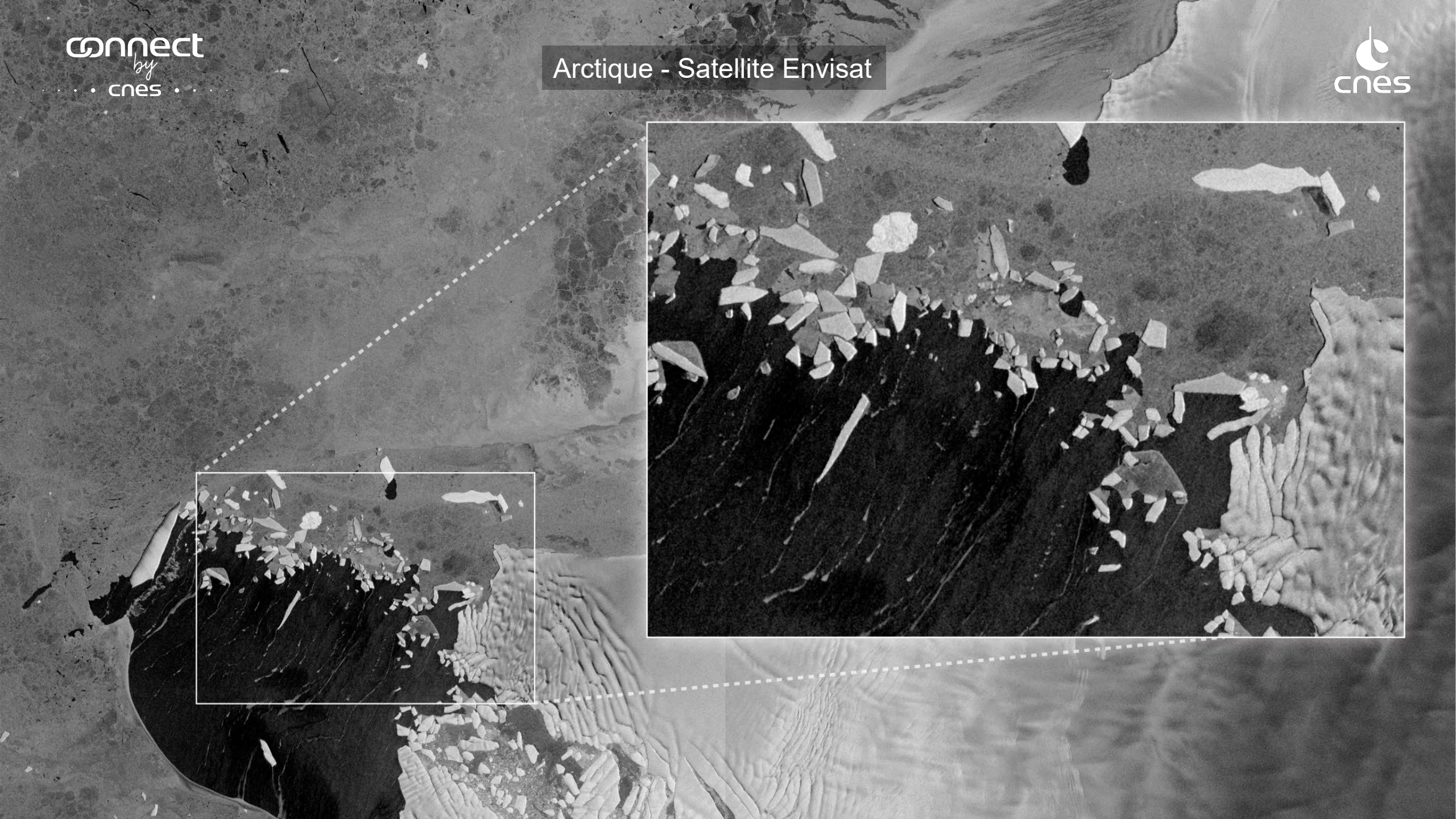
\*Poussières  
désertiques  
(1000 km  
de longueur)

**BOB2B3**













Paris

Spot 5  
2,5 m

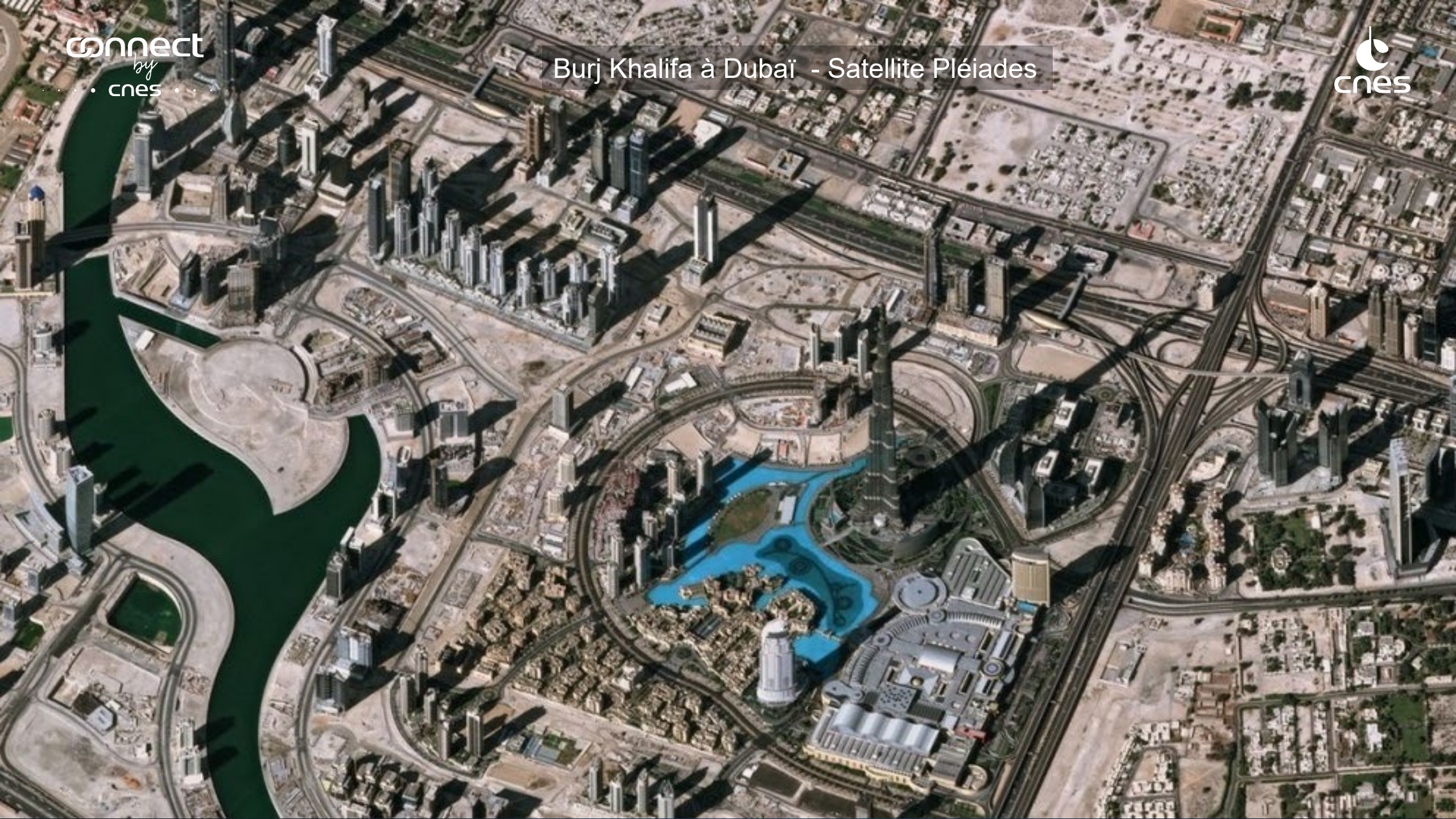


**San Francisco**

**Spot 5**  
**2,5 m**









Toulouse

Spot 5  
2,5 m



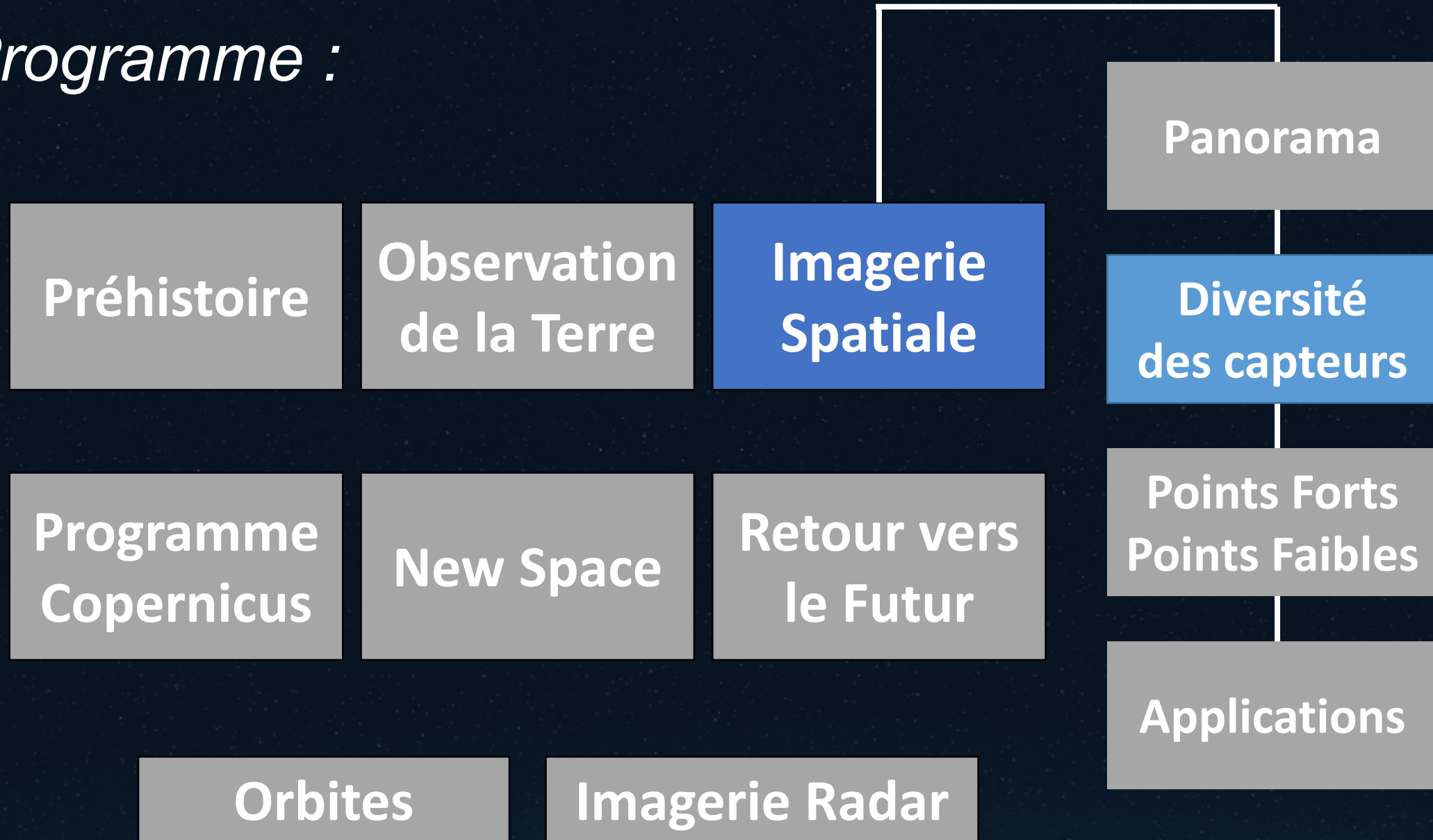


Toulouse

Pléiades  
70 cm

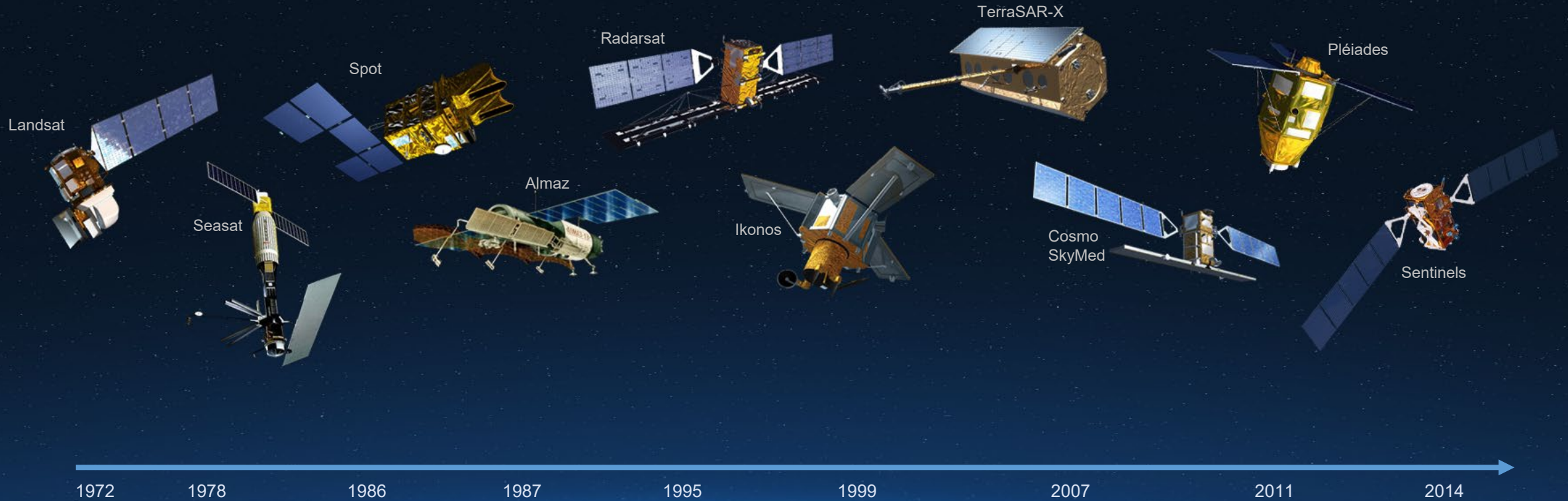


# Programme :





## *Historique...*



*Les grandes familles de satellites « imageurs »*

2023

1986



1986  
SPOT 1  
10m - 20m

1990  
SPOT 2  
10m - 20m

1993  
SPOT 3  
10m - 20m

1998  
SPOT 4  
10m - 20m

2002  
SPOT 5  
2.5m - 5m

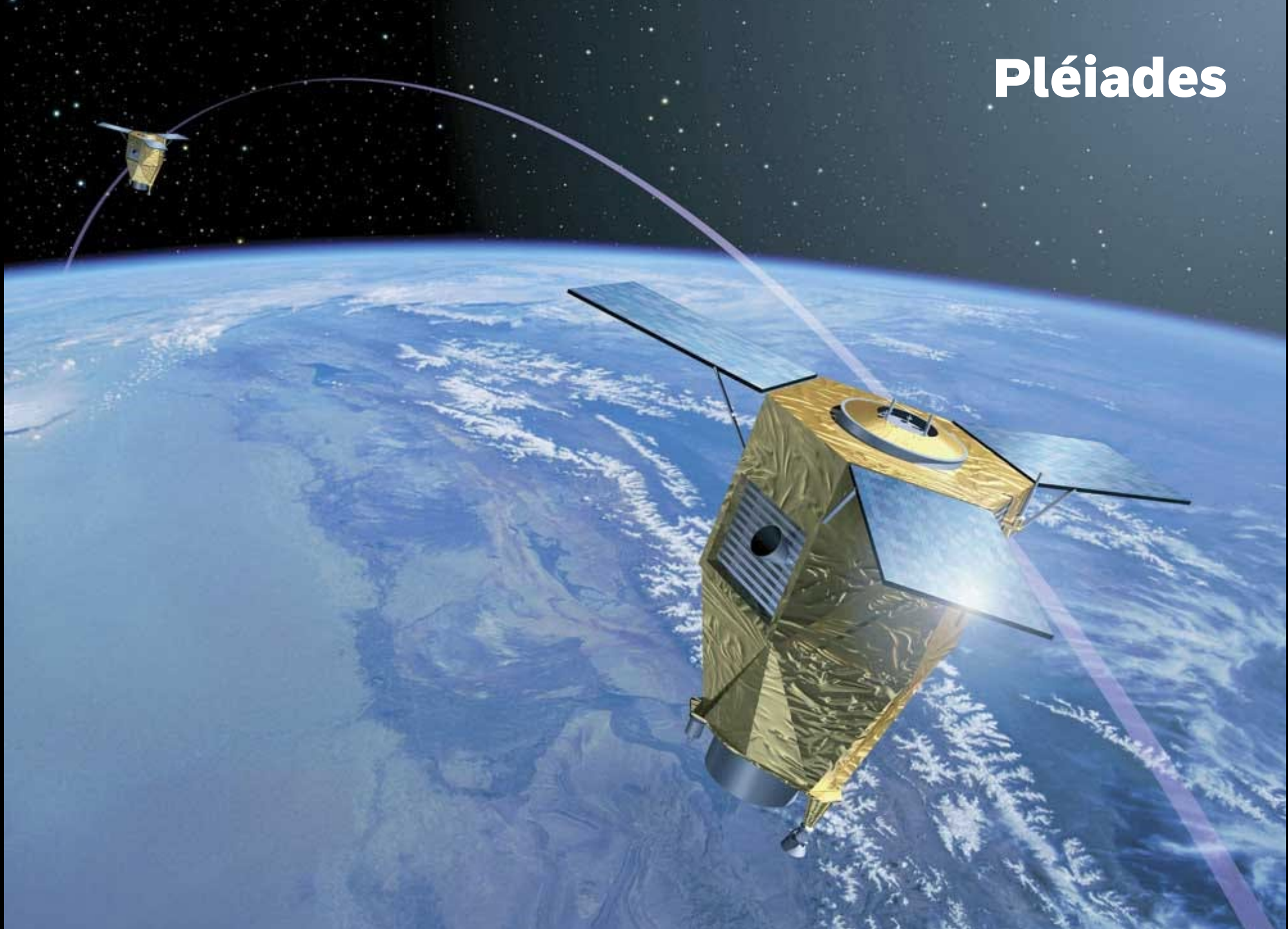
2012-2013  
SPOT 6  
1.5m

2013-2014  
SPOT 7  
1.5m

*La famille SPOT...*



# Pléiades





# Satellites européens



PLÉIADES 1A ET 1B

Imagerie : **Optique**  
Résolution spatiale : **70 cm**  
Date de lancement :  
**12/2011 et 12/2012**

SENTINEL 1A ET 1B

Imagerie : **Radar**  
Résolution spatiale : **5 m**  
Date de lancement :  
**04/2014 et 04/2016**

SENTINEL 2A ET 2B

Imagerie : **Optique**  
Résolution spatiale : **10 m**  
Date de lancement :  
**06/2015 et 06/2017**

SPOT 6-7

Imagerie : **Optique**  
Résolution spatiale : **1.5 m**  
Date de lancement :  
**09/2012 et 06/2014**

COSMO-SKYMED  
1 - 2 - 3 - 4

Imagerie : **Radar**  
Résolution spatiale : **1 m**  
Date de lancement : **06/2007,  
12/2007, 10/2008 et 11/2010**

TERRASAR-X

Imagerie : **Radar**  
Résolution spatiale : **50 cm**  
Date de lancement : **06/2007**

*Actuels...*



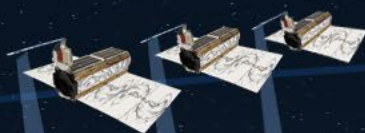
# Satellites américains

WORLDVIEW 3



Imagerie : **Optique**  
Résolution spatiale : **31 cm**  
Date de lancement : **08/2014**

DOVE  
(CONSTELLATION)



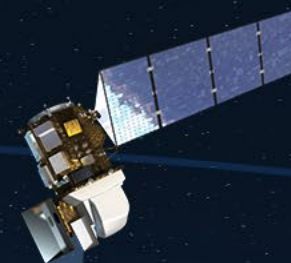
Imagerie : **Optique**  
Résolution spatiale : **3 m**  
Date de lancement : **à partir de 2013**

SKYSAT 2-3-4-5-6



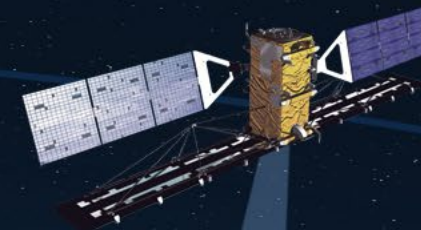
Imagerie : **Optique**  
Résolution spatiale : **80 cm**  
Date de lancement : **07/2014**

LANDSAT 8



Imagerie : **Optique**  
Résolution spatiale : **15 m**  
Date de lancement : **02/2013**

RADARSAT 2



Imagerie : **Radar**  
Résolution spatiale : **1 m**  
Date de lancement : **12/2007**

*Actuels...*



# Satellites asiatiques

JILIN-1 GAOFEN-03A

Imagerie : **Optique**  
Résolution spatiale : **1 m**  
Date de lancement : **06/2019**

