



➤ L'offre en imagerie satellitaire

BIOSEFAIR, Atelier Télédétection - 15 novembre 2023
Kenji Ose – UMR TETIS, réseau télédétection INRAE



➤ Plan de la présentation

1. Bref historique
2. Focus sur des initiatives (inter)nationales
3. Développement des services
4. Quelles images pour quels besoins ?





➤ 1. Bref historique

➤ Photographier la Terre : 150 ans d'histoire

Développement de la photographie aérienne

1839

Invention de la
photographie



1860

1ère photographie
aérienne préservée

*James Wallace
Black, E-U*



"Boston, as the Eagle and the Wild Goose See It."

1858

1ère photographie
aérienne connue

*G-F Tournachon,
dit Nadar, France*

INRAE

Titre de la présentation

Date / information / nom de l'auteur

➤ Photographier la Terre : 150 ans d'histoire

Développement de la photographie aérienne

1914-1918

1er système de caméra
embarquée sur des
avions de
reconnaissance



1940-1945

Invention du RADAR et
utilisation de
l'infrarouge



1ères utilisations à des
fins civiles



1951

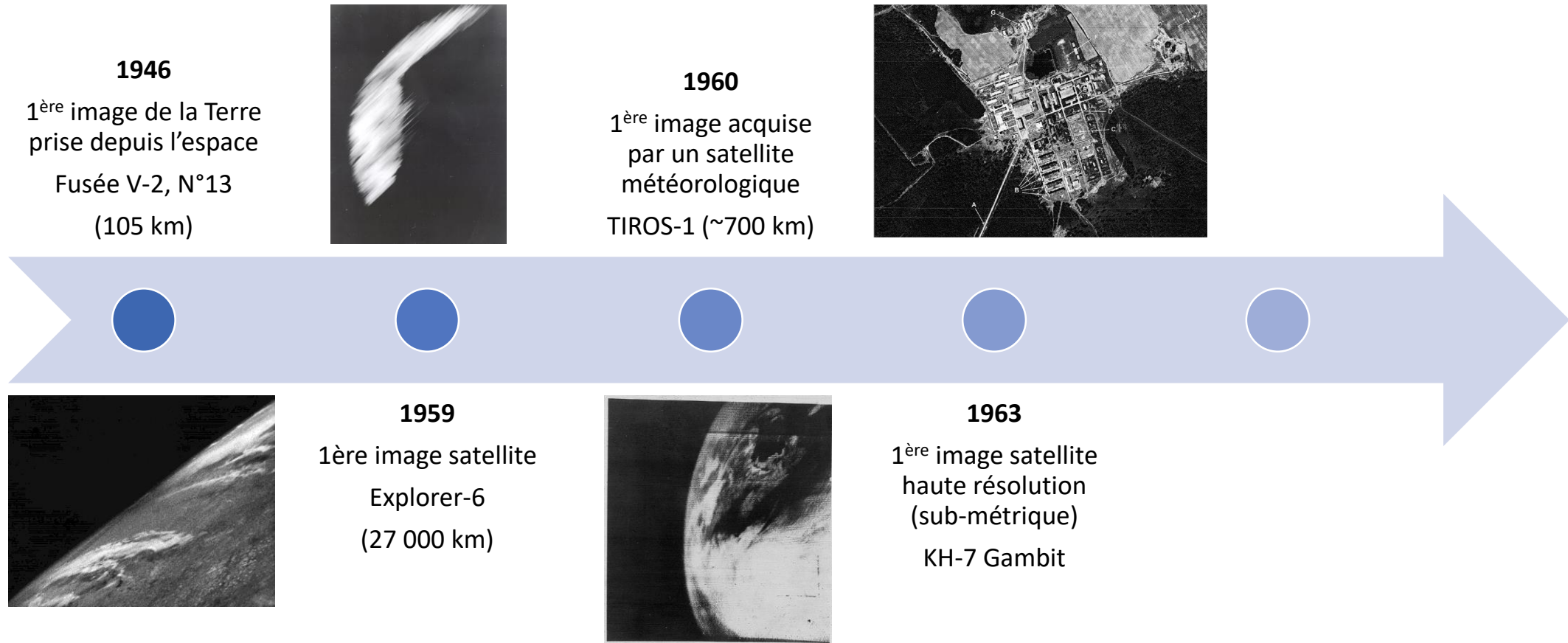
Invention du SAR
Carl A. Wiley, E-U

1957

1ère acquisition SAR
aéroportée

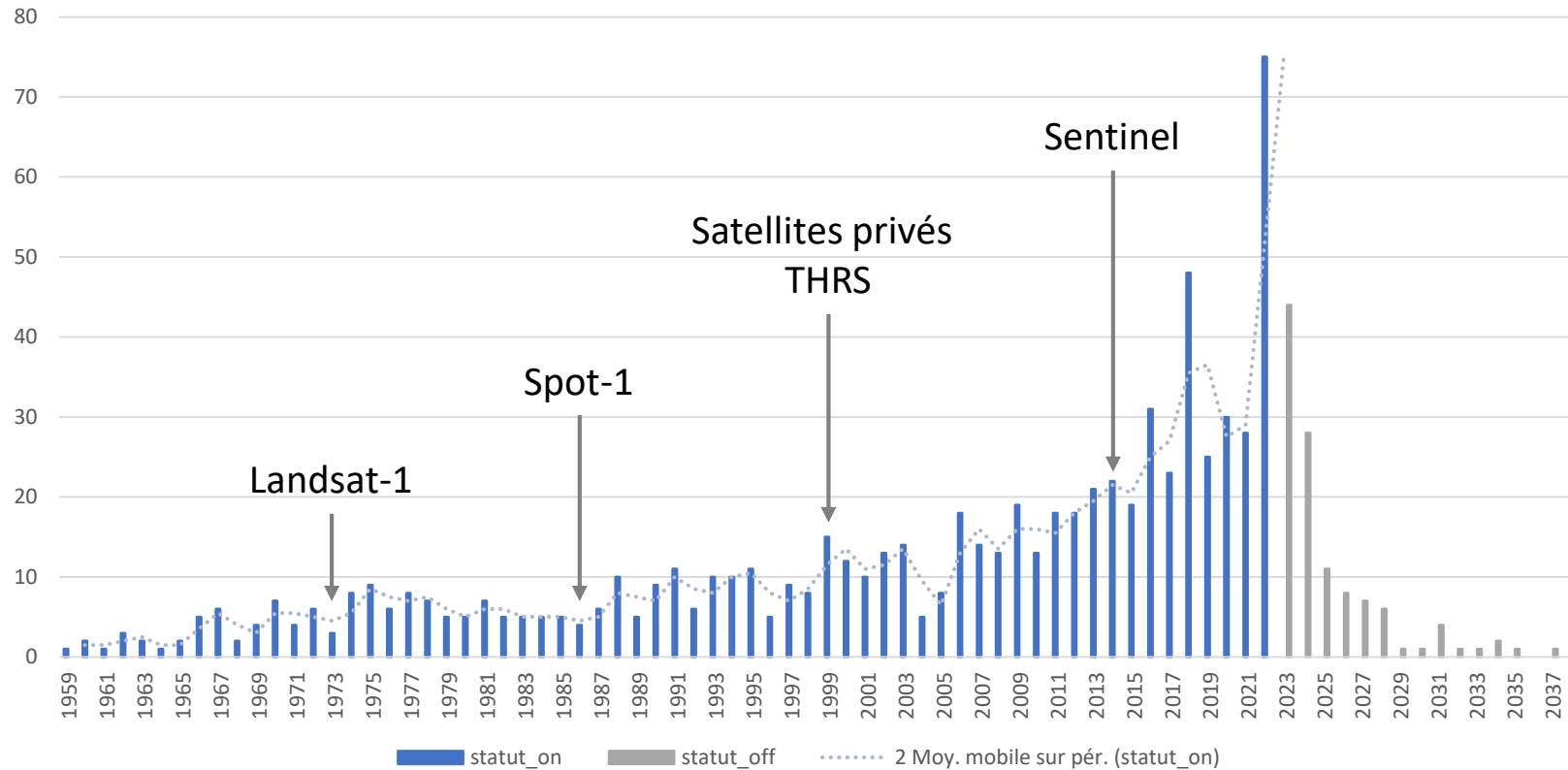
➤ Photographier la Terre : 150 ans d'histoire

Conquête spatiale : développement de satellites militaires et météorologiques



➤ Photographier la Terre : 150 ans d'histoire

Evolution de l'offre en imagerie satellitaire dans le domaine civil



Lancements (nbre/an) de satellites météorologiques et d'observation de la Terre dans le domaine civil
K. Ose (2023) - Source : WMO - OSCAR



Photo Credits: Before UCS After UCS

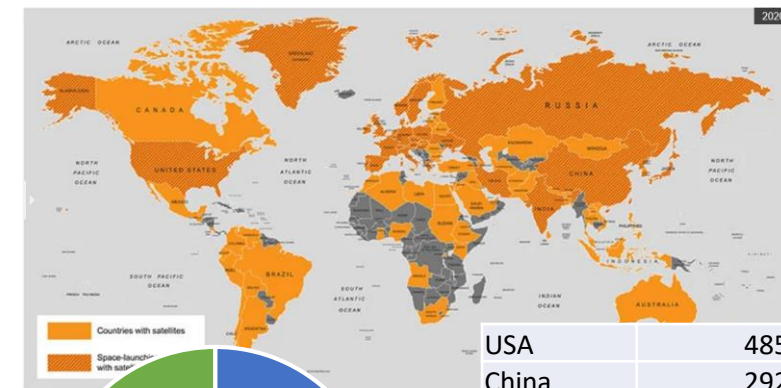
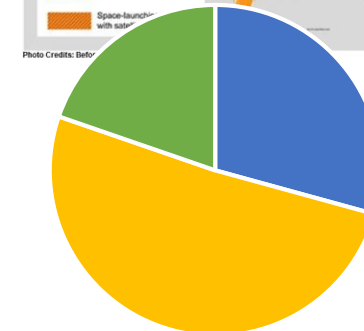