QIANCHENG 1-01

Imagerie : **Optique**  
Résolution spatiale : **2 m**  
Date de lancement : **08/2019**

GAOFEN-7

Imagerie : **Optique**  
Résolution spatiale : **< 1 m**  
Date de lancement : **11/2019**

ALOS

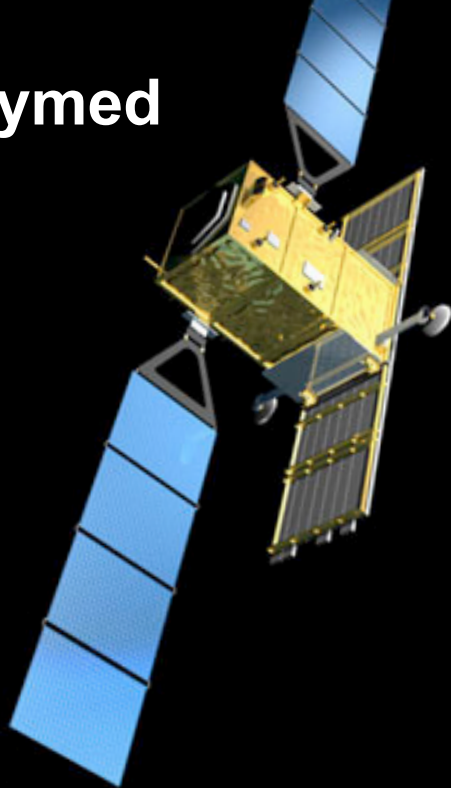
Imagerie : **Optique/Radar**  
Résolution spatiale : **2.5 m / 10 m**  
Date de lancement : **01/2006**

KOMPSAT-5

Imagerie : **Radar**  
Résolution spatiale : **1 m**  
Date de lancement : **08/2013**

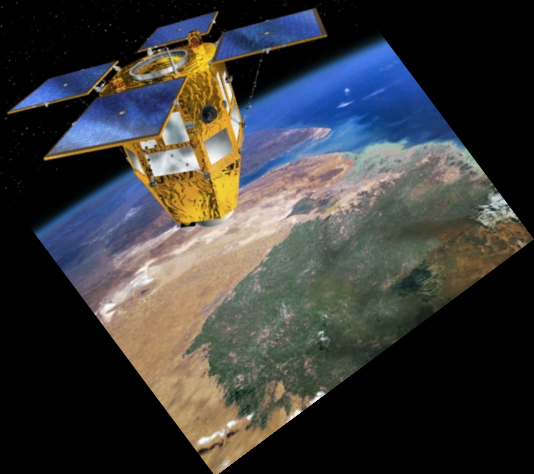
*Actuels...*

# Cosmo-Skymed



# SAR Lupe

# CSO



# Hélios

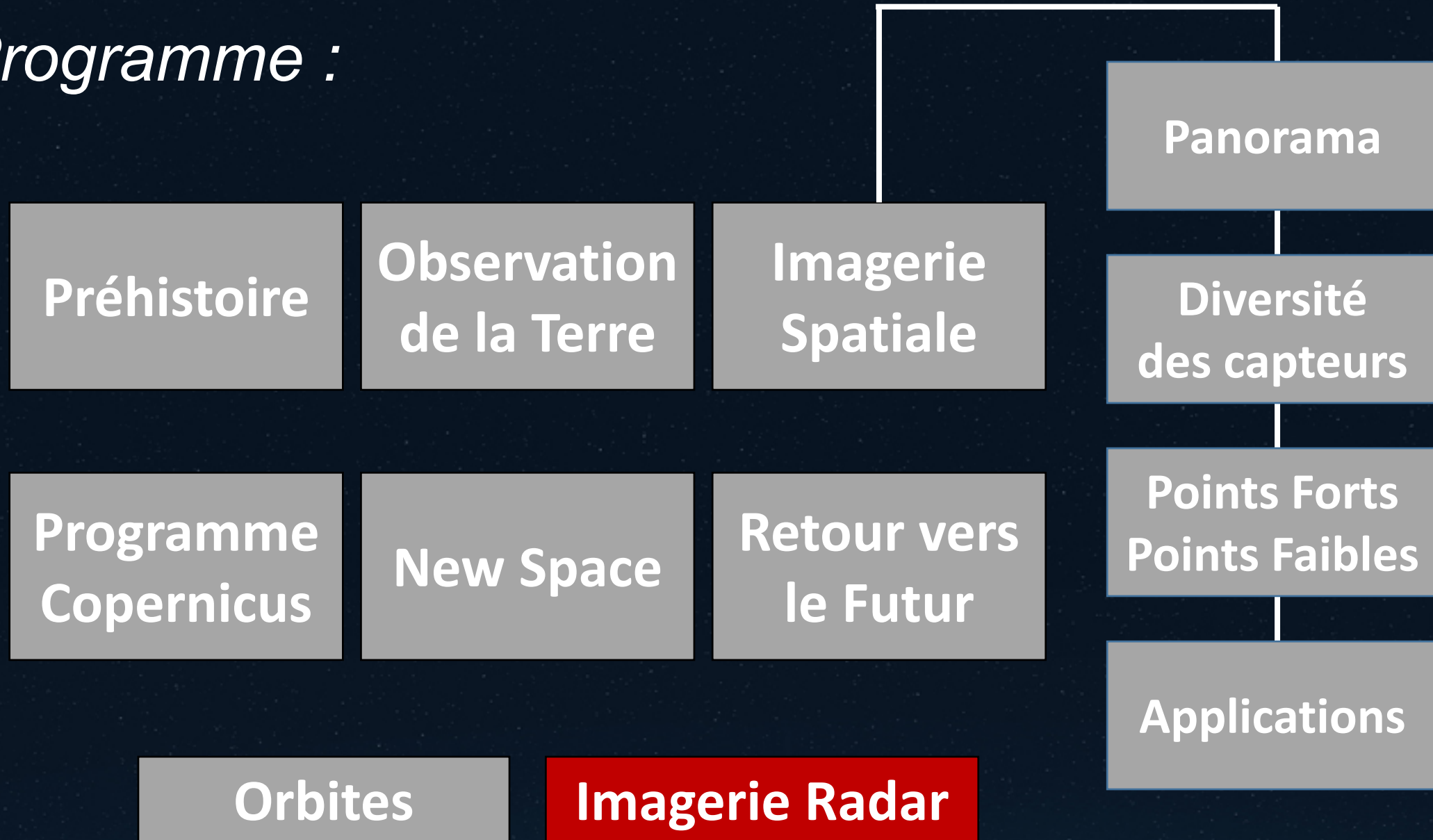


# Pléiades





# Programme :





**Image aéroportée SETHI  
(ONERA-CNES), Paris  
Pixel: 1.85m  
Bande C, pol. VV**





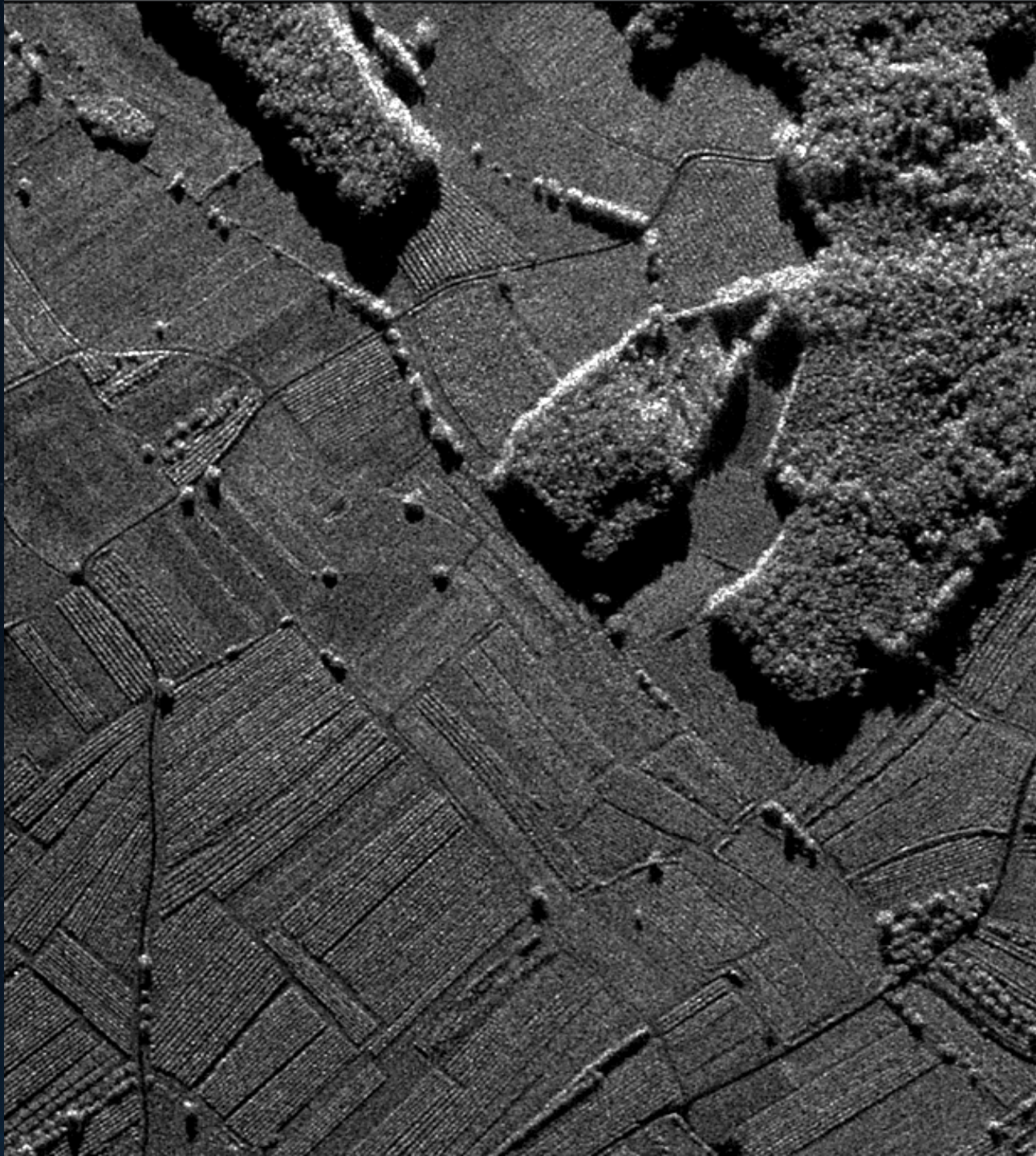






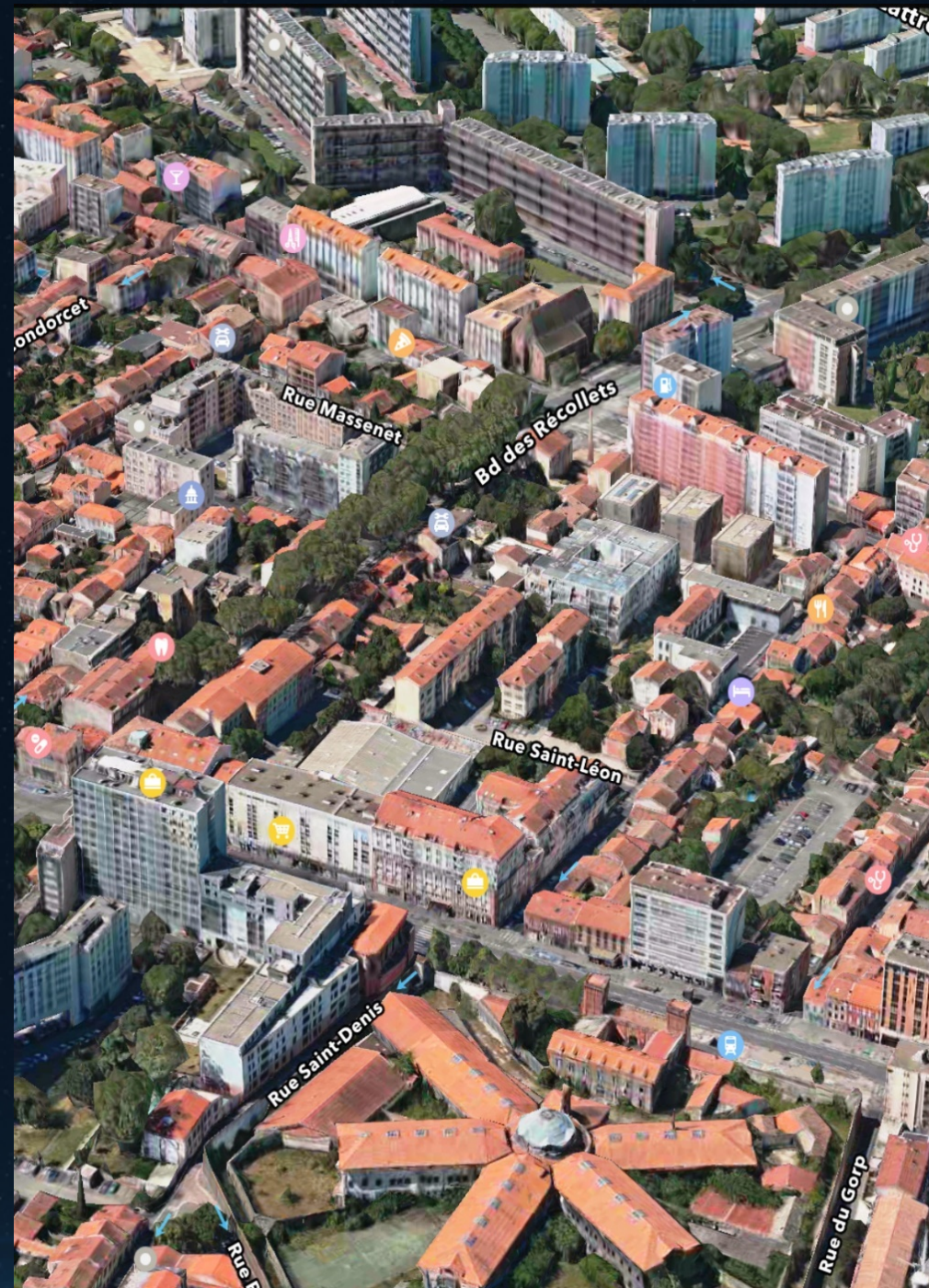








Radar



Optique





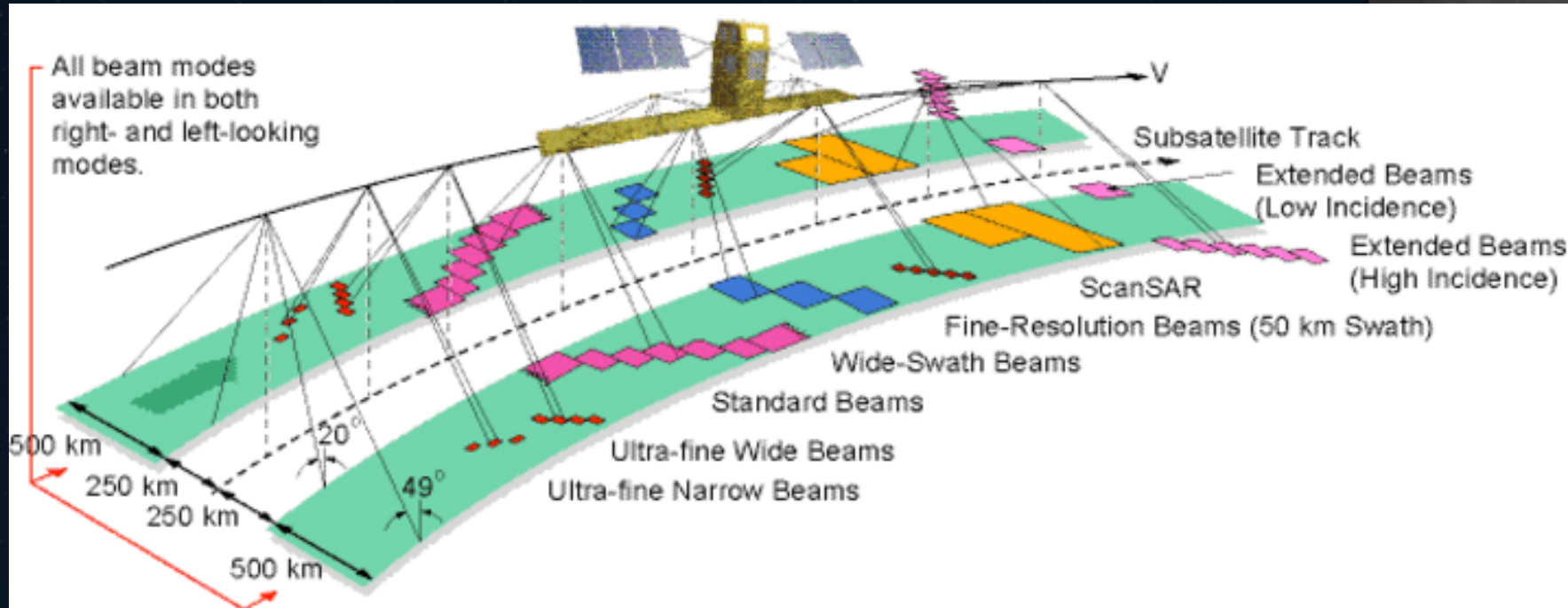
1m, Ku Band







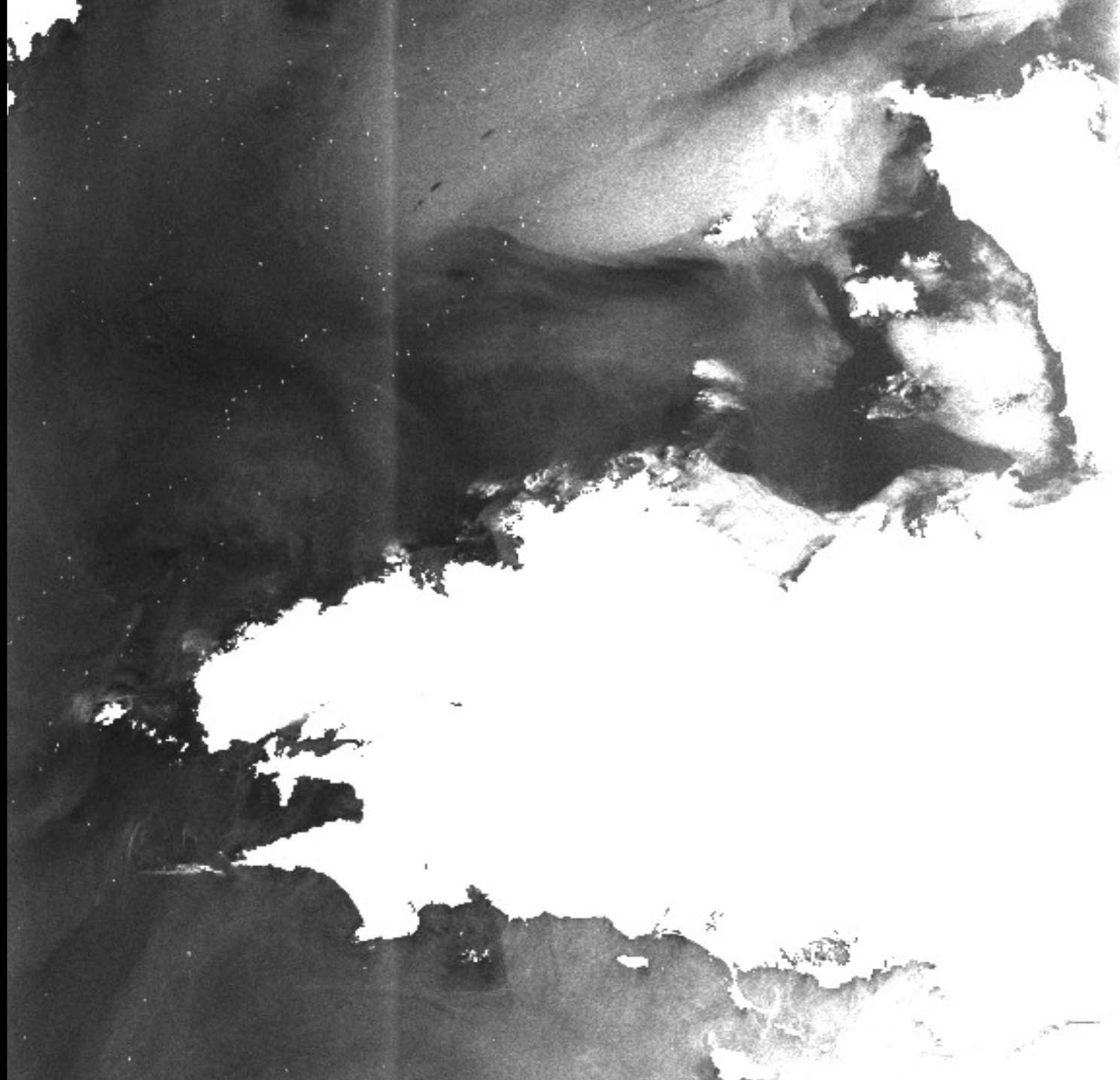
# Radarsat 2





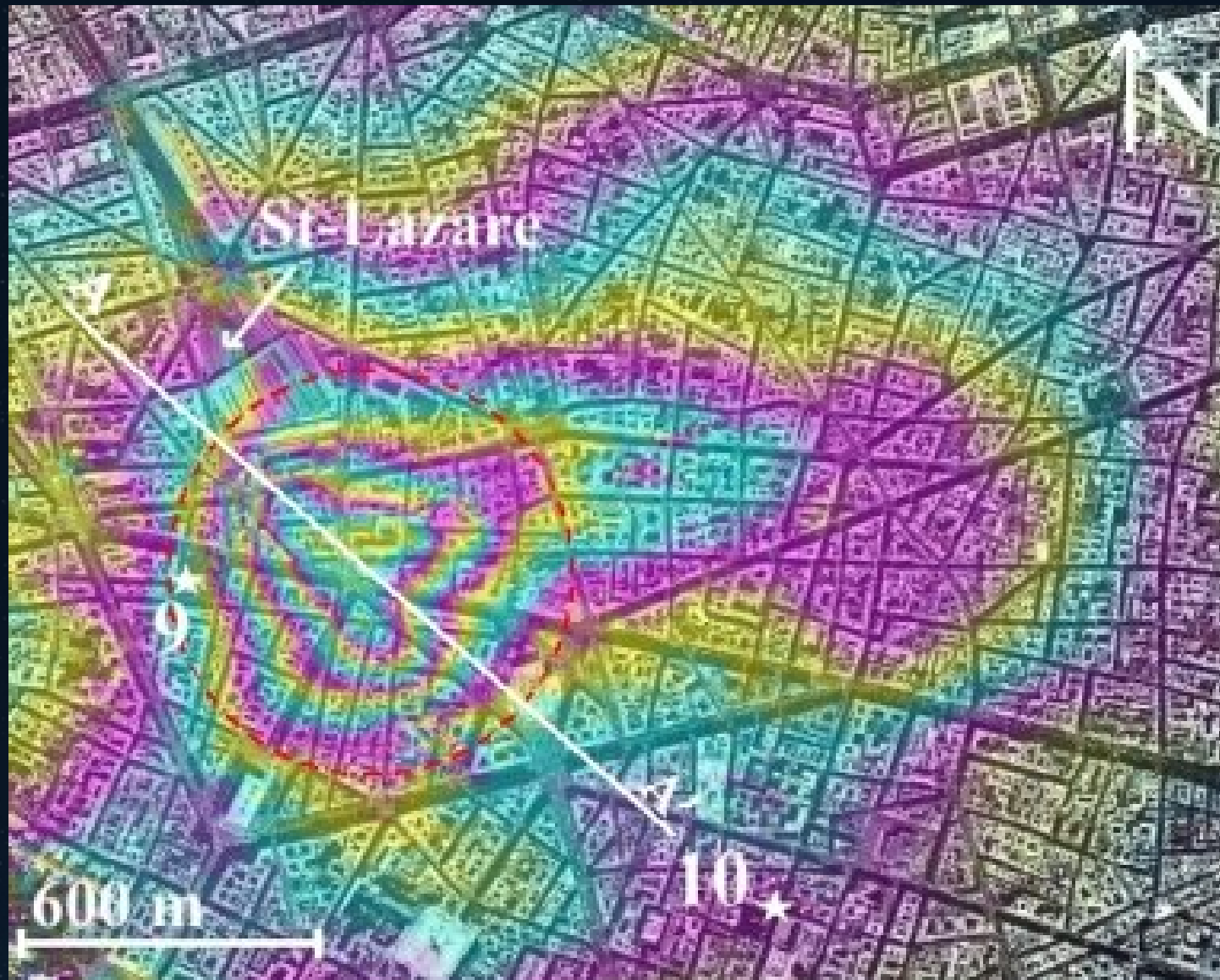
Mont Fuji - Japon - Satellite Cosmo Skymed





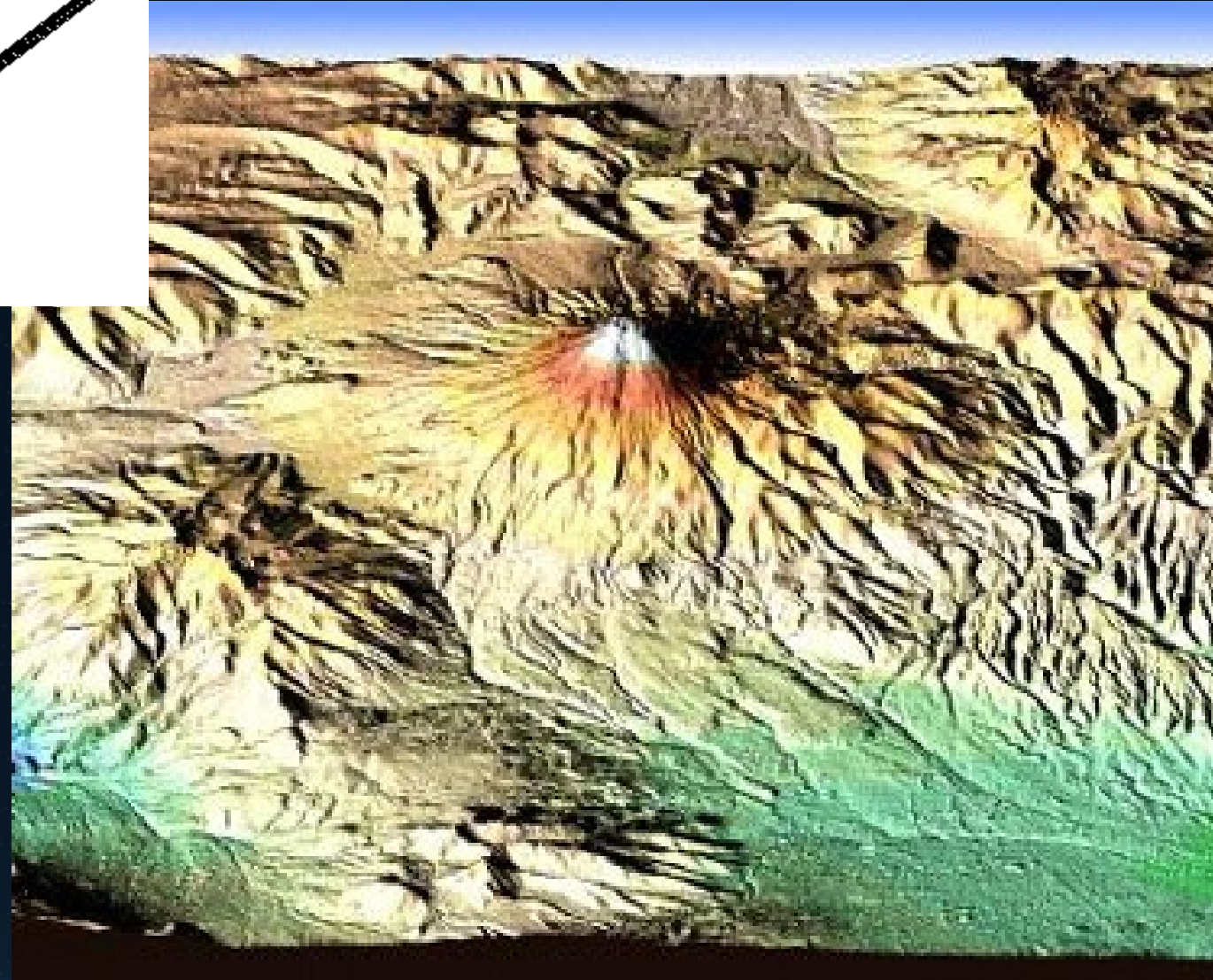
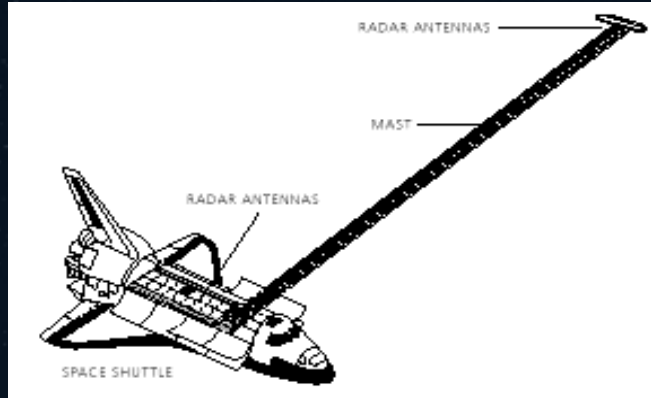


# Interférométrie Radar



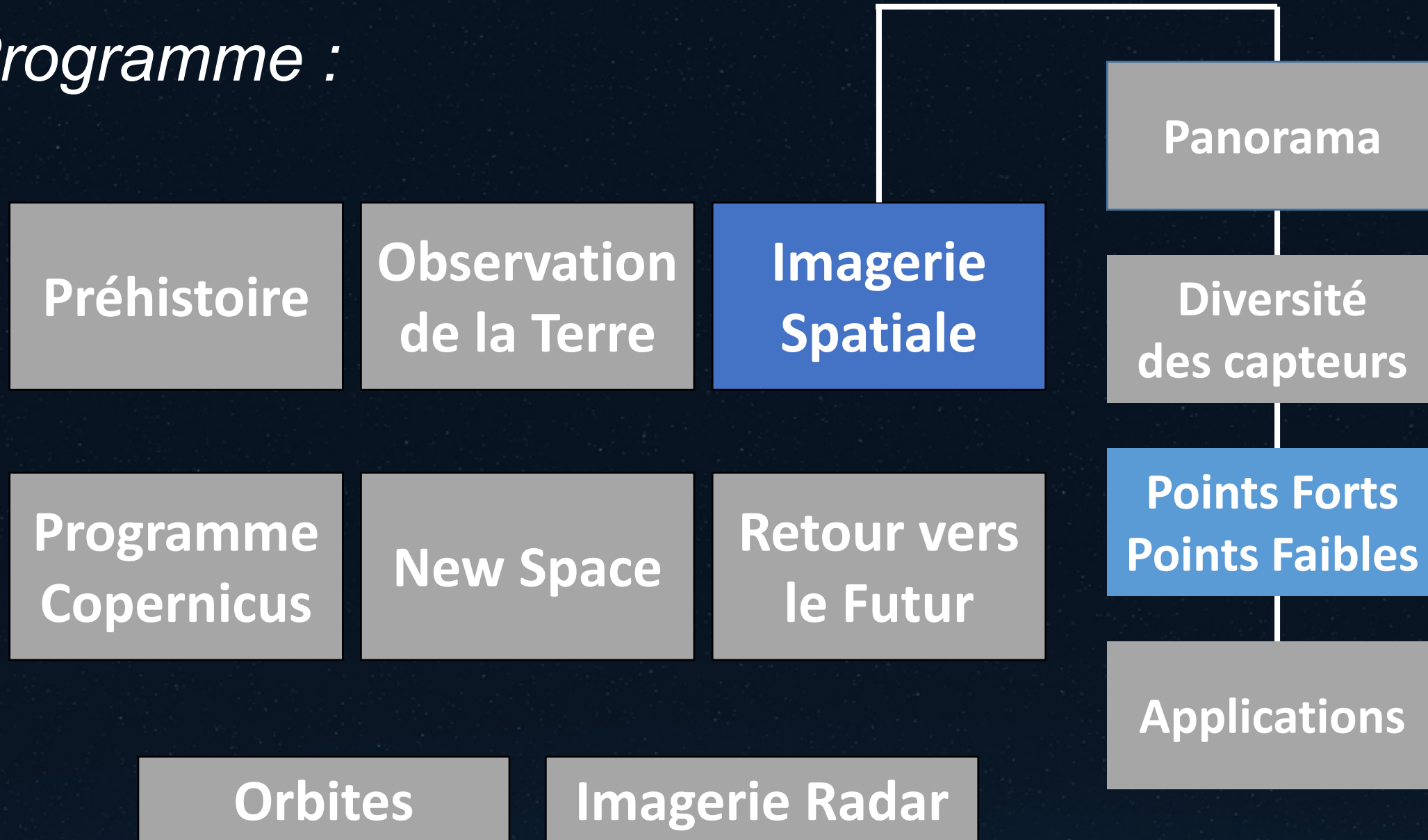
# SRTM : Shuttle Radar Topographic Mission

Shuttle Radar Topography Mission (feb 2000)

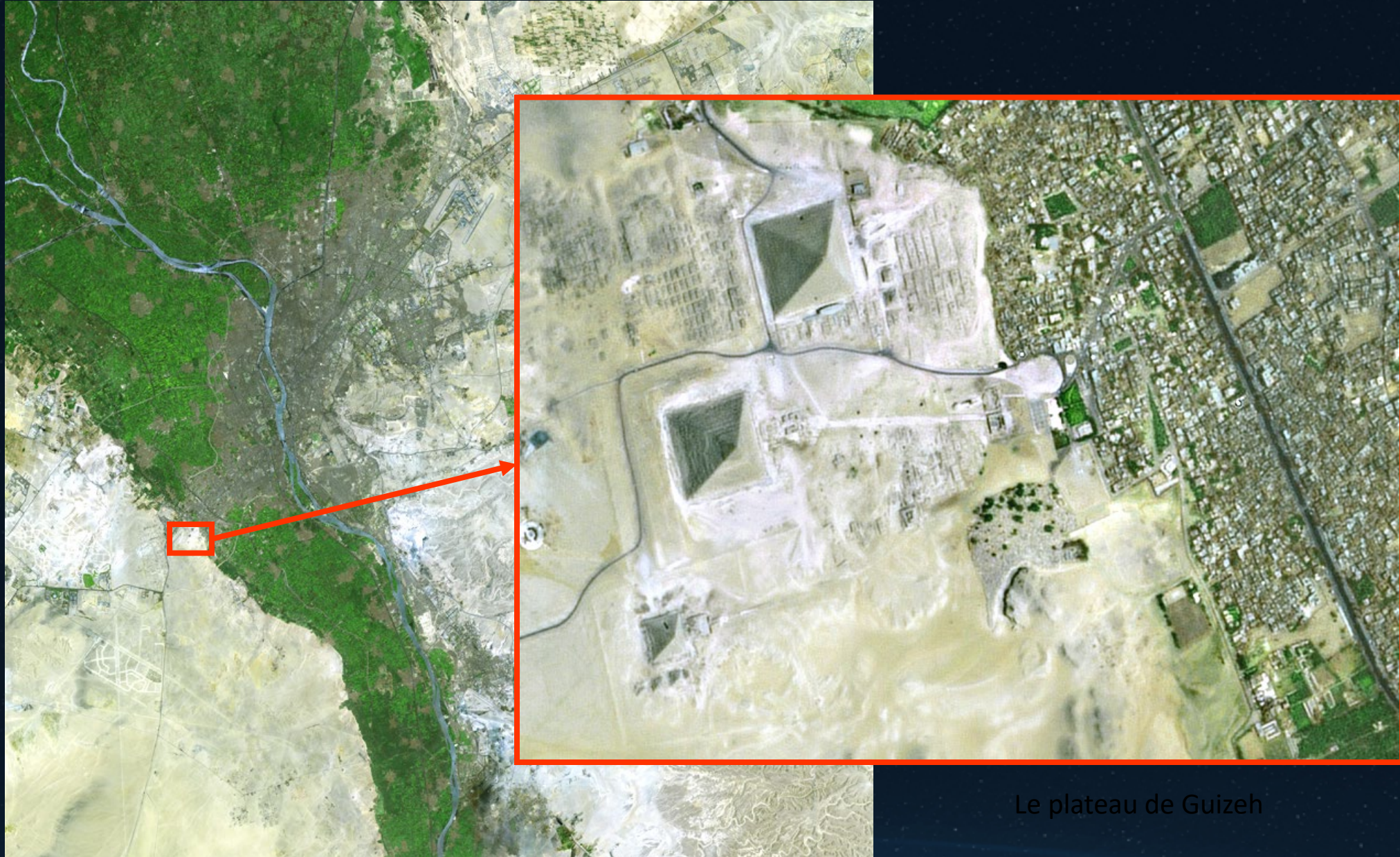




# Programme :







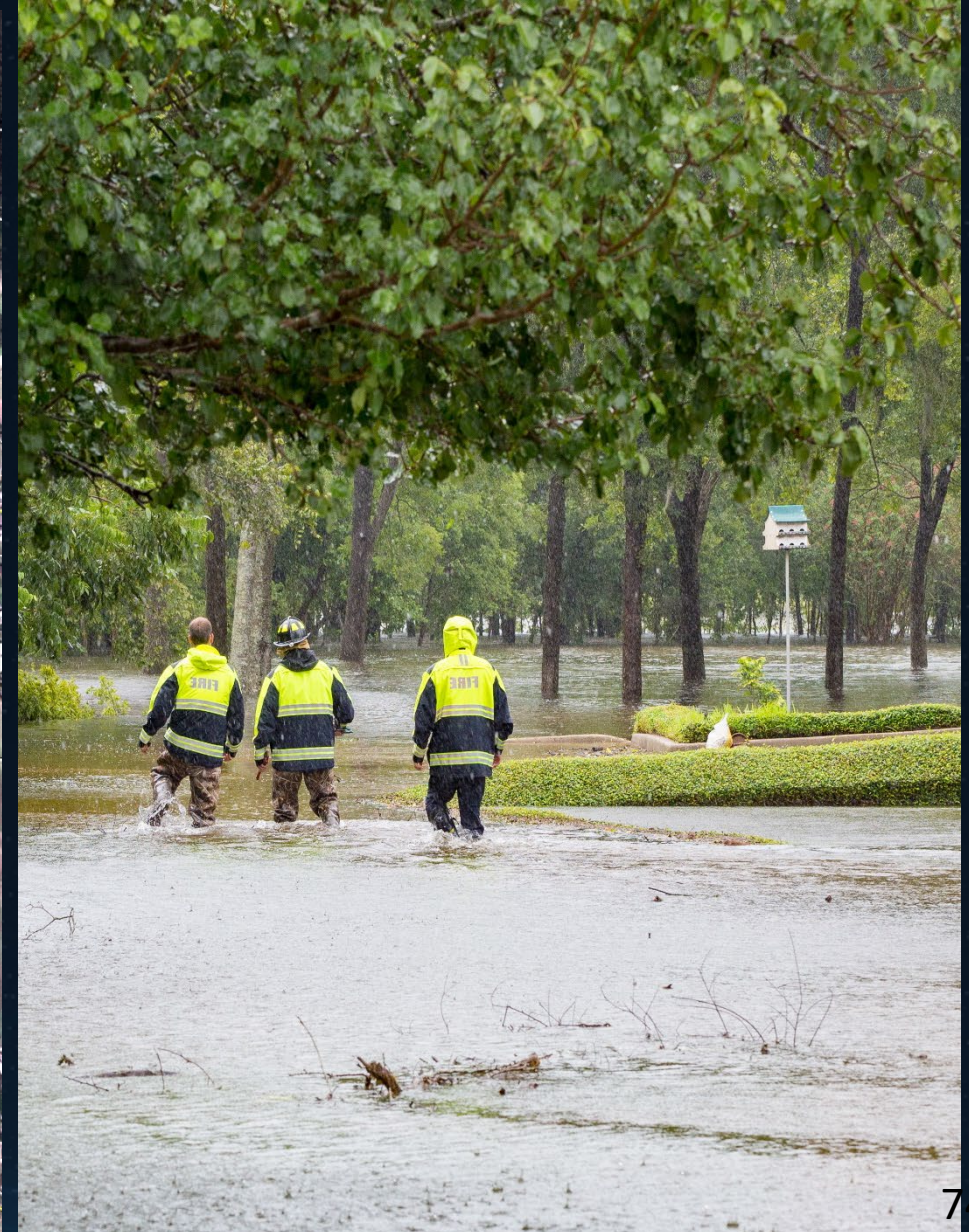
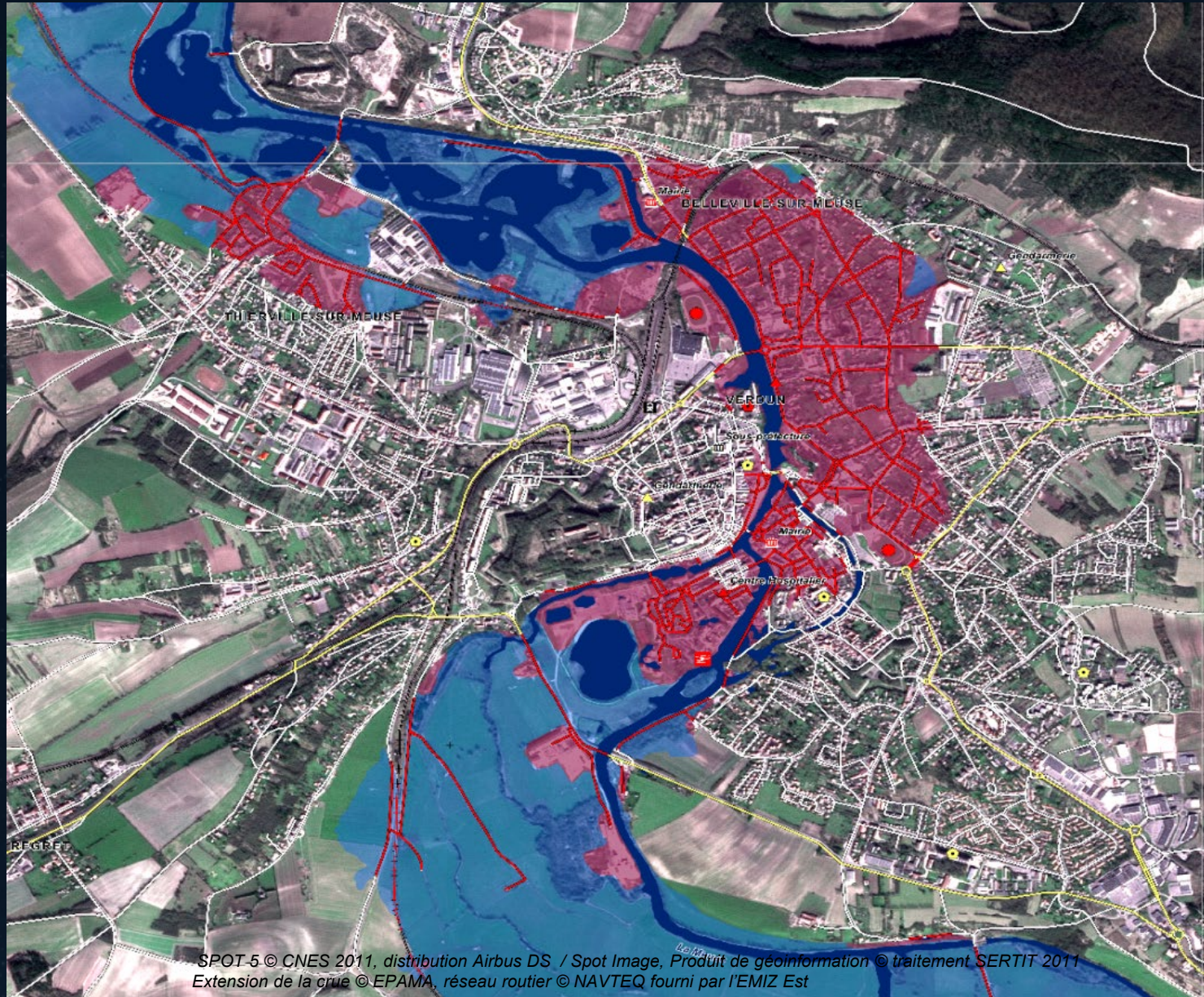
Le plateau de Guizah