Photo Credits: Before



■ Civil/Government ■ Commercial ■ Military

USA	485
China	292
Russia	36
Japan	35
Argentina	27
India	25
ESA	19
Finland	16
France	15
Luxembourg	12

Satellite EO en opération (2023) : répartition par secteur, + Top 10
K. Ose (2023) - Source : UCS Satellite Database



INRAE

Titre de la présentation

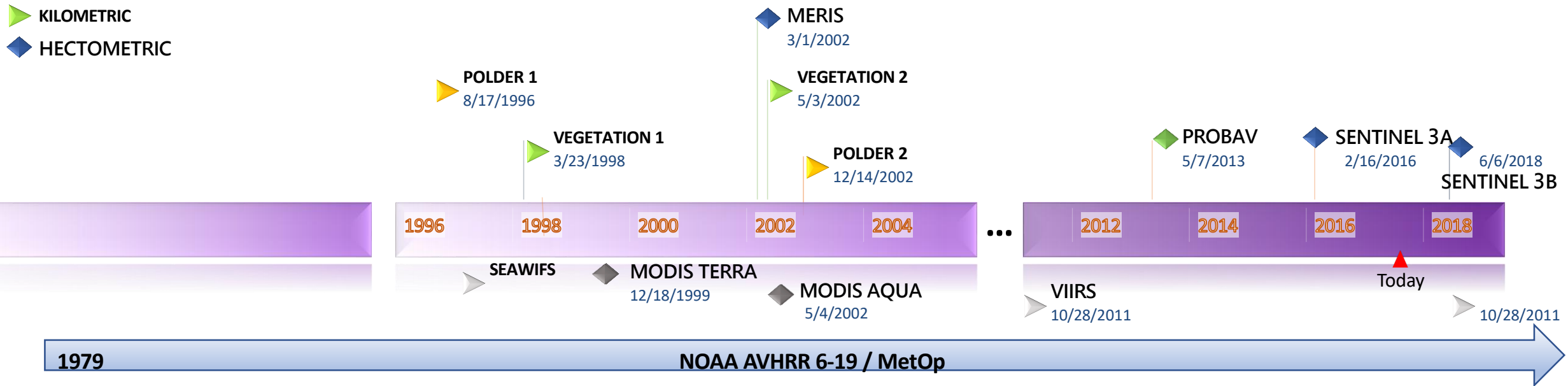
Date / information / nom de l'auteur

➤ Photographier la Terre : 150 ans d'histoire

Evolution de l'offre en imagerie satellitaire dans le domaine civil

Développement concomitant des capteurs à moyenne et haute résolution spatiale

▶ KILOMETRIC
◆ HECTOMETRIC



Source : M. Weiss, INRAE