# *Accès mondial – Vision globale ... et rapide*







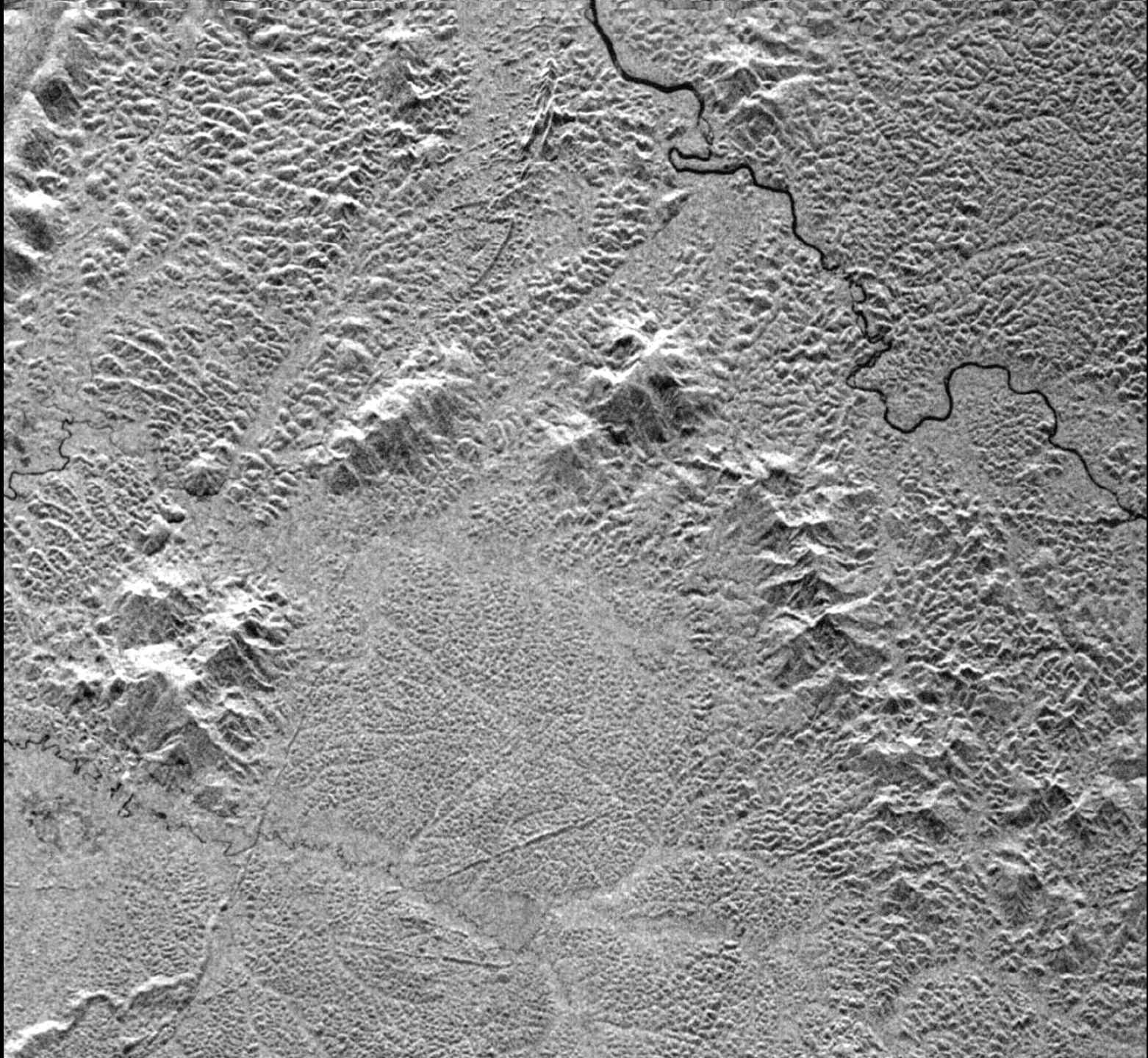


*Les nuages !*

Kourou  
Guyane

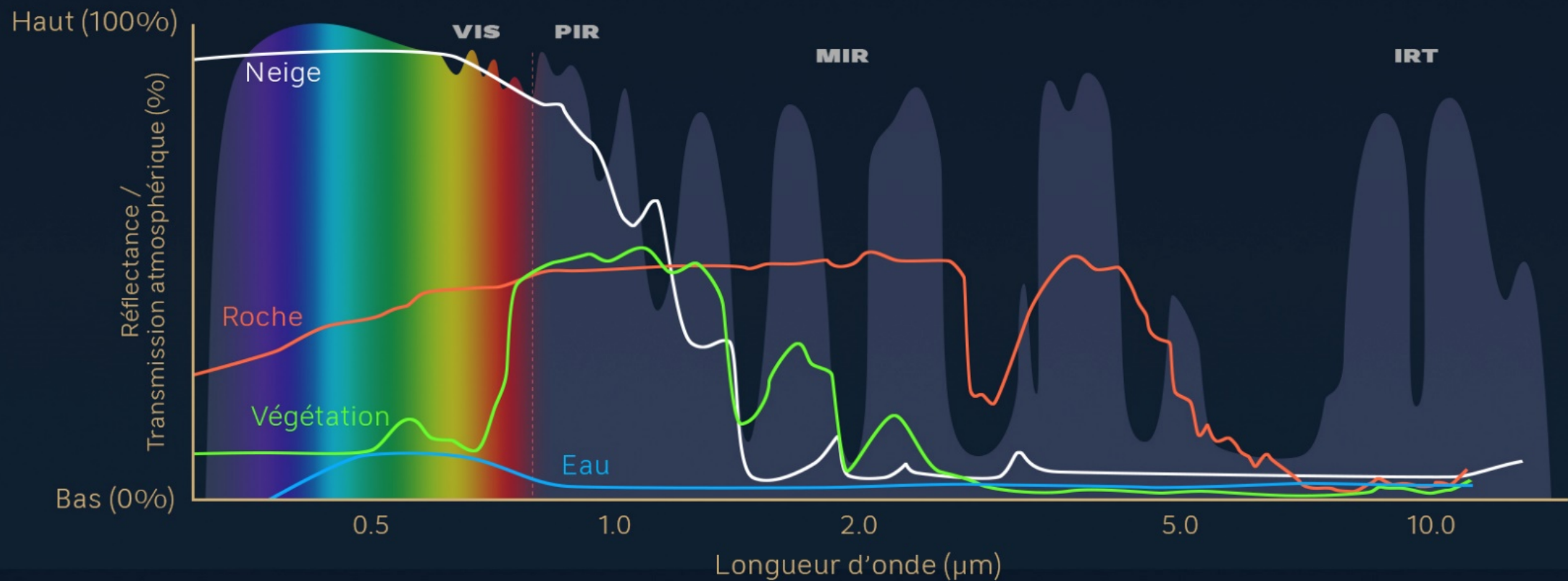




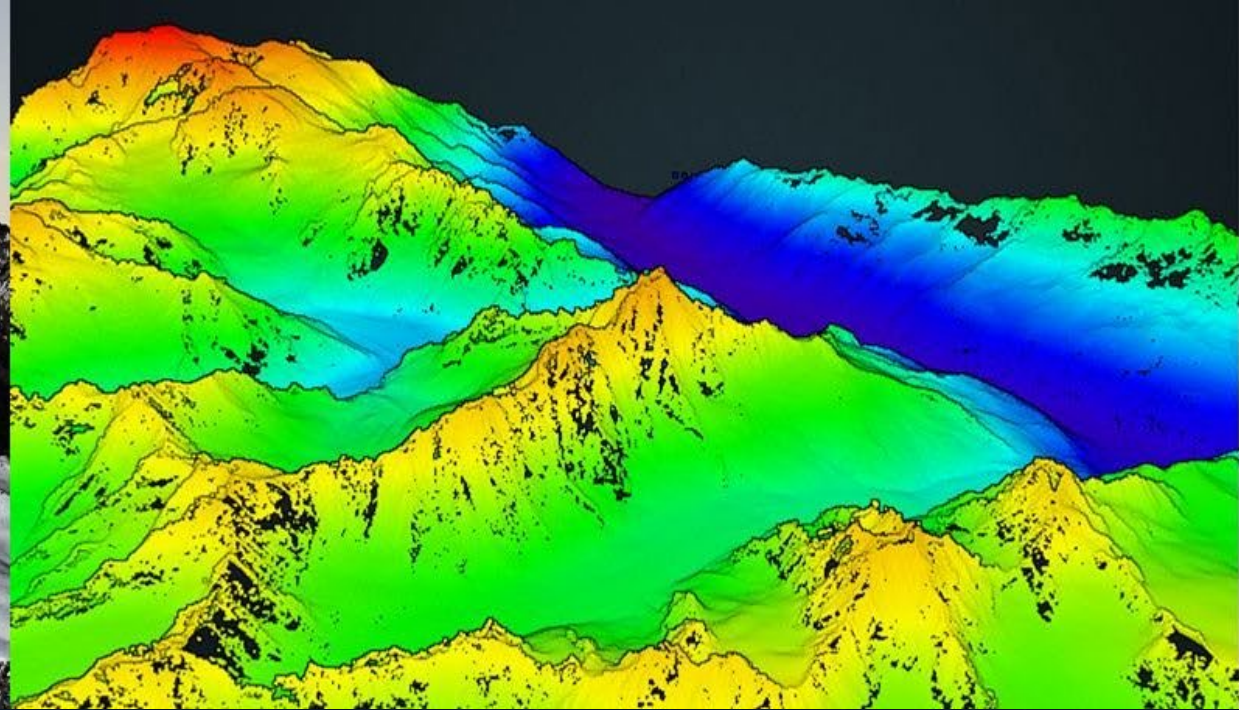




# Richesse spectrale

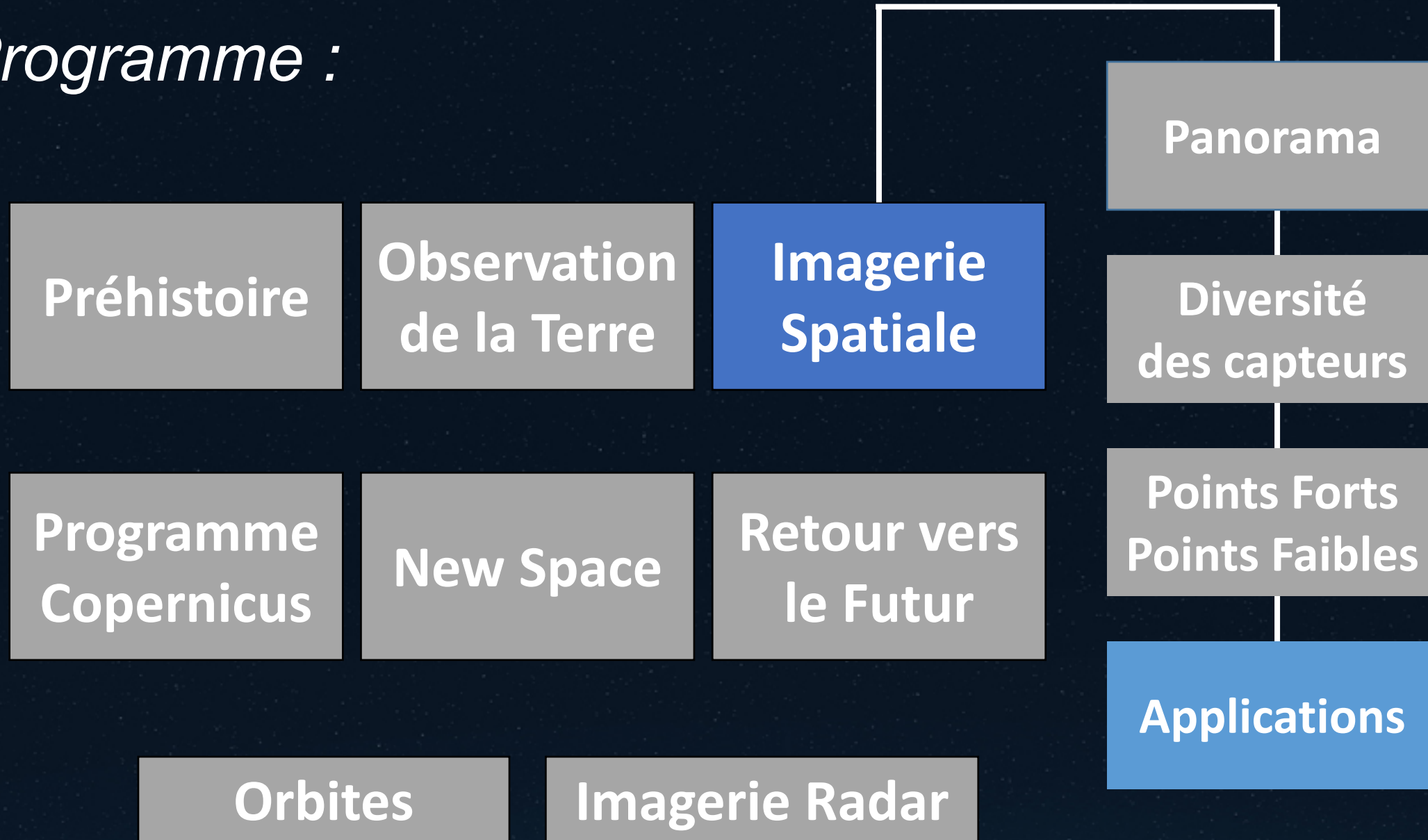








# Programme :



*Défense*



© CNES 2014 - Distribution Astrium Services / Spot Image S.A.

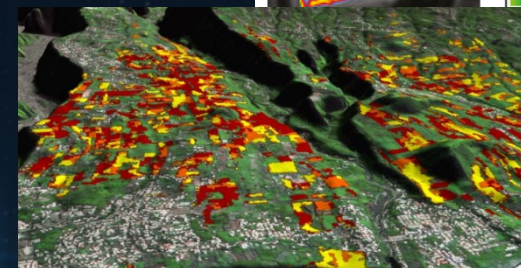
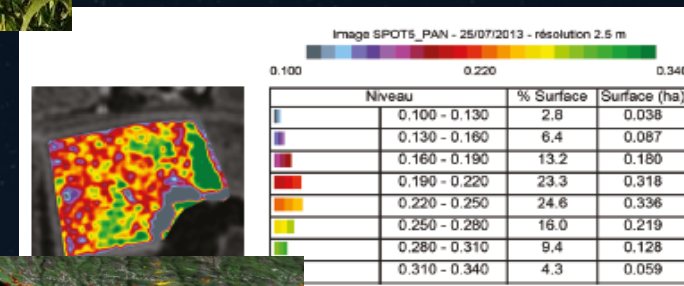


# Agriculture de précision

- Combiné à du positionnement précis
- Guidage précis et automatisé
  - Optimiser les passages en limitant les recouvrements
  - Mettre en place des automatismes de bout de rang
    - Gain de 5 à 13 % soit de 15 à 25 € d'économie à l'hectare (Etude Arvalis)
  - Désherbage
- Optimisation de l'utilisation des intrants
  - Vers une culture zéro pesticide
  - Contrôler parfaitement les tâches réalisées

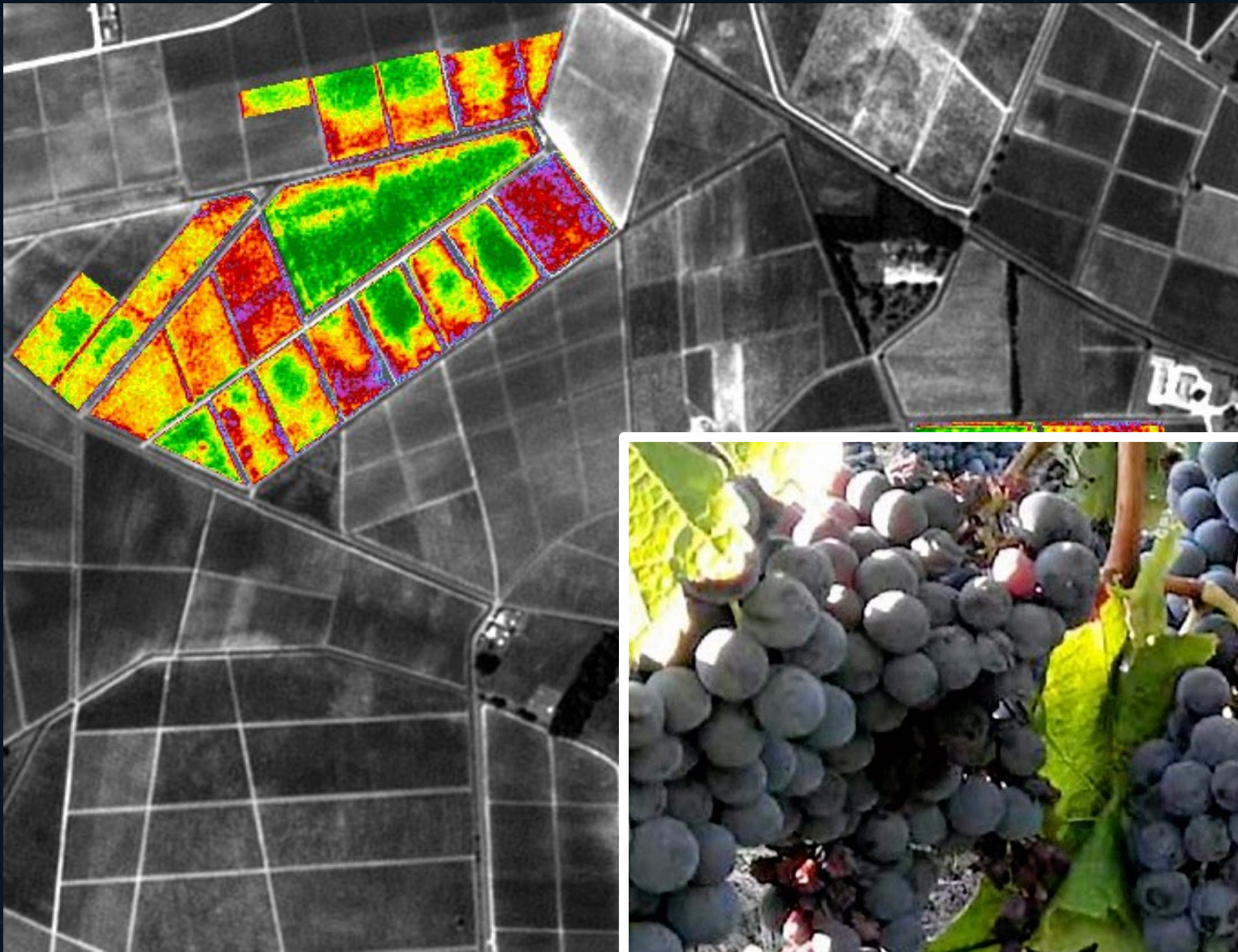


- Identifier la vigueur des cultures- vignes



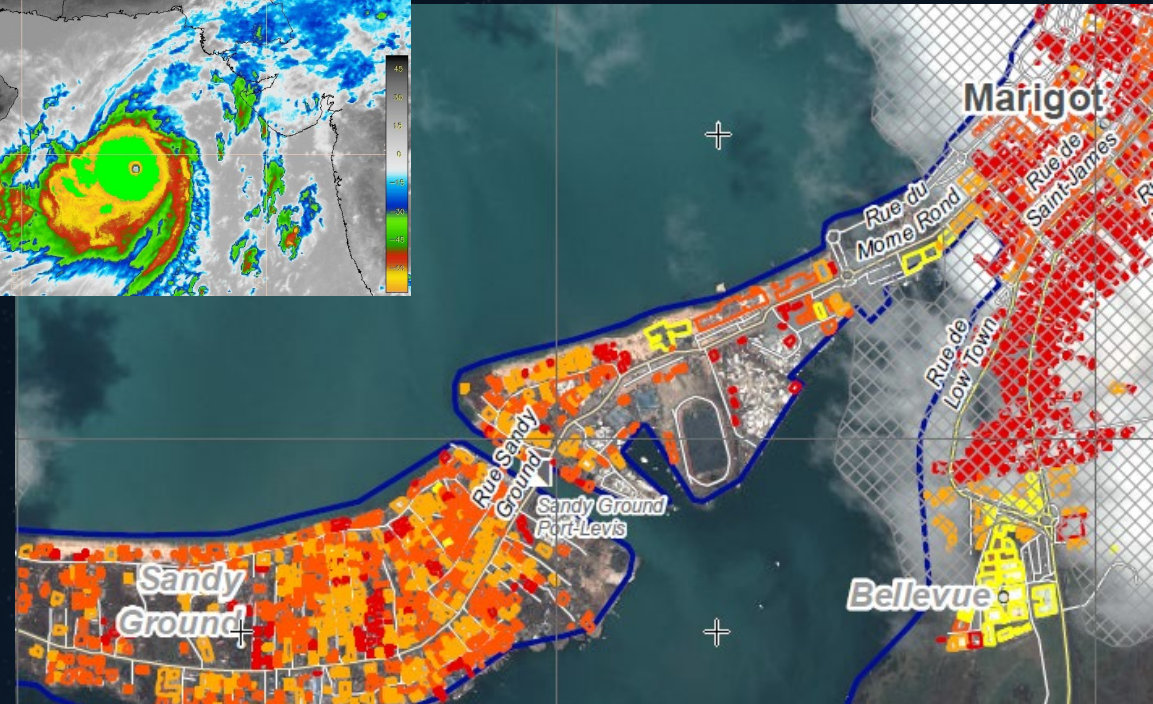
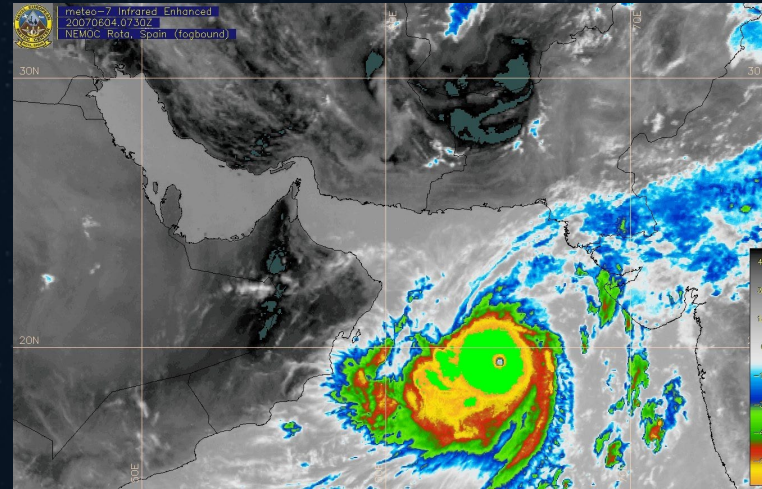
- Fournir des outils d'aide à la décision : Politique Agricole Commune - PAC







# Gestion des catastrophes naturelles et des crises sanitaires et humanitaires





# Catastrophe naturelle



L'ouragan Irma, le 6 septembre. - HO / NOAA/RAMMB/



Sandy Ground, Saint-Martin  
Image Pléiades Pleine résolution  
AVANT Irma : 12/02/2017

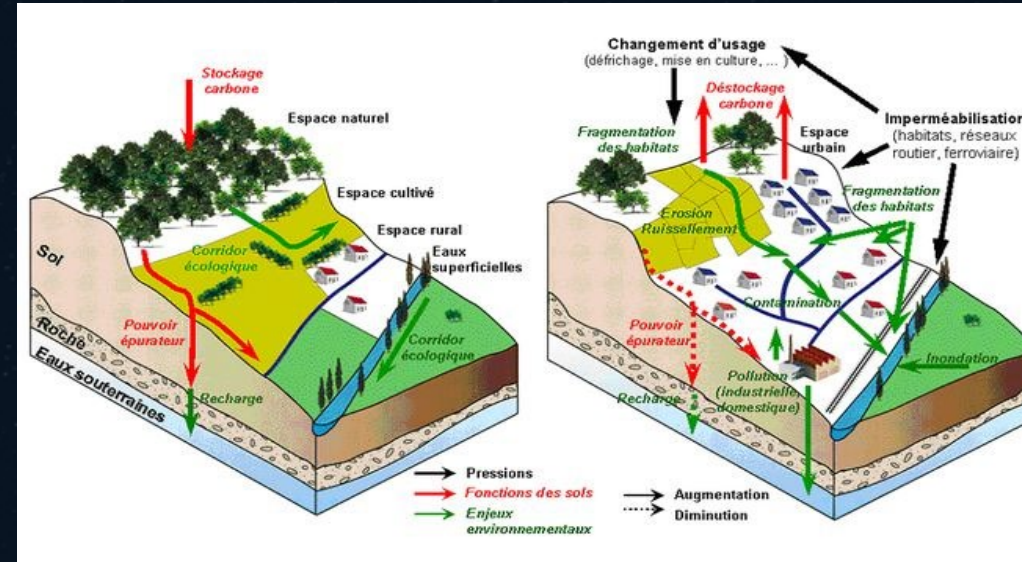
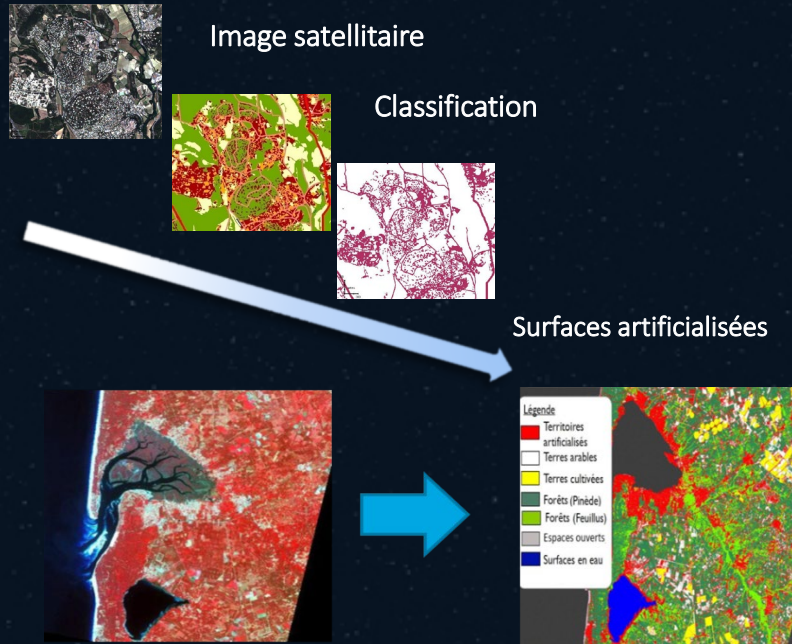




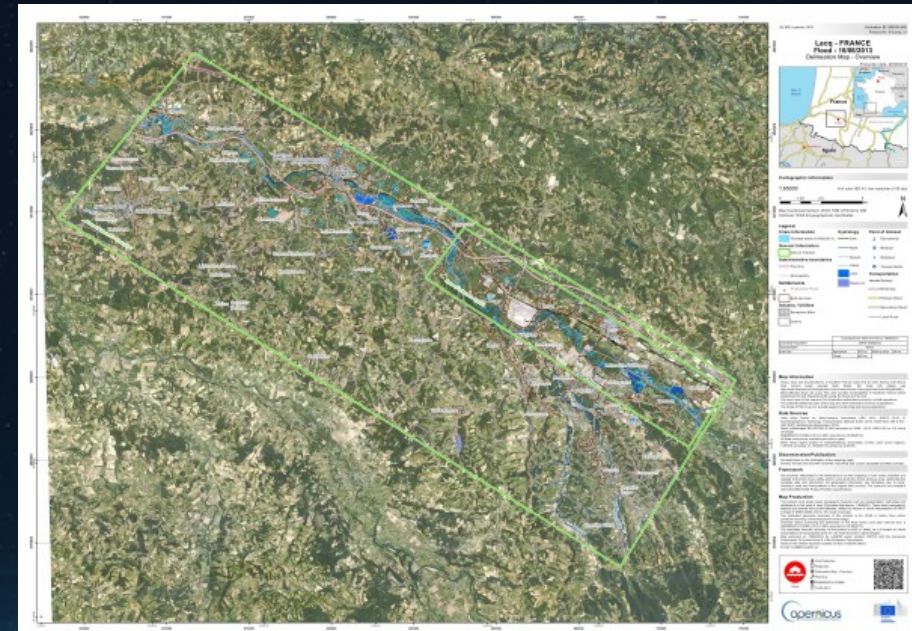
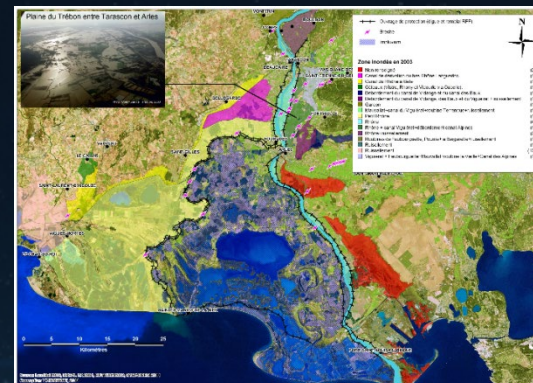
Sandy Ground, Saint-Martin  
Image Pléiades Pleine résolution  
APRES Irma : 10/09/2017



# Prévenir les risques d'inondation : occupation des sols



Mesure fine du relief. Détermination des bassins versants  
 Caractérisation des zones artificialisées  
 Modélisation du ruissellement  
 Carte des zones inondées





# *Urbanisme et aménagement du territoire*



Millau Viaduct, Valley of the River Tarn, France © CNES 2012 - Distribution Astrium Services Spot Image

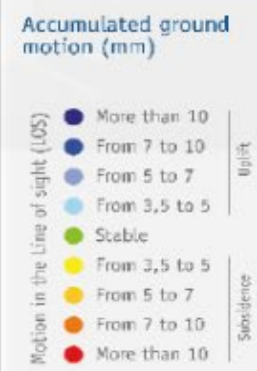
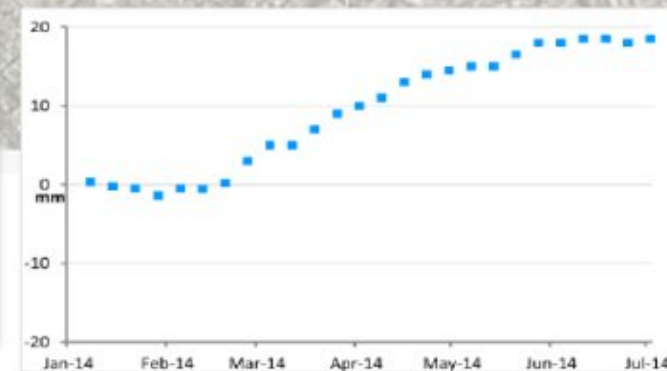
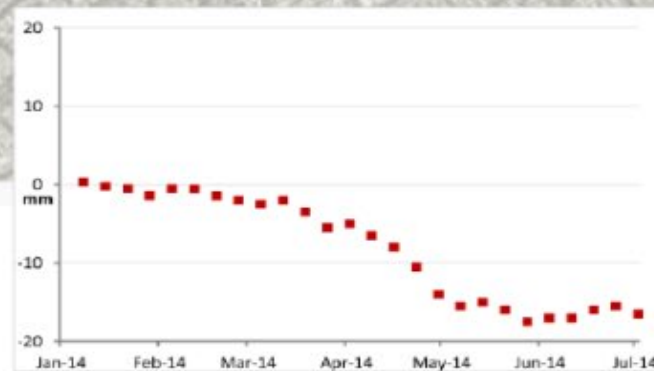
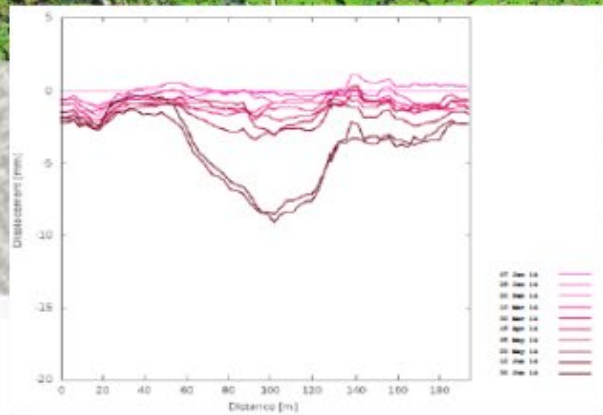
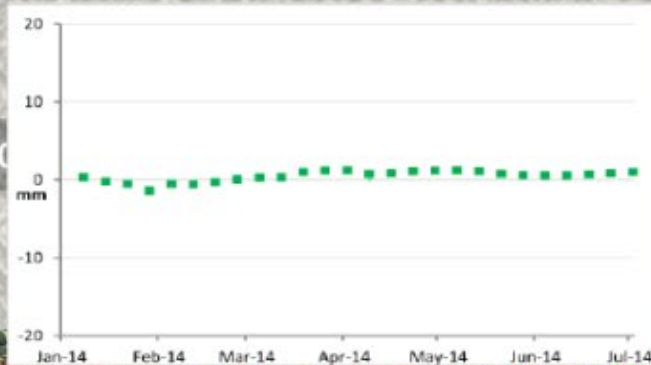


# Subsidences sur la ville de Barcelone

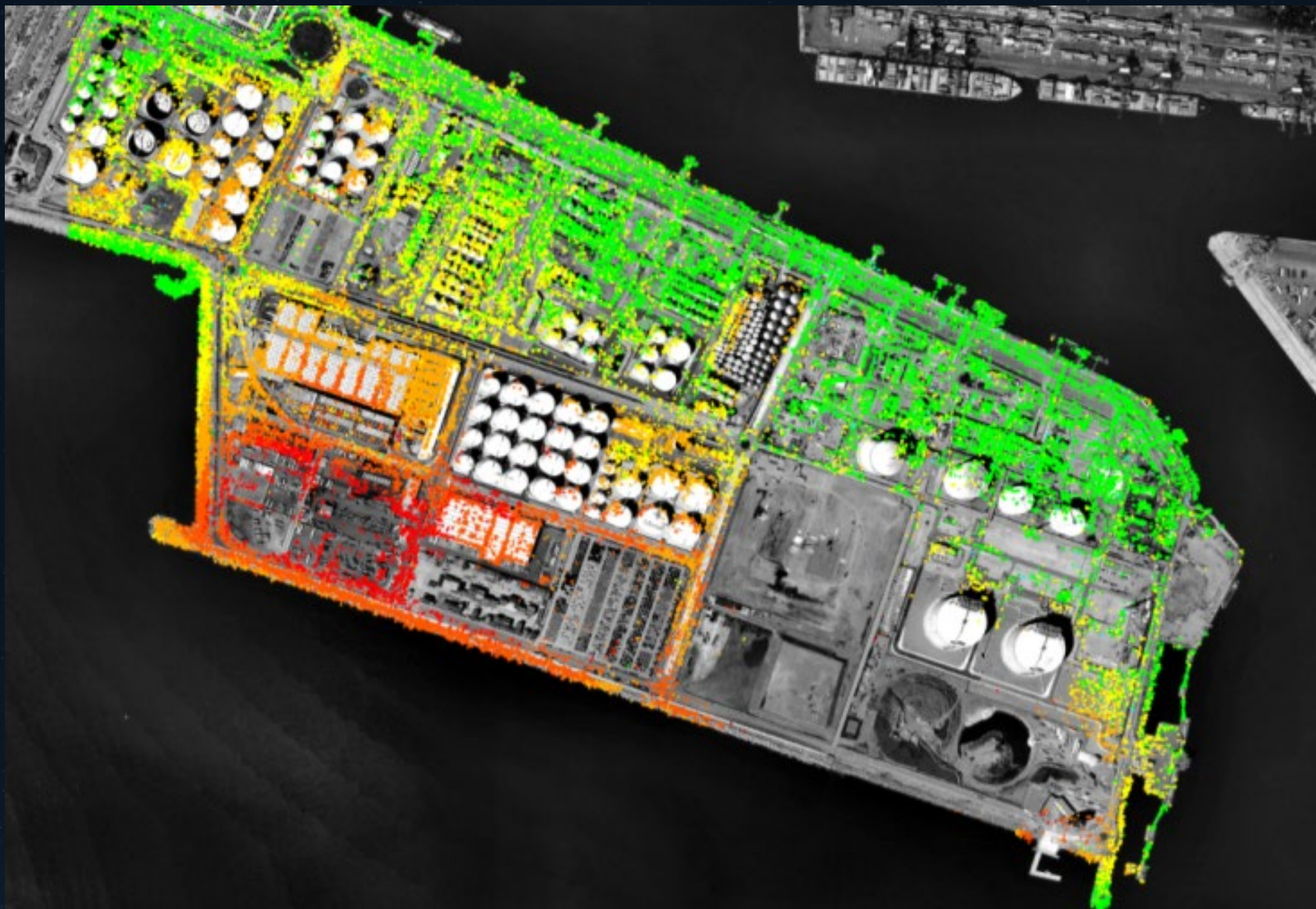
JANVIER 2014

MAI 2014

JUIN 2014



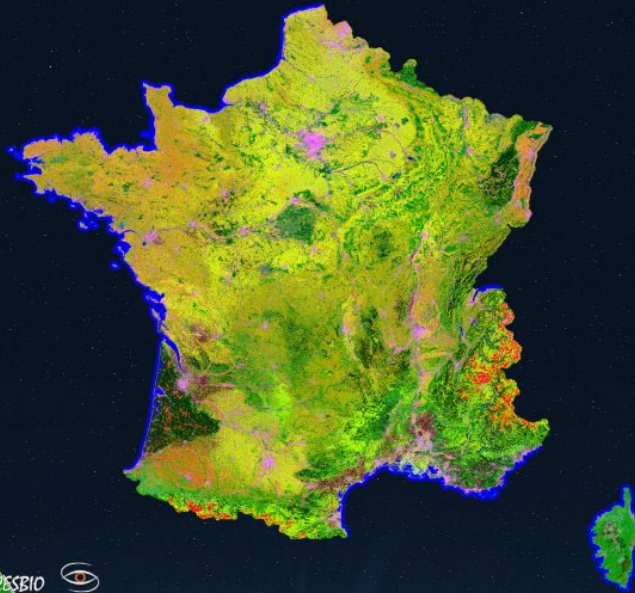






# Classification des sols

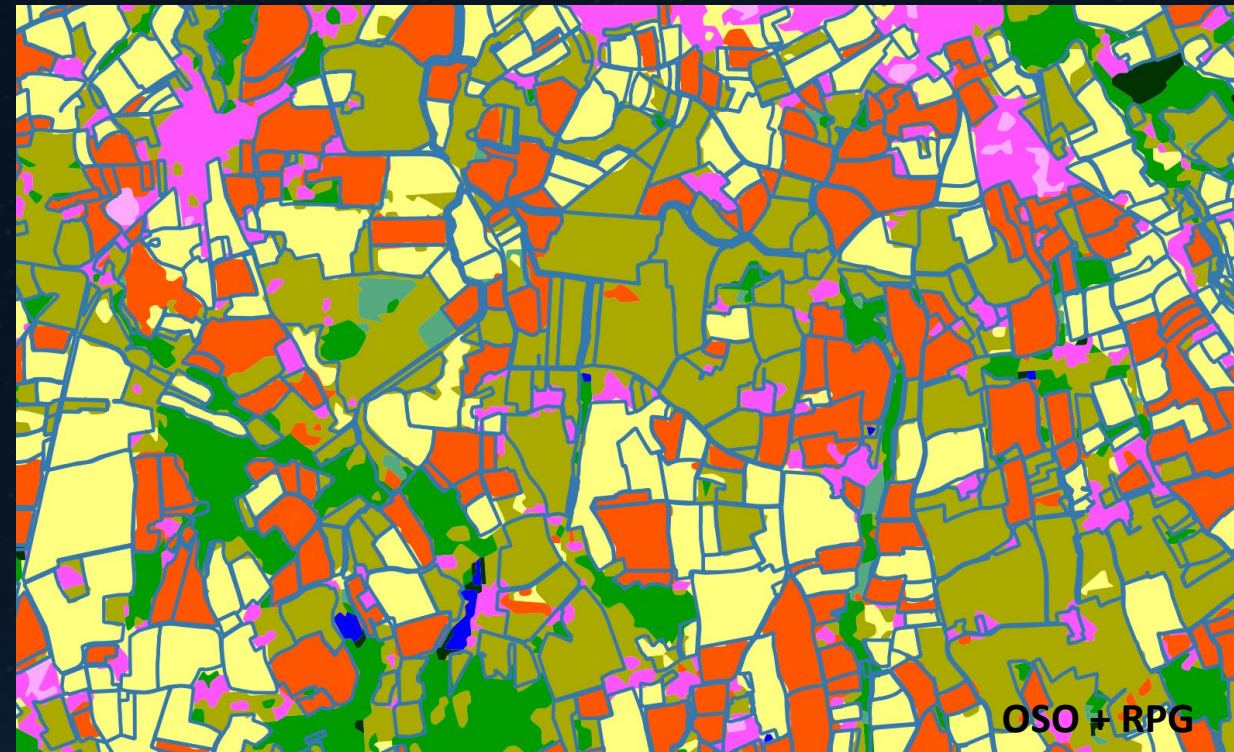
connect  
by  
cnes



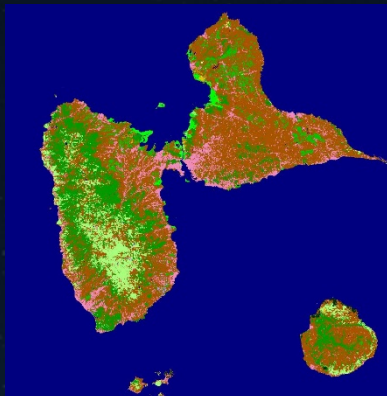
## Légende

Tubercules/Racines	Urbain dense
Prairies	Urbain diffus
Vergers	Zones industrielles et commerciales
Vignes	Routes
Forêts de feuillus	Colza
Forêts de conifères	Céréales à paille
Pelouses	Protéagineux
Landes ligneuses	Soja
Surfaces minérales	Tournesol
Plages et dunes	Mais
Glaciers et neiges éternelles	Riz
Eau	