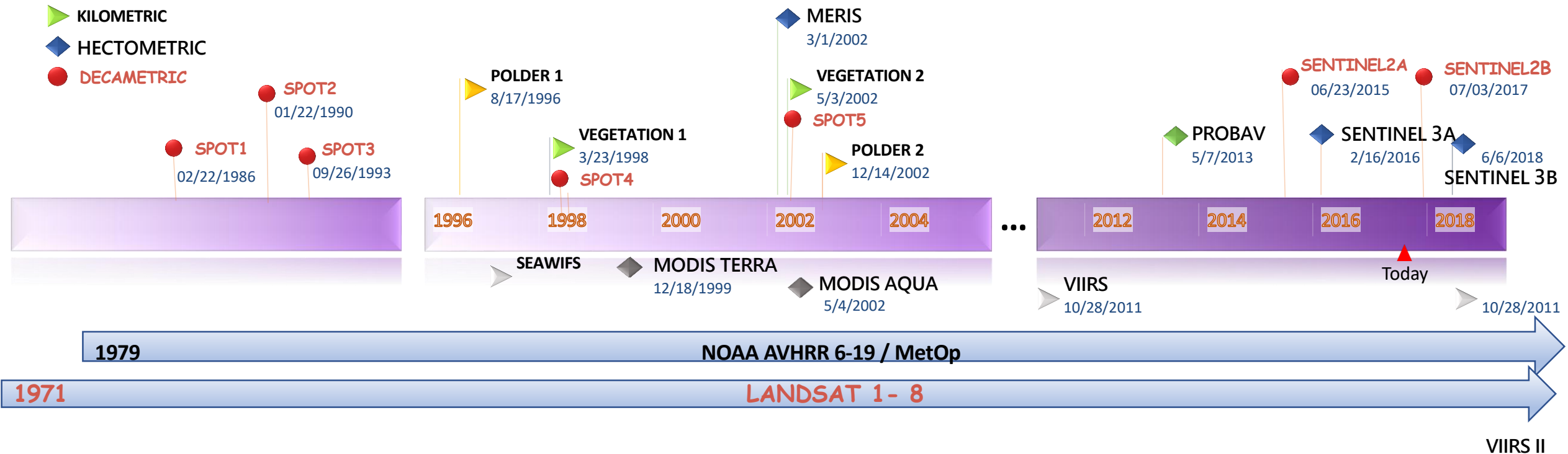
INRAE

Titre de la présentation
Date / information / nom de l'auteur

➤ Photographier la Terre : 150 ans d'histoire

Evolution de l'offre en imagerie satellitaire dans le domaine civil

Développement concomitant des capteurs à moyenne et haute résolution spatiale



Source : M. Weiss, INRAE

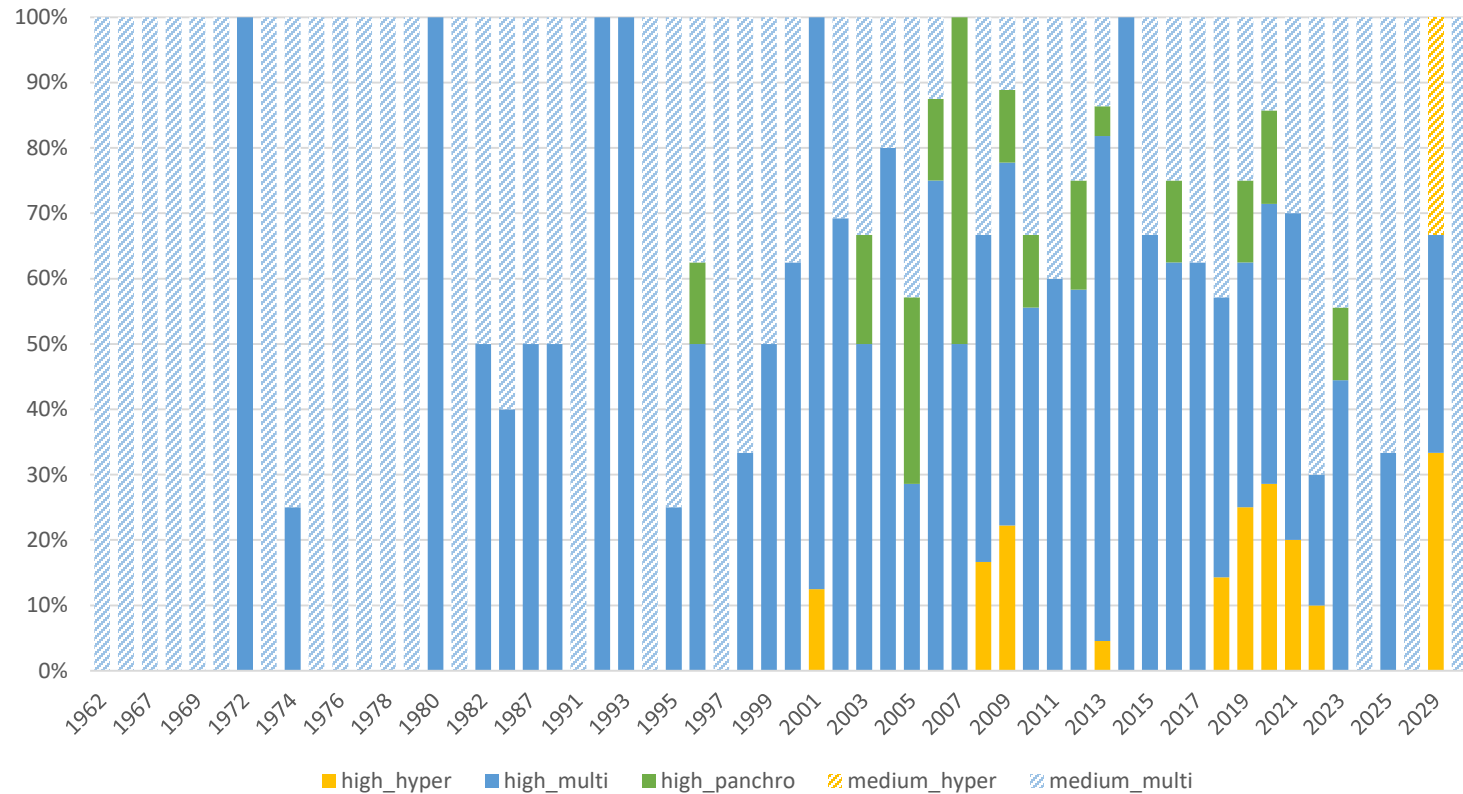


INRAE

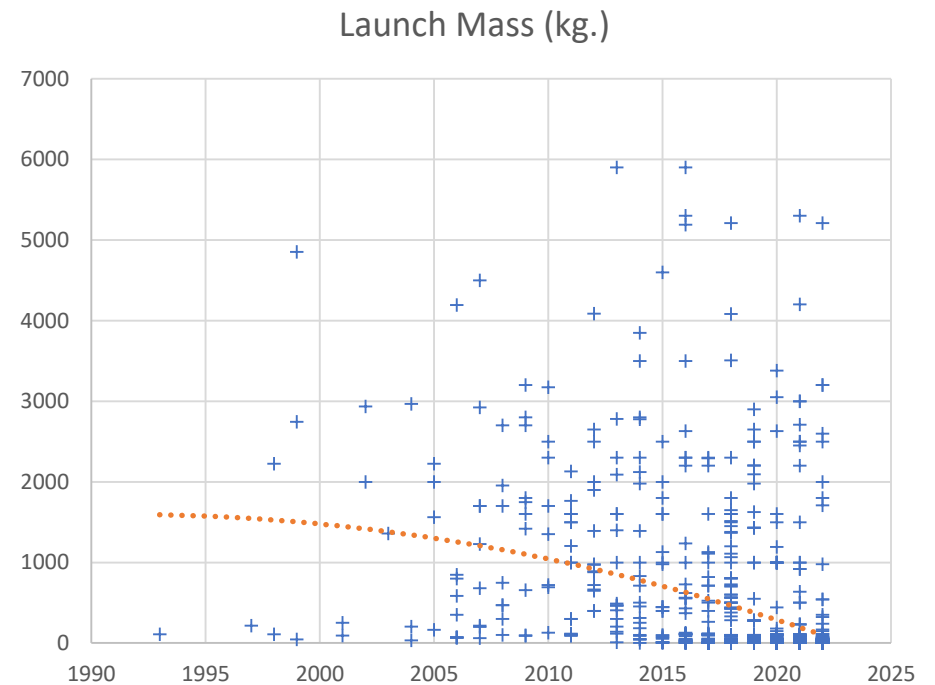
Titre de la présentation
Date / information / nom de l'auteur

➤ Photographier la Terre : 150 ans d'histoire

Evolution de l'offre en imagerie satellitaire dans le domaine civil



Instruments optiques embarqués