Exemples de cartes d'occupation des sols OSO sur la France réalisées à partir d'images optiques Sentinel-2  
Possibilité de transposition de ce type de classification pour besoins institutionnels



© Document Cnes soumis à la licence collective commons by-nc-sa 4.0.



bâti
prairie
eau
canne à sucre
bananeraies
café
melon
autre surface agricoles
agrumes
forêt feuillus
mangroves
landes broussailles
vegetation sclerophylle
marais
mer et ocean



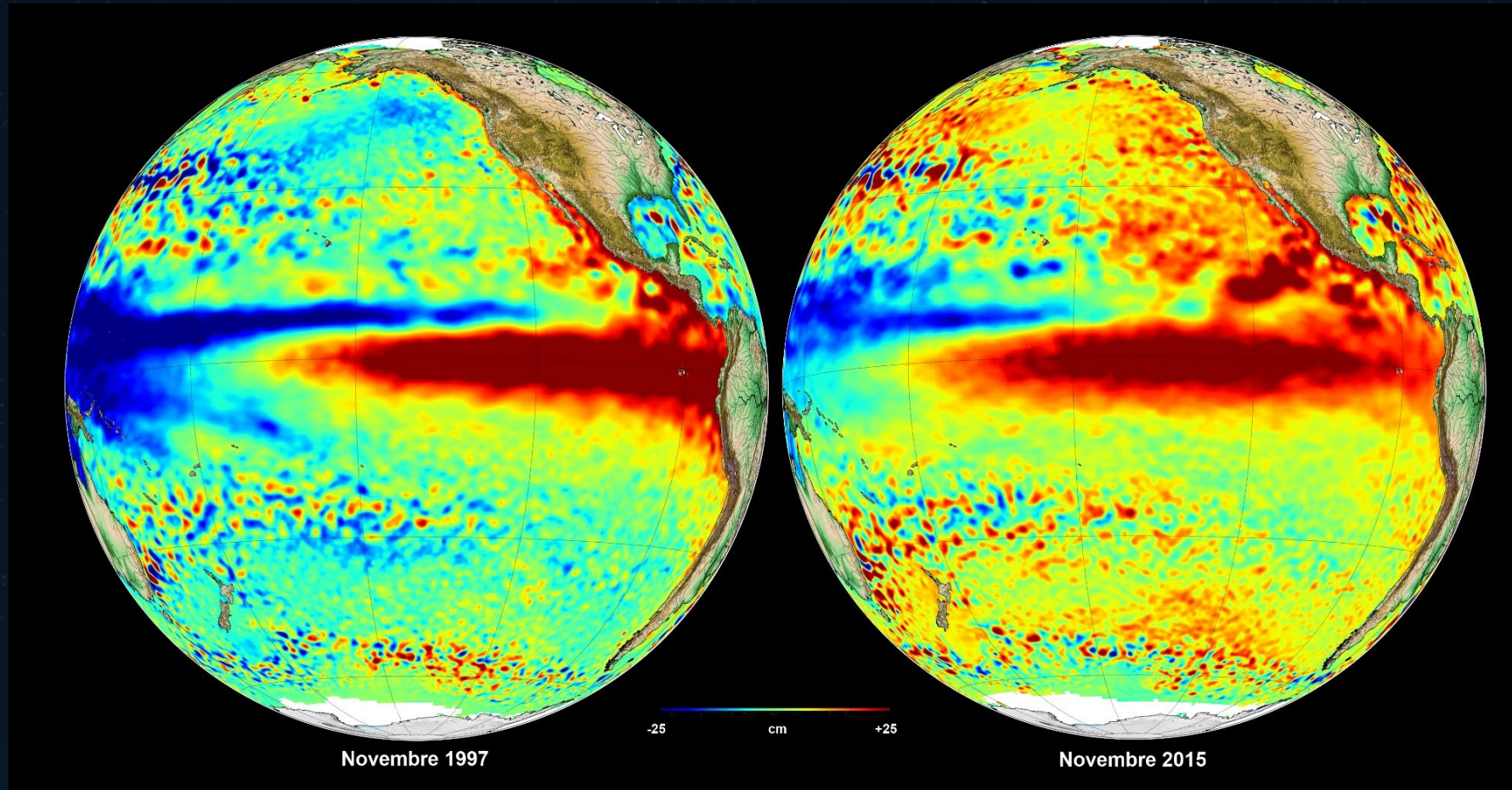


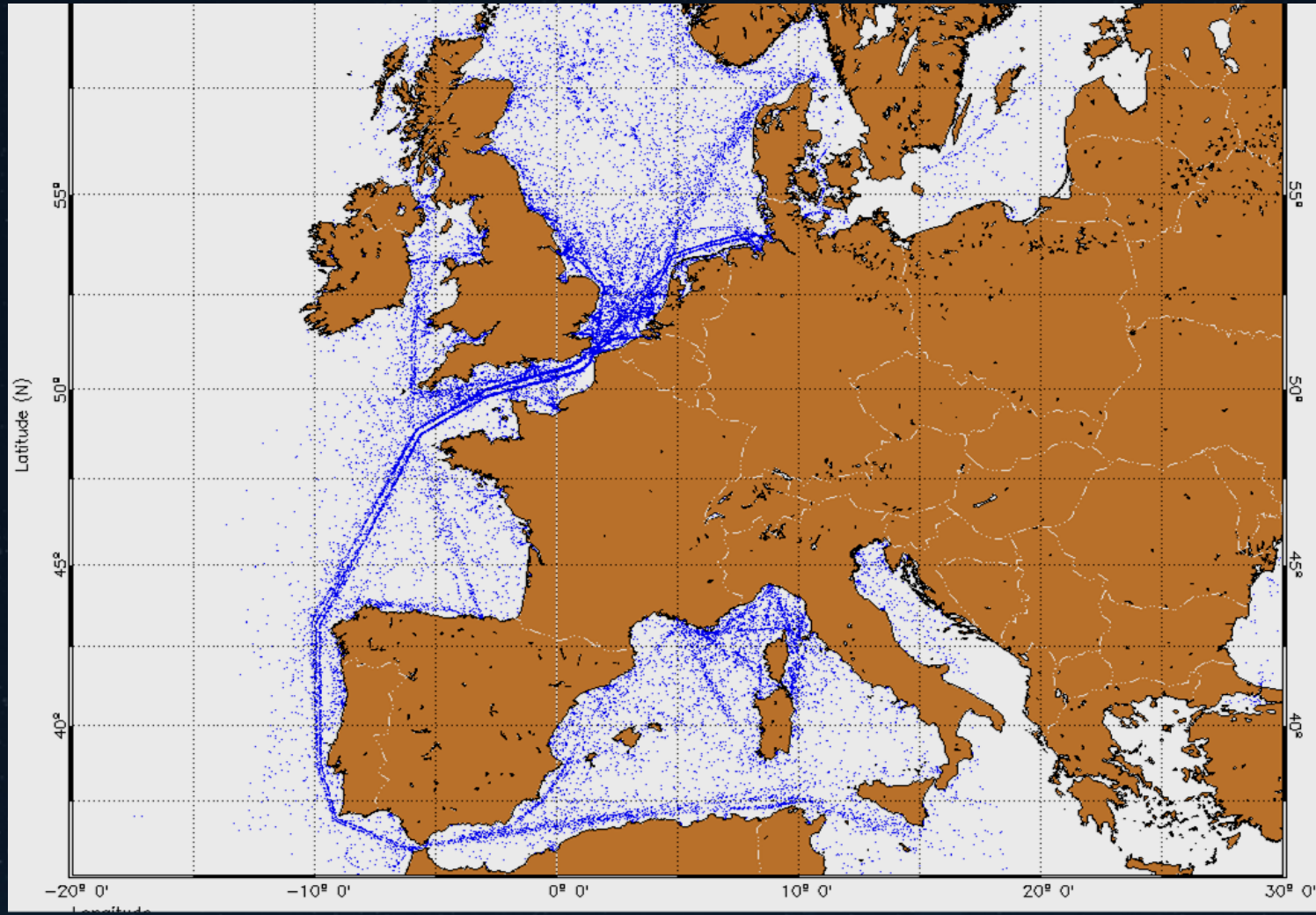
# *Protection de l'environnement et gestion des ressources naturelles*



Images: NASA, Google Earth © 2013 Airbus Services













Km 10 27 43 59 75 92 108



43°24'  
43°12'  
43°0'  
42°48'  
42°36'

43°24'  
43°12'  
43°0'  
42°48'  
42°36'

Latitude (N)

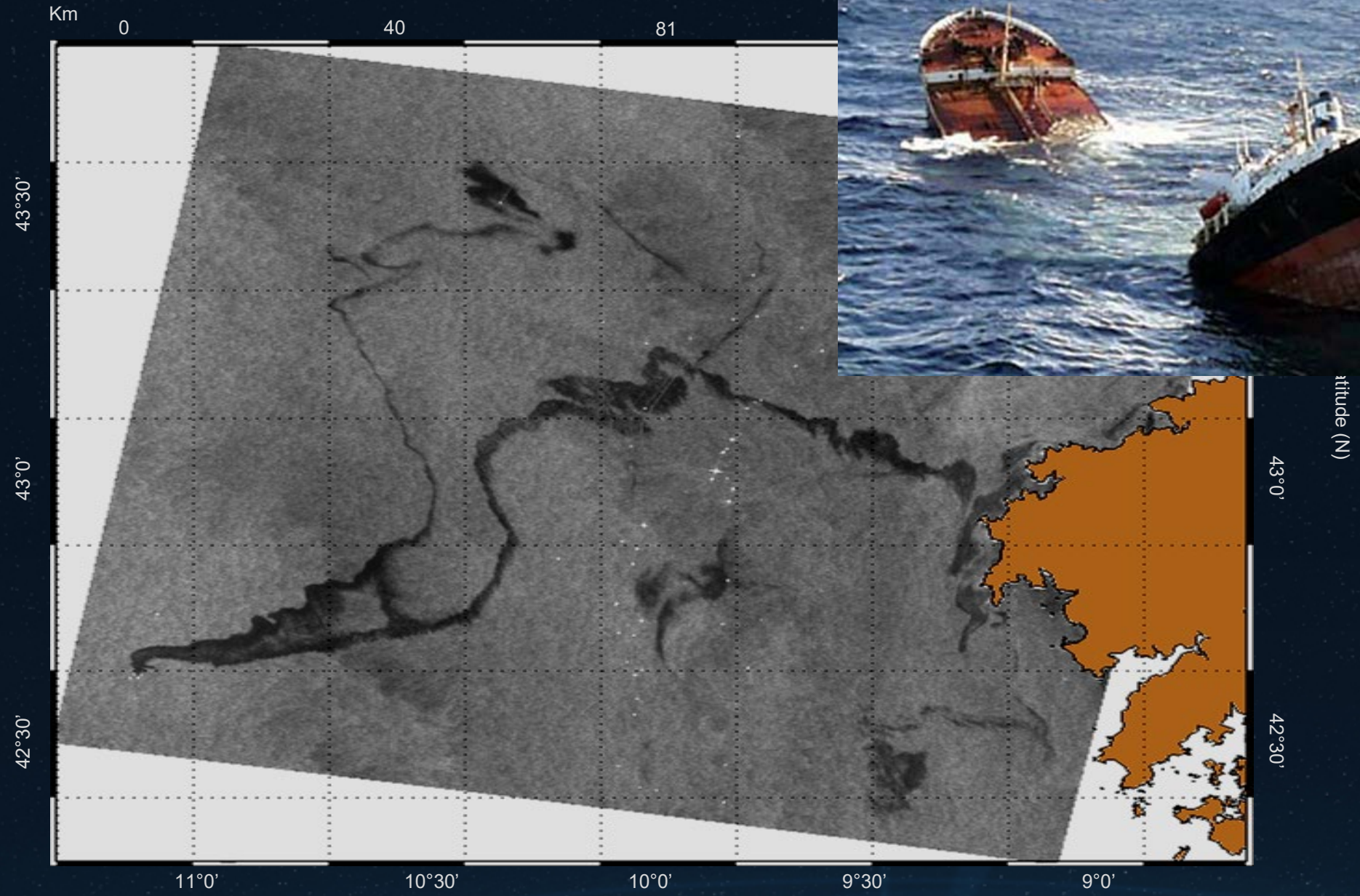


ASAR-ENVISAT

Toulon

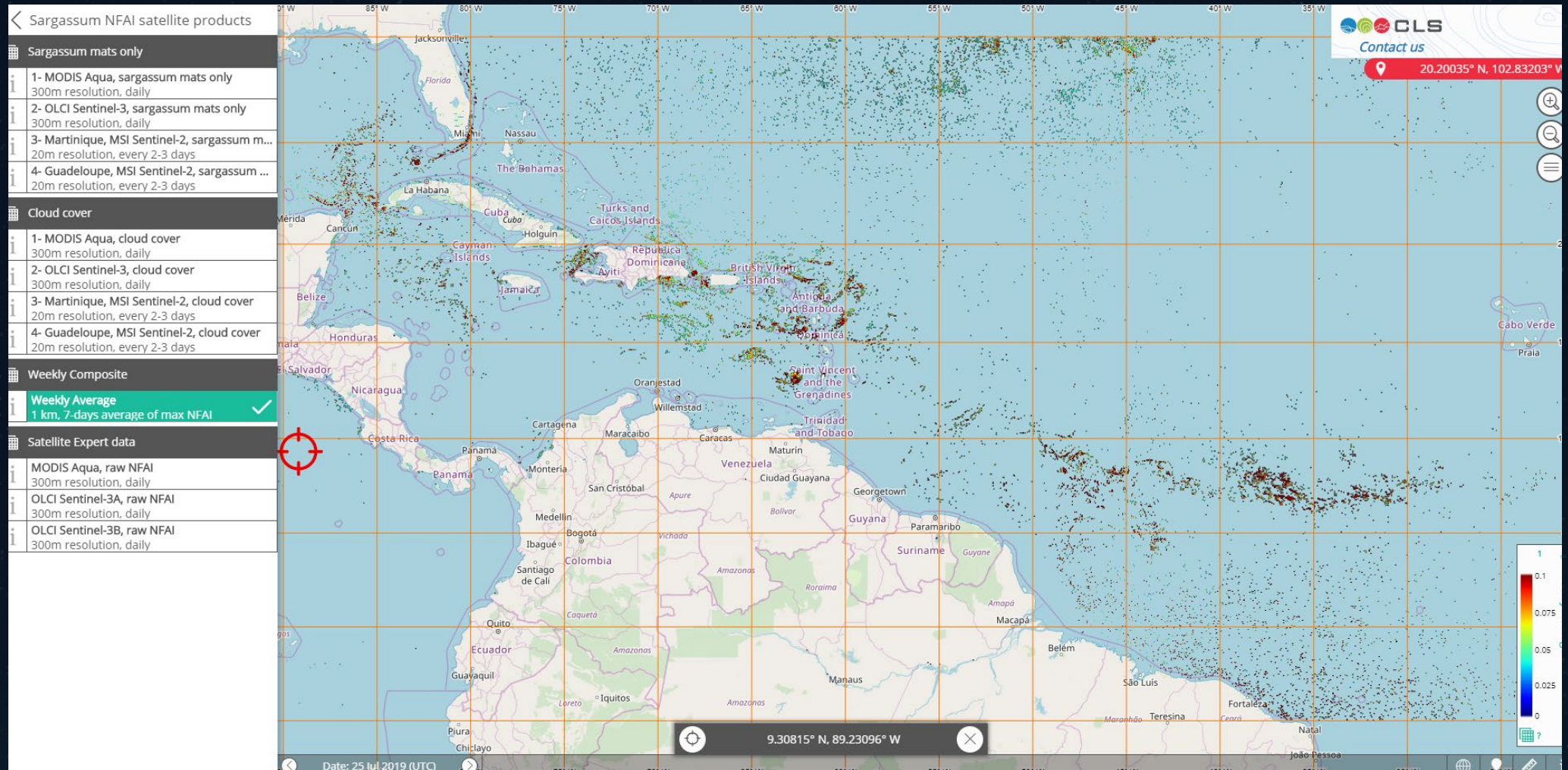
Frejus





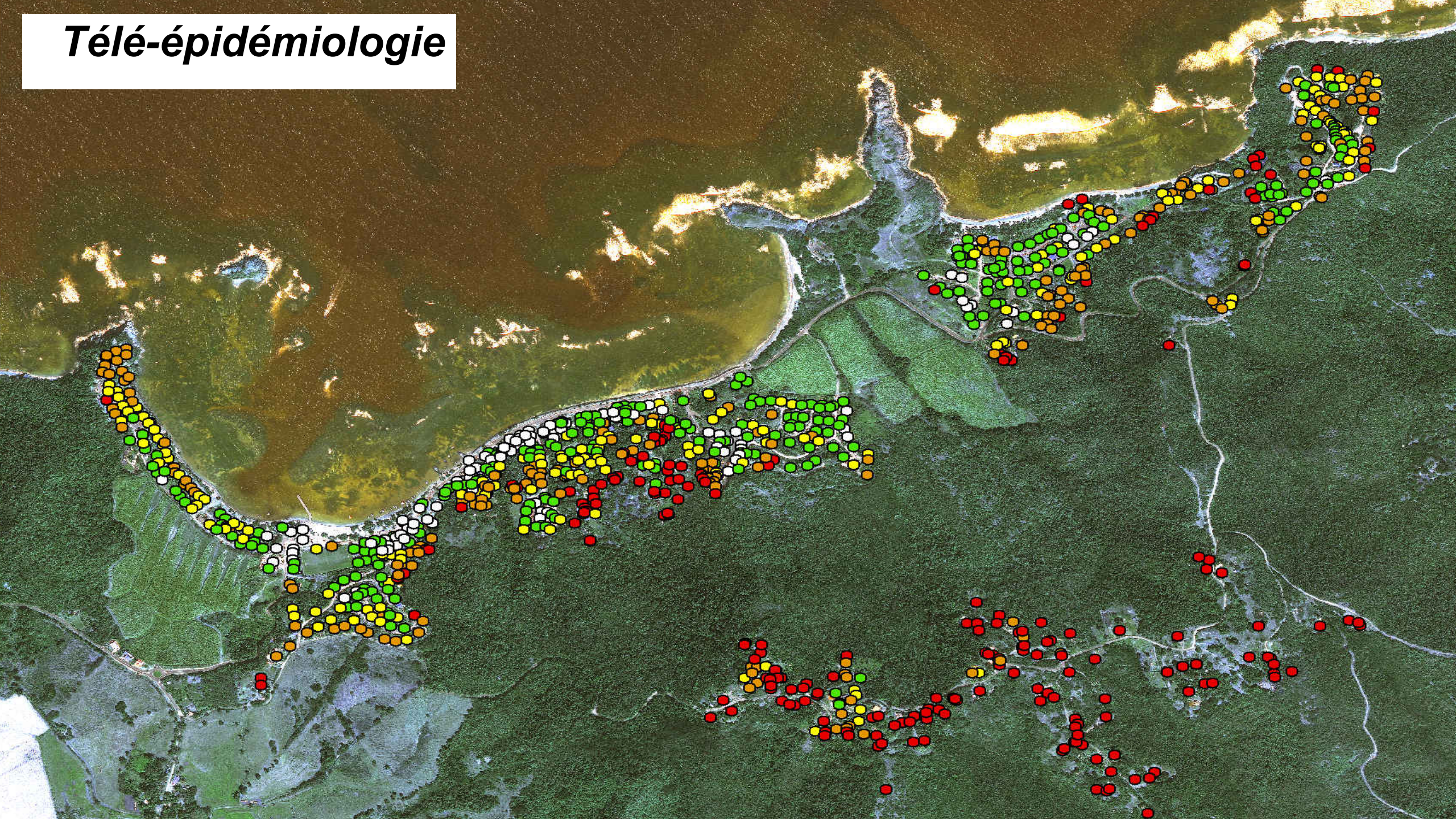


## Détection des Sargasses





# Télé-épidémiologie



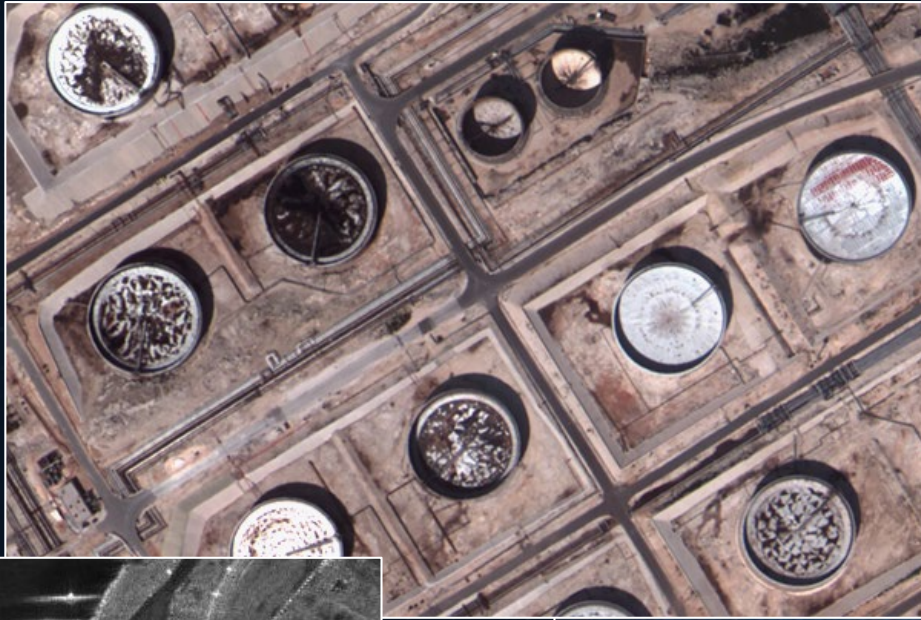


*Industrie*



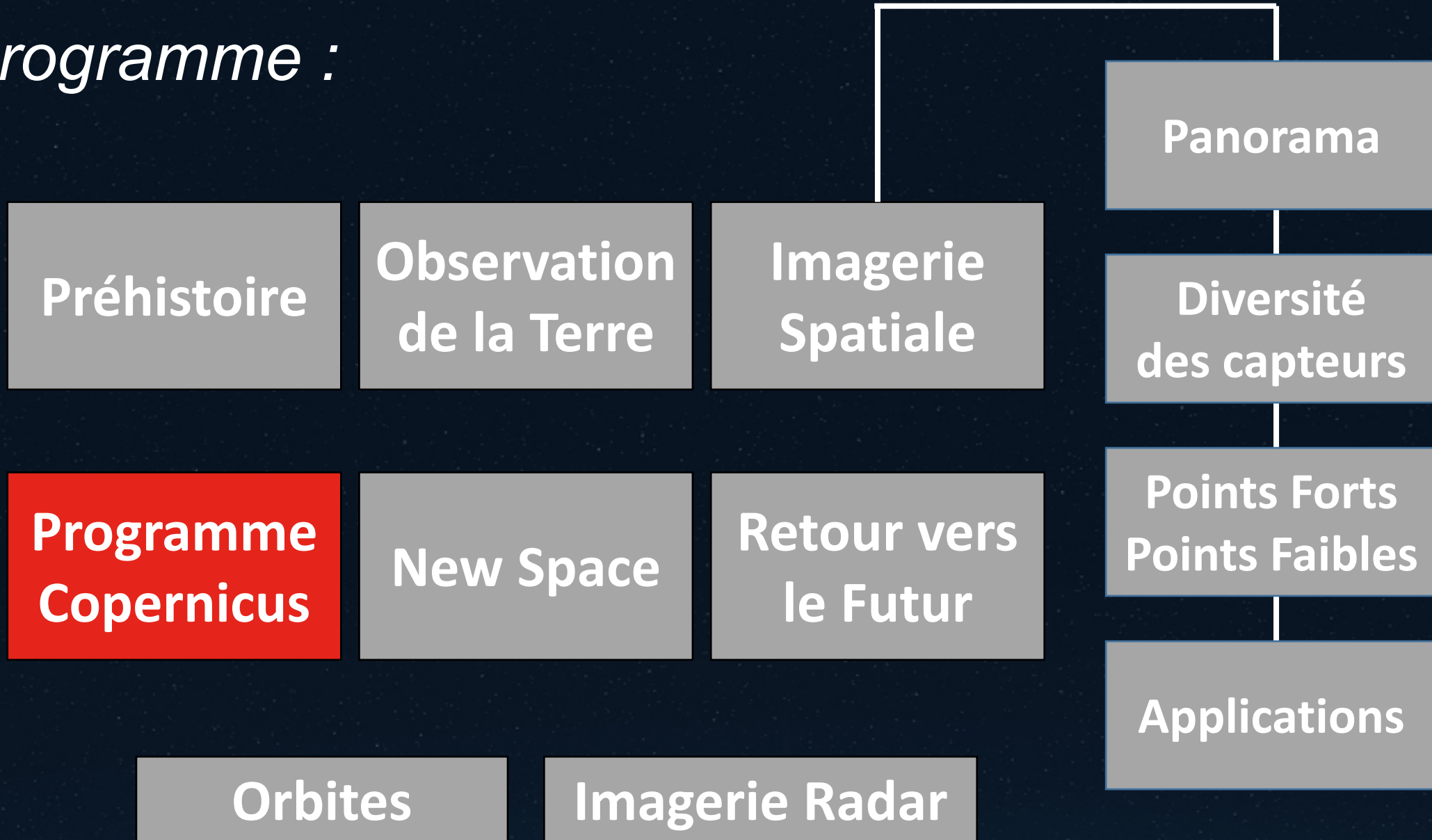


# Intelligence économique





# Programme :









# Le Programme Copernicus

Programme piloté par la Commission Européenne et développé en partenariat avec les Etats membres, l'ESA et Eumetsat.

## Objectifs:

- Fournir des services opérationnels dans les domaines de l'environnement et de la gestion des risques / sécurité
- Assurer un accès à un volume sans précédent de données fiables, libres, pérennes et gratuites
- Répondre aux besoins des politiques européennes, nationales et aux enjeux sociétaux
- Développement économique / perspectives commerciales / création d'emplois

## Budget

De 2000 à 2020 : ~ 8 Md€

De 2021 à 2027 : ~ 5 Md€



→ Un Programme opérationnel depuis 2014

6 services opérationnels s'appuyant sur des données spatiales et « in situ ».



# 6 Services Opérationnels



**Surveillance des Terres (CLMS) : EEA et JRC**



**Surveillance du milieu Marin (CMEMS) : MERCATOR-Ocean**



**Surveillance de l'Atmosphère (CAMS) : ECMWF**



**Changement Climatique (C3S) : ECMWF**



**Gestion des Crises / Urgences (EMS) : JRC**



**Service Sécurité : EMSA – FRONTEX – SATCEN**



## Gouvernance:

- **UE: responsable du Programme Copernicus**
- **ESA: délégataire de la composante spatiale et co-financeur**
  - Autorité contractuelle (décision CE)
  - Architecture et coordinateur de l'ensemble de la composante spatiale
  - Budget dédié aux phases préparatoires
- **Entités délégataires des services (ECMWF, Mercator, ...)**
- **EUSPA: chargé du « User Uptake » / Aval**



## Des satellites dédiés: les Sentinel

- ✓ Radar, Optique, Altimétrie, Spectroscopie, Atmosphère, ...
- ✓ 8 satellites en orbite et pleinement opérationnels

## Des missions spatiales contributrices et des données « in-situ »

Missions nationales, commerciales, scientifiques, européennes et non européennes, ...

## Segment sol

- ✓ 4 hubs ESA : Open access – Collaborative - International
- ✓ Segments sols collaboratifs : PEPS pour la France, ...
- ✓ 5 DIAS (Data and Information Access Service) depuis 2018:
  - Faciliter l'accès aux données et produits d'information issus des services, libres et gratuits
  - Propose des outils, bibliothèque d'algos basés sur le cloud
  - Services payants : notion de market place



## Composante spatiale : les SENTINELS

- **5 Satellites différents (mission différentes)**
  - **Sentinel-1** : imagerie Radar (terres émergées et océans)
  - **Sentinel-2** : imagerie Optique (terres émergées)
  - **Sentinel-3** : Océan
  - **Sentinel-4** : sondage atmosphère
  - **Sentinel-5** : sondage atmosphère
  - **Sentinel-6** : altimétrie (suite Jason)

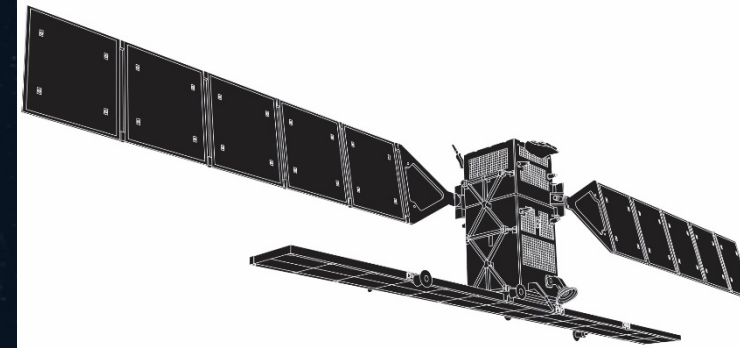
N.B. : pour chaque mission, il y a plusieurs satellites identiques. Pour l'instant, 2 satellites sont décidés → A & B

# Composante spatiale européenne





## SENTINEL 1



- **Imagerie Radar :**
  - Radar à Synthèse d'Ouverture en bande C
  - instrument « actif » : insensible à l'éclairement (nuit), aux nuages, ...
  - Différents modes : fauchée (80-400 km) ; résolution (5-20m) ; Interférométrie, ...
- **Observation des terres émergées et des océans**
- **Orbite héliosynchrone (6h-18h) : 693 km (98°)**
- **Une acquisition tous les 6 jours (2 satellites)**
- **Lancements : S-1A = avril 2014 ; S-1B = avril 2016**



# Sentinel 1



**Sentinel 1**





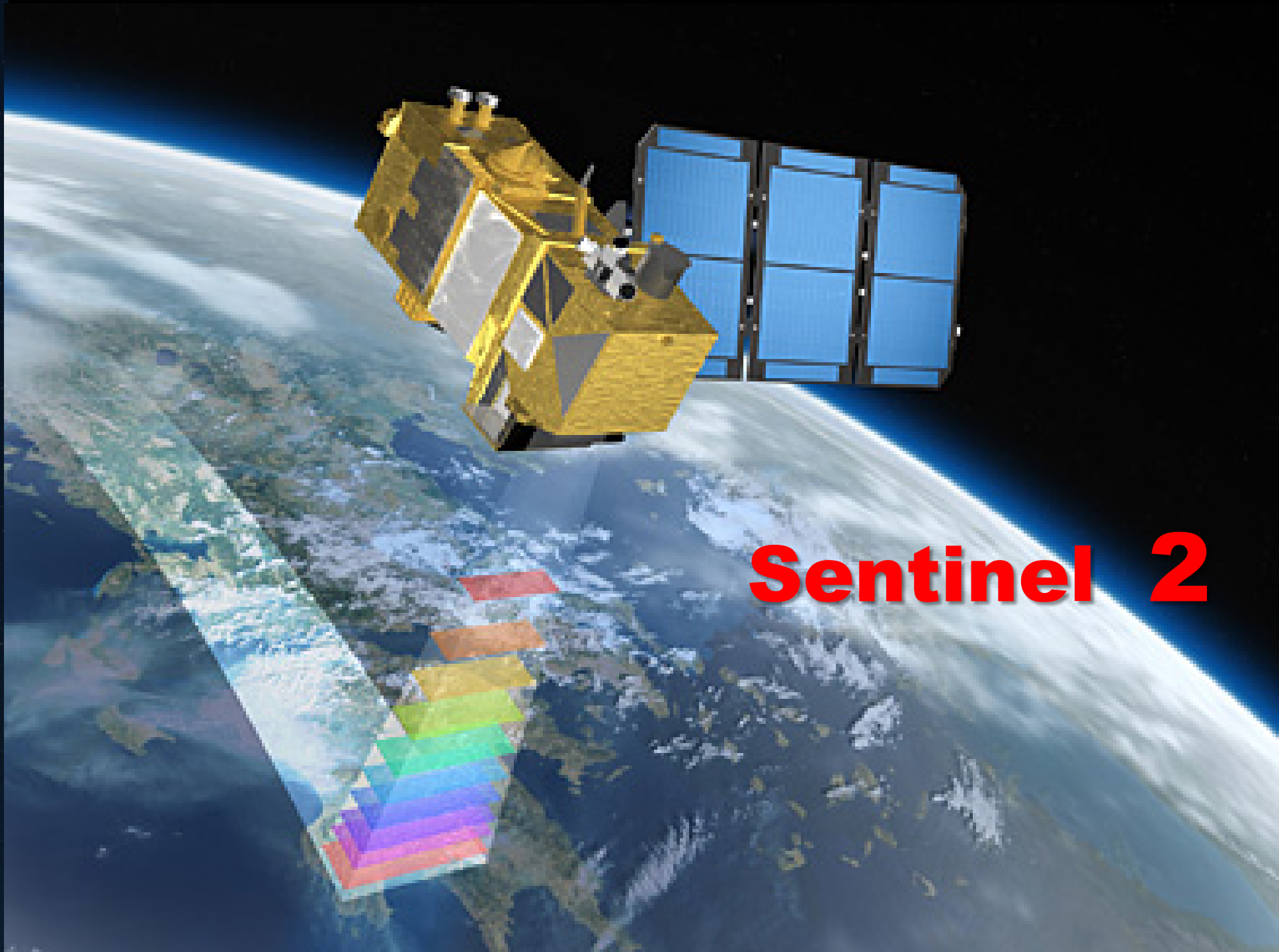
## SENTINEL 2



- **Imagerie Optique**
  - Comme Landsat ou SPOT, mais moins résolu : 10 m
  - 13 bandes spectrales, fauchée 290 km
- **Observation des terres émergées**
- **Orbite héliosynchrone (10h30-22h30) : 786 km (98,5°)**
- **Une acquisition tous les 5 jours (2 satellites) - Systématique**
- **Durée de vie > 7 ans**
- **Lancements : S-2A : juin 2015 - S-2B : mars 2017**



# Sentinel 2

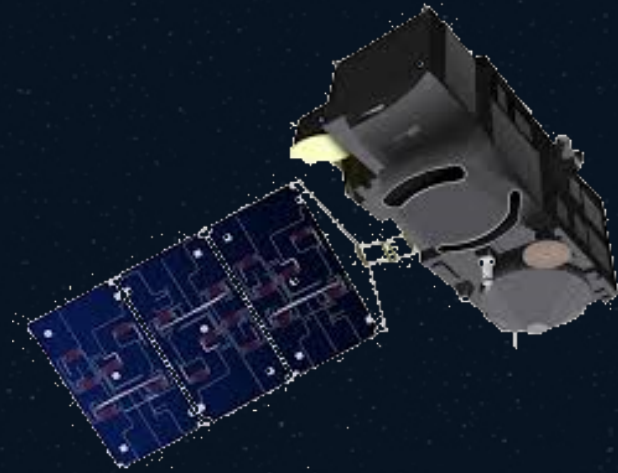








## SENTINEL 3



- **Observation des Océans (généraliste)**
- **Altimétrie / T° et couleur de l'eau**
  - Comme Topex/Poseidon, Jason (1, 2 et 3), ...
  - 4 instruments : SRAL, OLCI, SLSTR et MWR
- **Orbite héliosynchrone (10h-22h) : 814 km**
- **Lancements : S-3A = février 2016 ; S-3B = avril 2018**

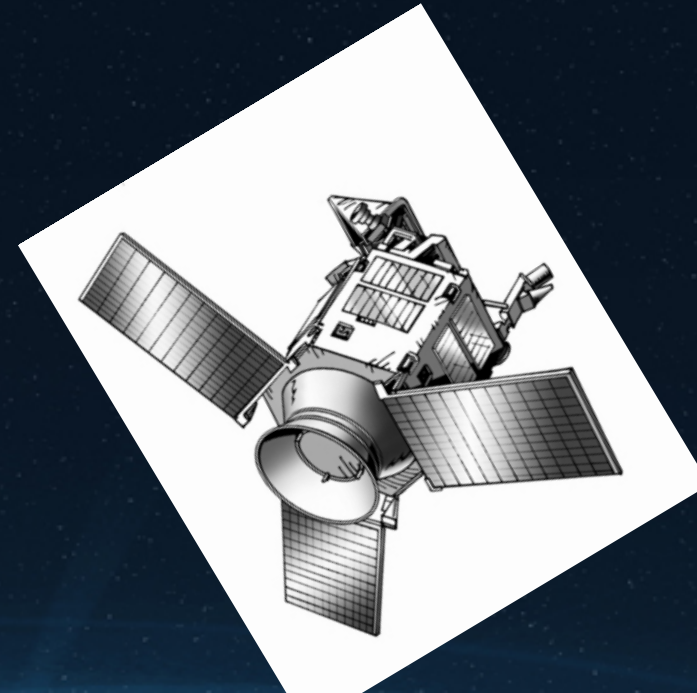


**Sentinel 3**



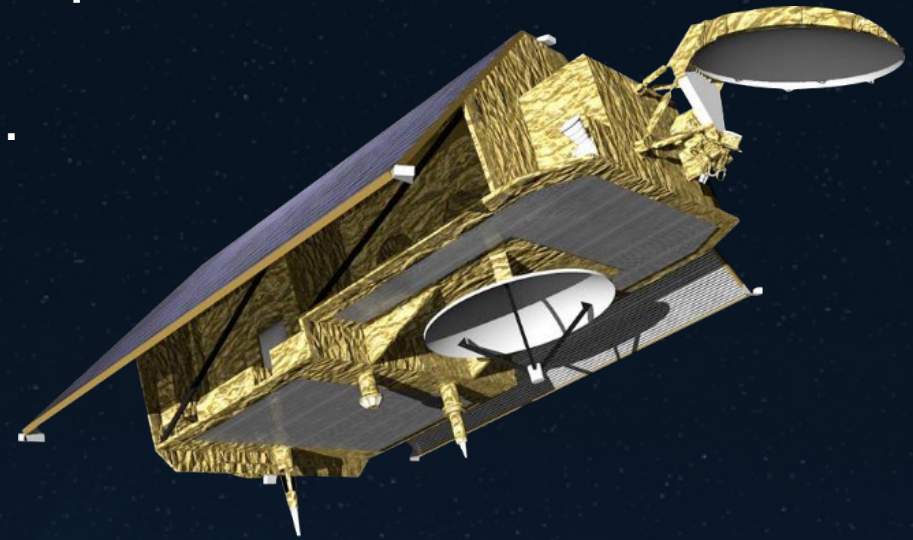
## SENTINELS 4, 5, ...

- Météorologie / Climatologie / Sondage atmosphérique
- **Instruments** embarqués sur des satellites existants : MTG, MetOp-SG...
- Mesure des aérosols
- S4 : Orbite géostationnaire
- S5 : orbite héliosynchrone
- Lancement : 2021...



## SENTINELS 6

- Jason CS (Continuity Satellite)
- altimétrie satellitaire océanographique
- ESA
- Besoins de : Eumetsat, NOAA, ...
- Lancements : 2021 et 2026





## La continuité améliorée des Sentinel est la priorité des utilisateurs

### → “Sentinel Nouvelle Génération”

#### S1 NG

Amélioration de la résolution spatiale / revisite / full polarization : détection des navires, détermination des courants océaniques, amélioration des classifications, glaces de mer

#### S2 NG/ S3 NG

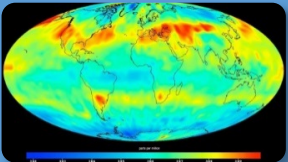
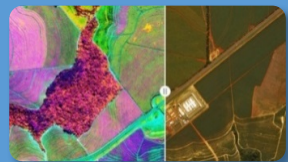
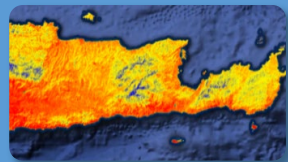
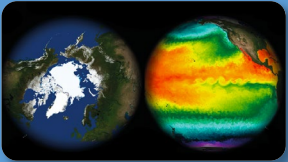

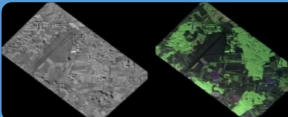
Améliorer les applications land et ocean (classification, stress de la végétation, prolifération d’algues, ...) → meilleure résolution spatiale et temporelle, plus de bandes spectrales, étendue de la fauchée, ...