K. Ose (2023) - Source : WMO - OSCAR

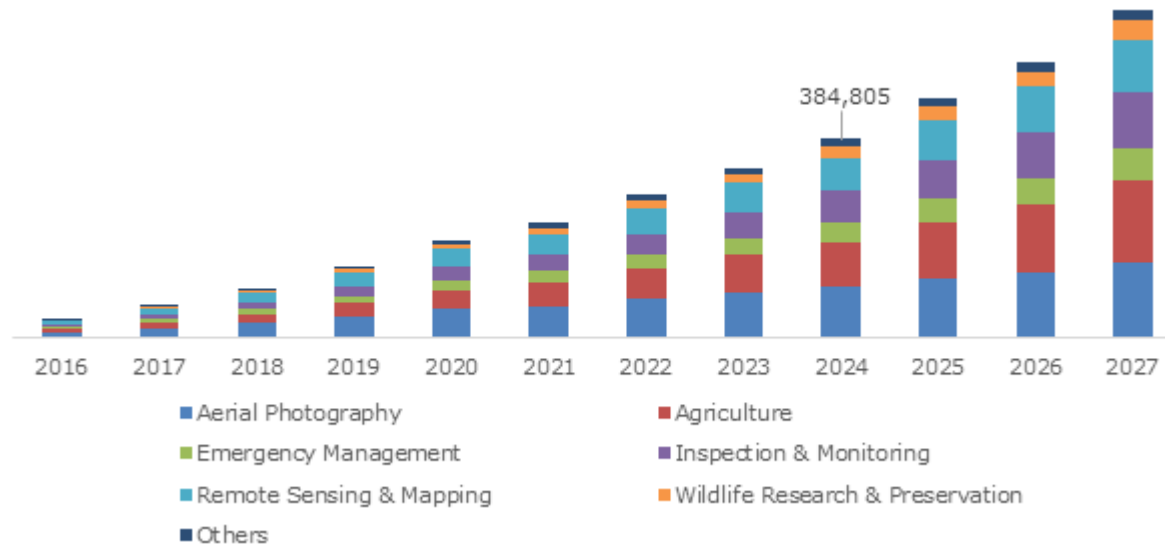


Masse au lancement pour les satellites civils d'observation de la Terre
K. Ose (2023) - Source : UCS Satellite Database



➤ Photographier la Terre : 150 ans d'histoire

Et plus récemment des drones (UAV)...



Global commercial drone market size, by application, 2016-2027 (Units)
Source: www.gminsights.com



Capteurs

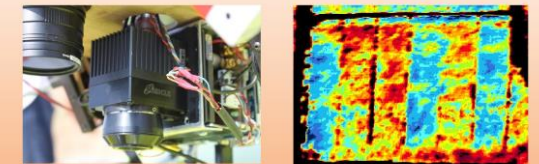
Multispectral

Capteur multispectral
Parrot SEQUOIA



Camera Infrarouge thermique

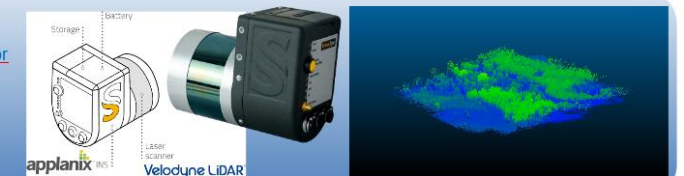
[Thermoteknix Miricle 307k](#)



Lidar

[YellowScan Surveyor](#)

Poids: 1.6kg
Précision: 5cm





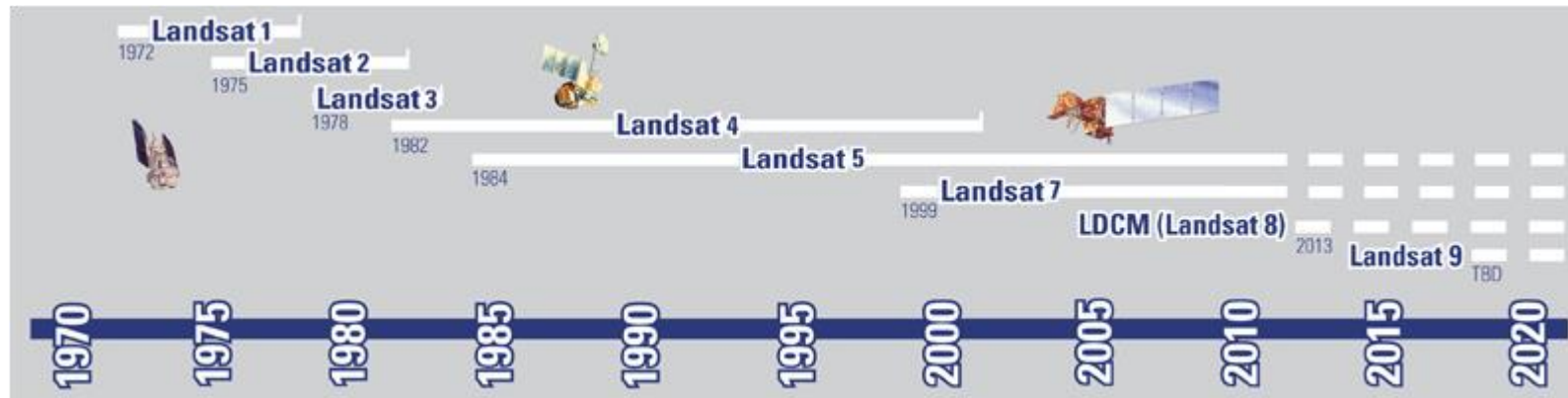
➤ 2. Focus sur des initiatives (inter)nationales

Et évolutions récentes...

➤ Landsat : précurseur

40 ans d'archives

- **Premier programme spatial d'observation de la Terre destiné à des fins civiles**
- Acquisitions en continu depuis 1972 (> 5,6 millions d'images pour les missions Landsat 1 à 8)
- Développé par la NASA et l'USGS (Etats-Unis)



➤ Landsat : précurseur

Un « modèle » économique

- Après deux échecs de commercialisation des images, l'USGS adopte en **2008** une **politique de distribution libre et gratuite**, sans discrimination

- Bénéfices économiques et scientifiques
 - Développement de la R&D
 - Produits opérationnels local/global
 - Renforcement des partenariats internationaux
 - ...