#### S3 NG topo/ S6 NG

Combinaison altimétrie nadir/ large fauchée (S3 NG)

Amélioration de l’échantillonnage spatio-temporal (réduction de l’erreur de variabilité), de la topographie des oceans, hydrologie, ...

# COPERNICUS 2.0 – Sentinels Expansion

Missions	Objectifs	Instruments	Industrie	Lancement	
<b>CO2 M</b> <b>445 M€</b> 	Mesures des émissions anthropiques de CO2	Spectromètre IR – NIR (0,7 ppm)	Prime: OHB All Resp. inst.: TAS Fr Signé le 28/07/2020	Fin 2025	
<b>CHIME</b> <b>455 M€</b> 	Gestion agriculture, biodiversité, caractérisation des sols, mat. prem.	Imageur hyperspectral	Prime: TAS Fr Resp. instr.: OHB All Signé le 13/11/2020	Q3 2028	
<b>LSTM</b> <b>380 M€</b> 	Agriculture, évapotranspiration, îlots de chaleur	IR thermique haute résolution spatio-temporelle	Prime: ADS Sp Resp. instr.: ADS Fr Signé le 13/11/2020	Q3 2028	
<b>CIMR</b> <b>495 M€</b> 	Concentration des glaces de mer, salinité, T° de surface: Arctique	Radiomètre hyperfréquence à large bande à balayage conique	Prime: TAS It Resp. instr.: OHB It Signé le 13/11/2020	Q4 2028	
<b>CRISTAL</b> <b>300 M€</b> 	Epaisseur des glaces de mer et neige	Altimètre radar multifréquence/ Radiomètre micro-onde	Prime: ADS All Resp.instr.: TAS Fr Signé le 21/09/2020	Q1 2028	
<b>ROSE-L</b> <b>482 M€</b> 	Gestion forêts, humidité des sols, Suivi des calottes glacières	Radar bande L	Prime: TAS It Resp. Instr.: ADS UK -All	Q3 2028	



# Les DIAS

## Data and Information Access Services

- Accès aux données des satellites « Sentinel » : 12 téraoctets / jour (10 pétaoctets / an)
- Accès aux produits issus des 6 Services Opérationnels
- Accès aux données issues des missions contributrices.
- Données gratuites, fiables, pérennes, complètes et ouvertes ...
- Un accès à du stockage, de la puissance de calcul et aux outils de traitement (payants)
- L'espoir est que cela devienne des « market place »
- Les 5 DIAS sont :
  - **CREODIAS** : Creotech Instruments (Pologne)
  - **Mundi** : Atos (France)
  - **ONDA** : Serco (Italie)
  - **Sobloo** : Airbus & Orange Business Services (France)
  - **WEkEO** : Eumetsat (EU)

# Copernicus Relay et Copernicus Academy

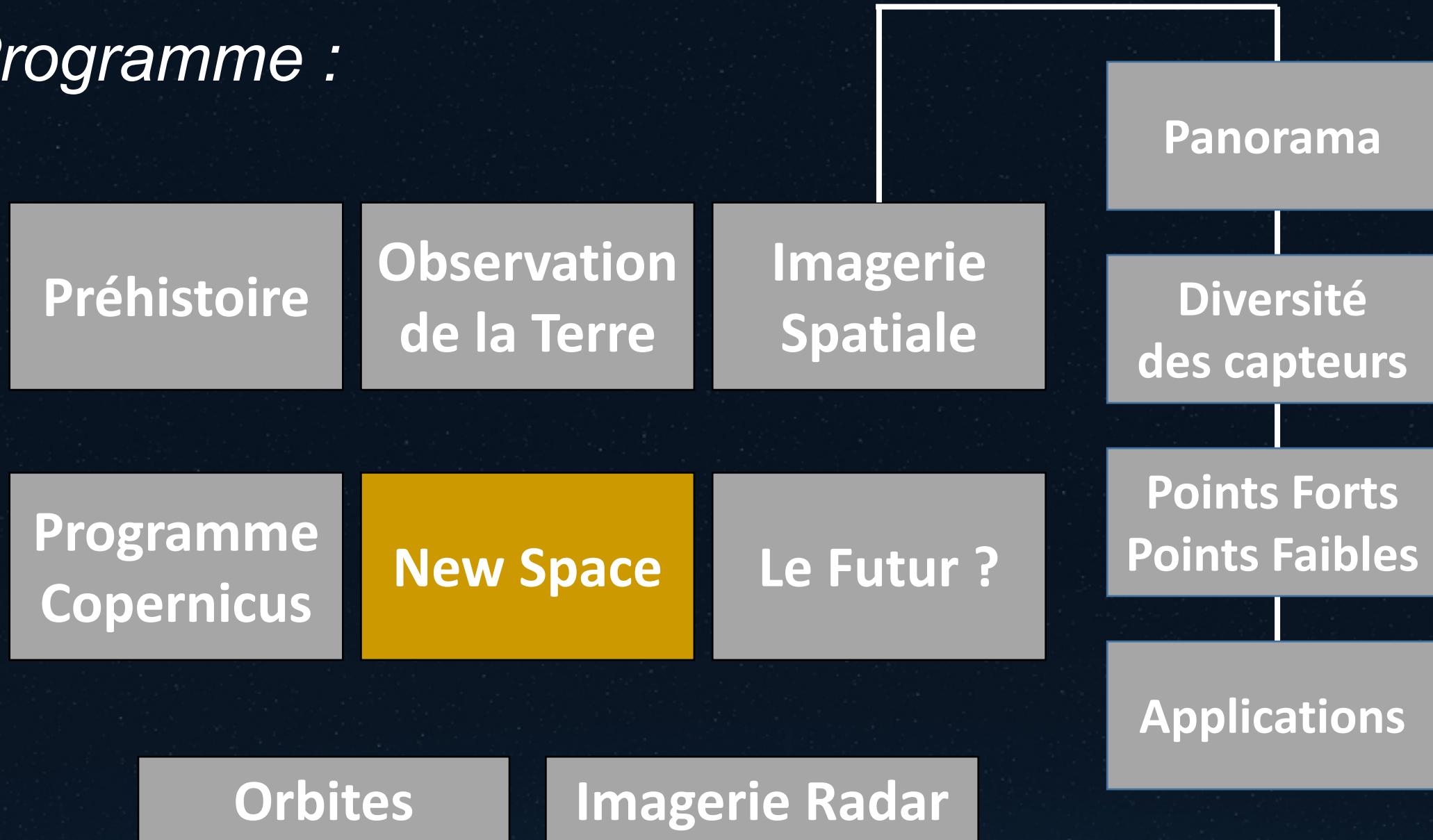
- Constat : le Programme Copernicus est peu connu et utilisé
- Besoin de « relais locaux », au plus près des acteurs et des territoires
- Pour faire :
  - de la Promotion, dans tous les domaines thématiques
  - des Formations ciblées
  - de la sensibilisation des utilisateurs : publics et privés
  - des développement d'applications opérationnelles, services, ...
- Labellisation par la CE d'entités au sein de chaque pays
- Un réseau "académique" essentiellement pour la formation : **Copernicus Academy**
- Un réseau "écosystèmes" pour les autres activités : **Copernicus Relay**
- Juste un "label". Pas de financement (sauf Caroline HERSCHEL)
- Support du "Copernicus Support Office"



## « Copernicus Relays » & « Copernicus Academy » en France

- ❖ CNRS
- ❖ ENSG
- ❖ CEREMA
- ❖ Agro-ParisTech
- ❖ Mines-Paris Tech
- ❖ AGRO-Bordeaux
- ❖ Université Côte d'Azur
- ❖ ENSEIRB
- ❖ Univ. Toulouse
- ❖ IDGéo
- ❖ VisioTerra
- ❖ Murmuration
- ❖ SERTIT
- ❖ Booster Seine Espace
- ❖ Booster MoreSpace
- ❖ Booster Morpho
- ❖ Booster NOVA
- ❖ Booster Space4Earth
- ❖ AeroCampus Aquitaine
- ❖ Eurisy
- ❖ Cité De L'espace
- ❖ SupAéro
- ❖ ASTech'
- ❖ GIS BRETEL
- ❖ GDI
- ❖ Aeospace Valley
- ❖ Safe
- ❖ ...

# Programme :





- **Démocratisation du Spatial**

- Miniaturisation des technologies : micro ou nano-satellites (CSU)
- Réduction des coûts (satellites, lancements, ...)
- Puissance de calcul pour analyser les images (cloud, IA, ...)
- Arrivée des constellations en OT : Planet Labs, UnseenLabs, Iceye, Capella, ...

- **Arrivées d'acteurs privés**

- Lanceurs : Space-X, Amazon (Blue Origin), ...
- Nanosats : ThrustMe, Exotrail, Comat, Hemeria, Open Cosmos, ...
- IoT : SigFox, Kineis, ...
- Des startups lèvent des fonds pour développer des infrastructures spatiales
- Brokers pour infrastructures spatiales : Loft Orbital
- Analytics / Intelligence économique : Orbital Insight, Kayrros, QuantCube, ...



Capella Space



Open Cosmos

ICEYE



unseenlabs

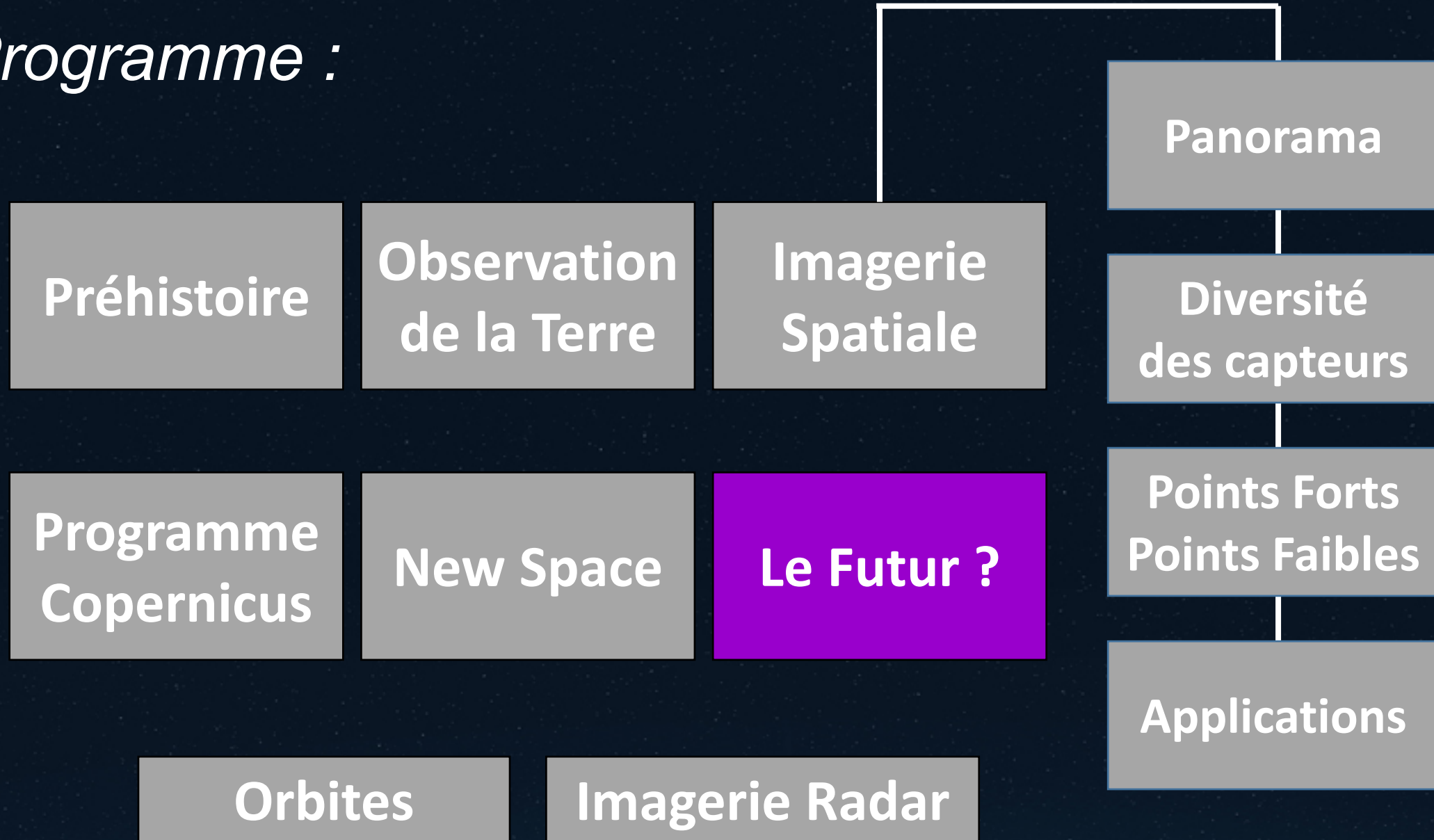
— THE BRIGHT SIGHT



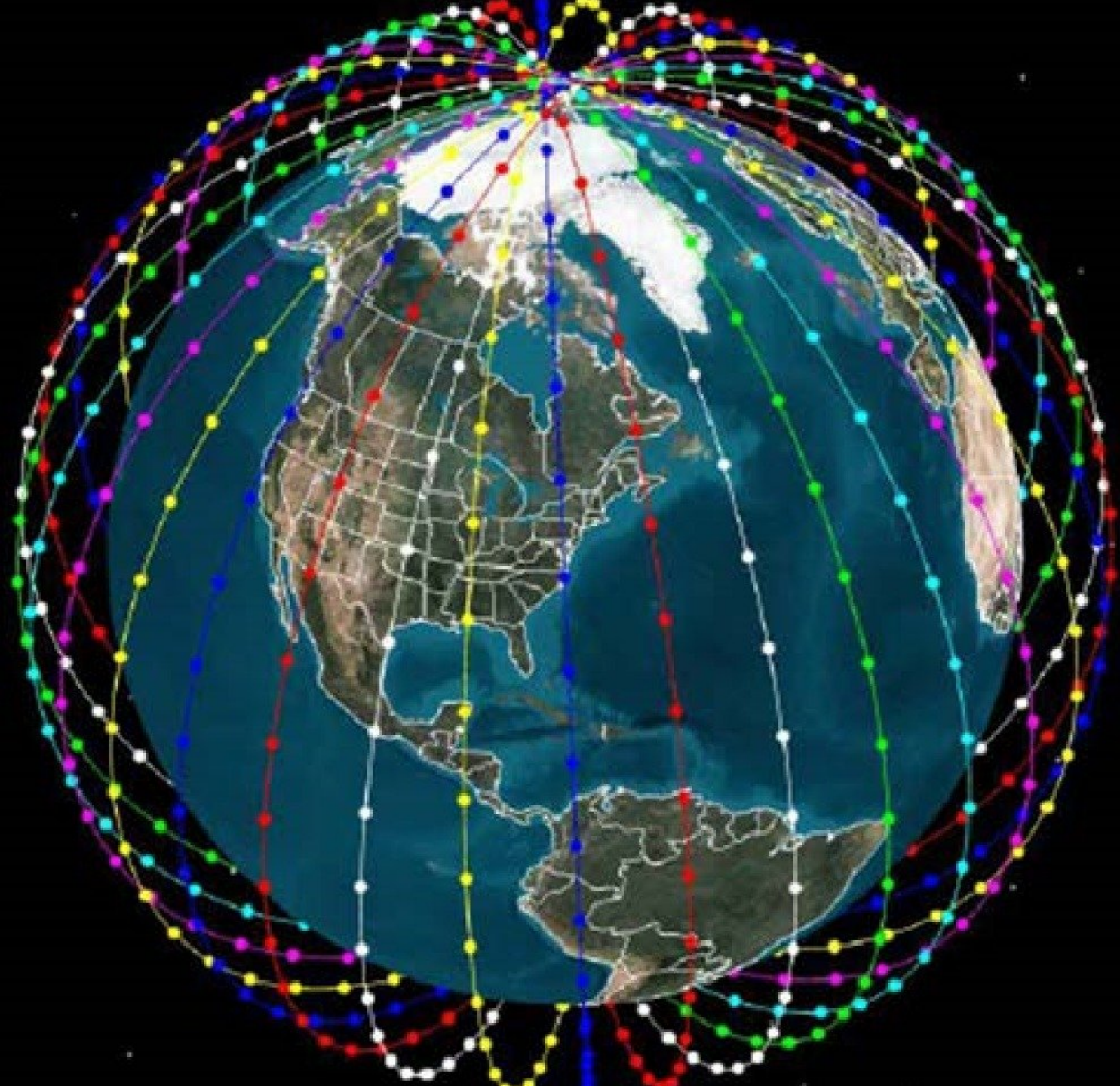




# Programme :













Google



Qwant®



- 3 grandes tendances :
  - Arrivée de **constellations** :
    - Capteurs très variés : optique, radar, multispectral, IoT, écoute, ...
    - Observation permanente (Big Brother...)
  - Les Satellites devront composer avec les **Drones** et **HAPS**
  - Les **moteurs de recherche** pourrons aller chercher l'information directement dans les images

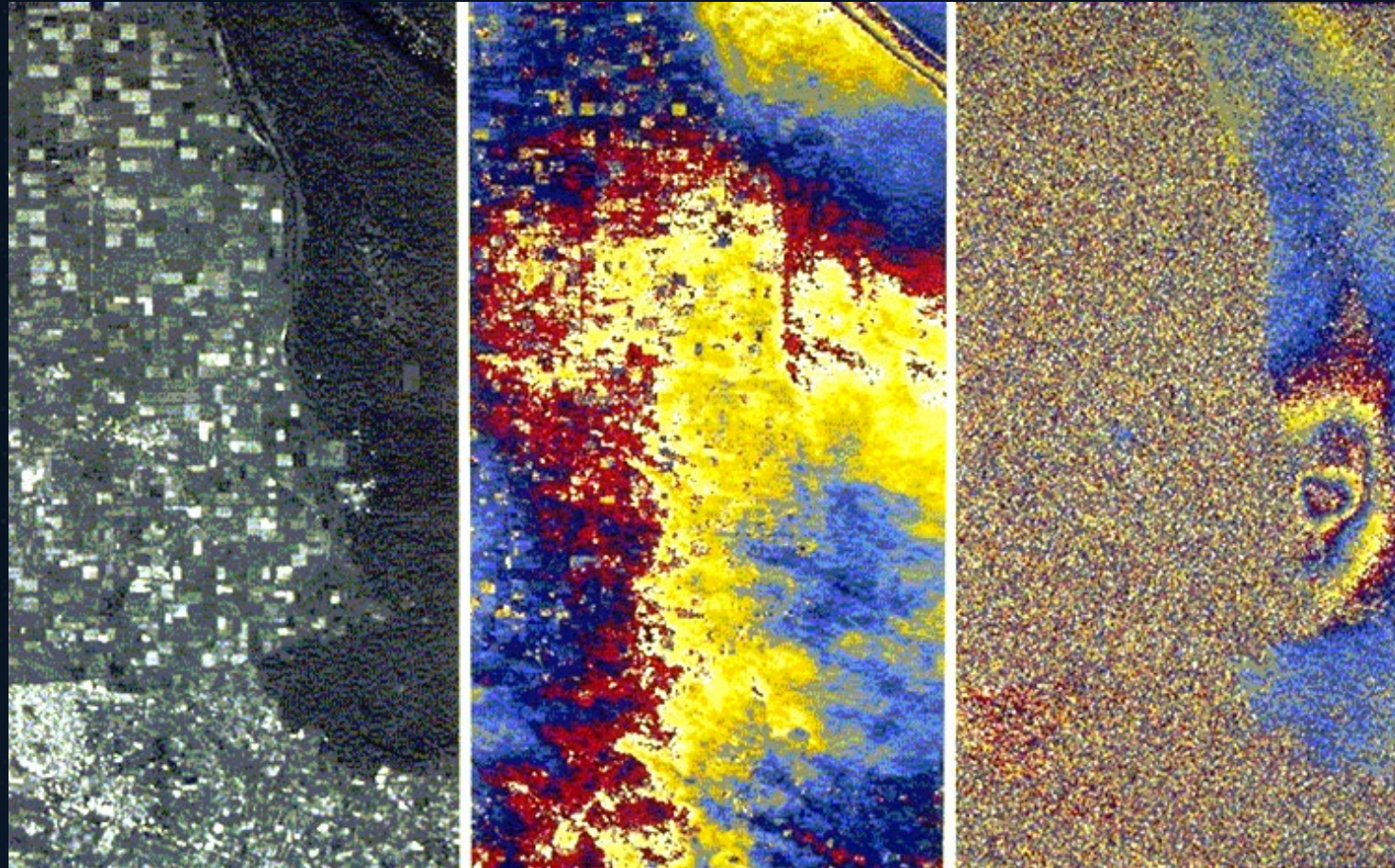
**Merci pour votre attention !**

*Place aux questions...*



# Interférométrie

**Mesa**  
-  
**New Mexico**



Amplitude

3 jours

1.5 an