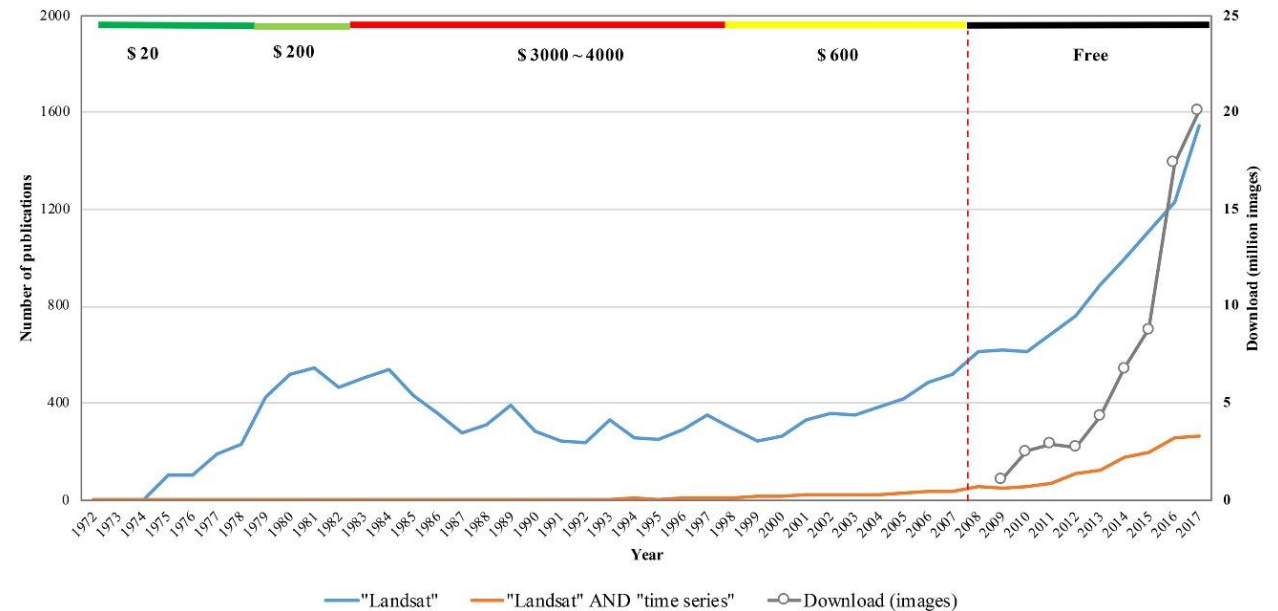


Remote Sensing of Environment
Volume 224, April 2019, Pages 382-385



Benefits of the free and open Landsat data policy

Zhe Zhu^a, Michael A. Wulder^b, David P. Roy^c, Curtis E. Woodcock^d, Matthew C. Hansen^e, Volker C. Radeloff^f, Sean P. Healey^g, Crystal Schaaf^h, Patrick Hostertⁱ, Peter Strobl^j, Jean-Francois Pekel^k, Leo Lyburner^k, Nima Pahlevan^l, Ted A. Scambos^m



Landsat image cost (top color bar, values from Wulder et al., 2012), number of downloads of Landsat images from the U.S. Landsat archive (gray line), and the number of annual publications from 1972 to 2017 in the Scopus database that have “Landsat” (blue line) or “Landsat” AND “time series” (orange line) in their title, abstract, or keywords. (For interpretation of the references to color in this figure legend, the reader is referred to the web version of this article.). Source : <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.02.016>



INRAE

Titre de la présentation

Date / information / nom de l'auteur

➤ En France ?

Le programme SPOT

- SPOT 1 à SPOT 5, puis Pléiades
 - Financement publique avec opérateurs commerciaux (Spot Image → Airbus D&S)
- SPOT 6/7, Pléiades-Neo
 - Financement entièrement privé



Mission	Cartographie, modèle numérique de terrain, suivi de l'environnement
Date de lancement	SPOT-1 : 1986, SPOT-2 : 1990, SPOT-3 : 1993, SPOT-4 : 1998, SPOT-5 : 2002
Partenaires	Airbus Defence & Space
Instruments	De SPOT-1 à SPOT-3 : HRV1 et HVRV2, SPOT-4 : HRVIR1, HRVIR2, VEGETATION 1, SPOT-5 : HRG1, HRG2, un instrument de prise de vue stéréo HRS et VEGETATION 2
Position	Orbite quasi-polaire et héliosynchrone heure locale à l'équateur 10h30 sur l'orbite descendante à 830 km d'altitude
Durée de vie	SPOT-1 : 17 ans, SPOT-2 : 19 ans, SPOT-3 : 3 ans, SPOT-4 : 15 ans, SPOT-5 : 13 ans

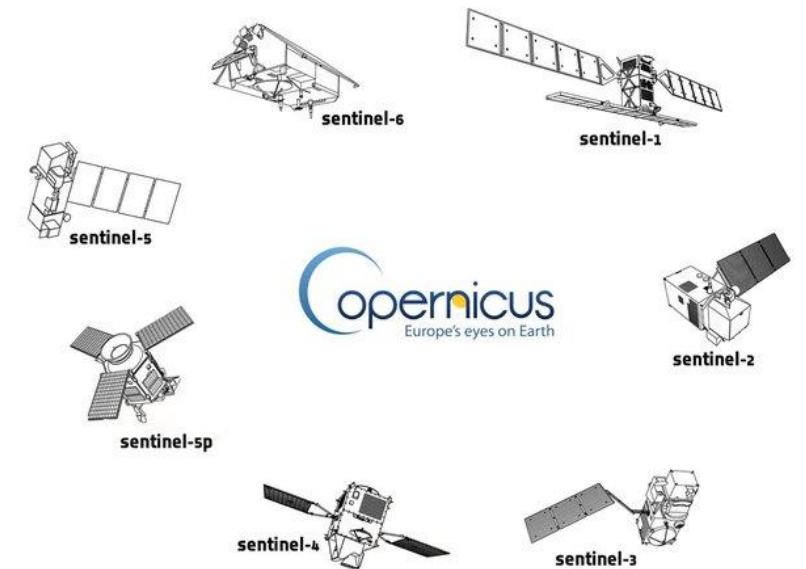
➤ L'Europe et le programme Copernicus

Constellation Sentinel

L'ESA a conçu et fait construire une première génération de satellites d'observation de la Terre :

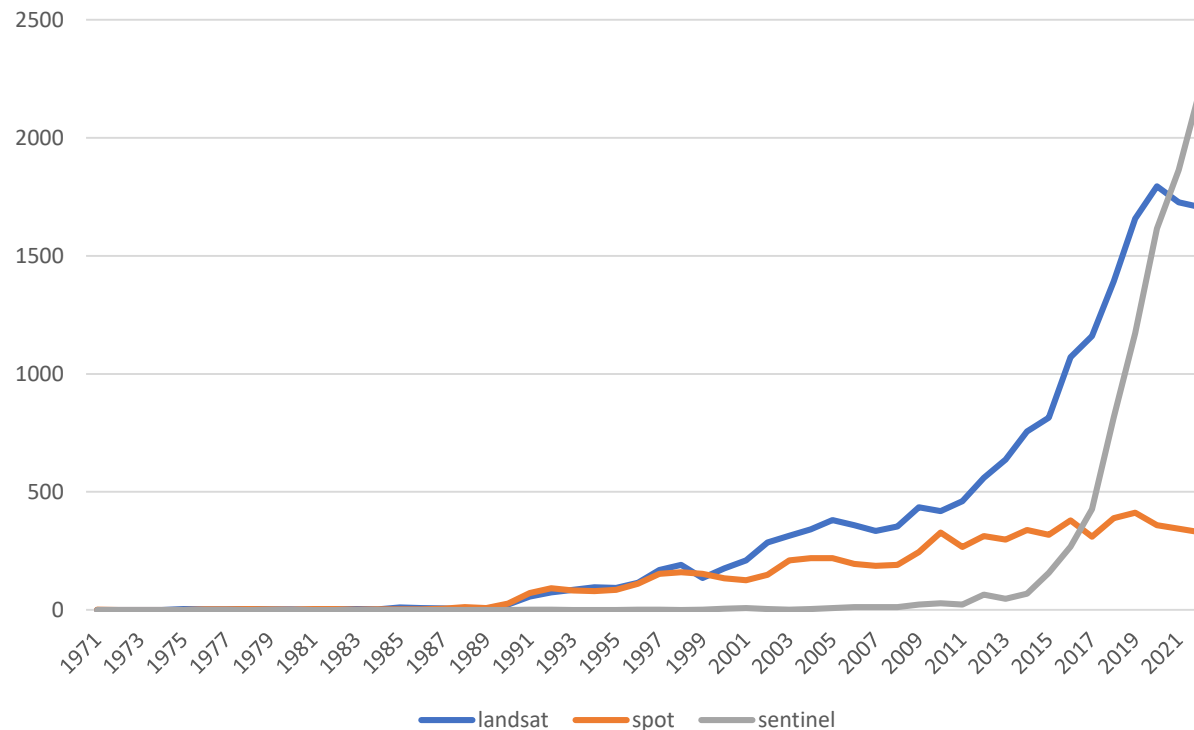
- **Sentinel-1** : imageurs SAR (lancés en 2014 et 2016)
- **Sentinel-2** : données optiques sur les surfaces continentales (2015 et 2017)
- Sentinel-3 : données optiques et altimétriques sur les océans et continents
- Sentinel-4 : données sur la composition de l'atmosphère (2023 ?)
- Sentinel-5 : données sur la composition de l'atmosphère (2025 ?)
- Sentinel-6 : données altimétrie océanographique (2020, 2026 ?)

➔ Données mises à disposition gratuitement auprès de tous les utilisateurs y compris le grand public, les utilisateurs scientifiques et commerciaux



Utilisation dans le monde de la recherche

Succès de la constellation Sentinel qui se confirme d'année en année



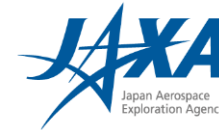
Nombre de publications par an sur les mots-clés : « satellite + <capteur> »
K. Ose (2023) - Source : Web of Science



➤ Paysage actuel de l'offre satellitaire EO

Diversification des fournisseurs

- Programmes nationaux/internationaux :
 - NASA / USGS : Landsat
 - ESA Copernicus : Sentinel
 - ...
- Leaders privés dans l'imagerie spatiale :
 - Maxar-Digital Globe : QuickBird, WorldView, ...
 - Airbus D&S : Spot 6/7, VNREDSat, THEOS-2, Pléiades-Neo, ...
- De nouveaux venus :
 - Planet (création en 2010) : cubesats Dove (>200)
 - *BlackBridge (2015) : RapidEye*
 - *Terra Bella (2017) : SkySat*
 - *Sinergise (2023) : Data analysis*
 - Et aussi SIIS (Corée du Sud), CGSTL (Chine), etc.



Pour plus d'information : Denis, G., Claverie, A., Pasco, X., Darnis, J. P., de Maupeou, B., Lafaye, M., Morel, E. (2017). Towards disruptions in Earth observation? New Earth Observation systems and markets evolution: Possible scenarios and impacts, *Acta Astronautica*, 137 (2017), pp. 415–433



➤ 3. Développement des services

➤ Big Earth Data ?

Ou comment traiter ces données ?

Rapport Fioraso, 2016 :

- *L'archive des données d'observation de la Terre à l'ESA s'élèvera à 20 Po en 2020, ce qui correspond à l'information que l'on pourrait stocker dans 4 millions de DVD.*
- *Copernicus génèrera 13 To/jour soit 5Po/an.*
- *L'archive liée aux satellites Spot (depuis 1985, de Spot 1 à Spot 5) représente trente millions de scènes et un volume d'environ 15 Po, avec une moyenne de 500 Mo par scène.*

➔ Comment accéder aux données satellitaires ?

➔ Comment stocker ces données ?

➔ Comment traiter ces données ?

➤ Services de découverte... et de traitement distant

Les GAFA à la rescousse

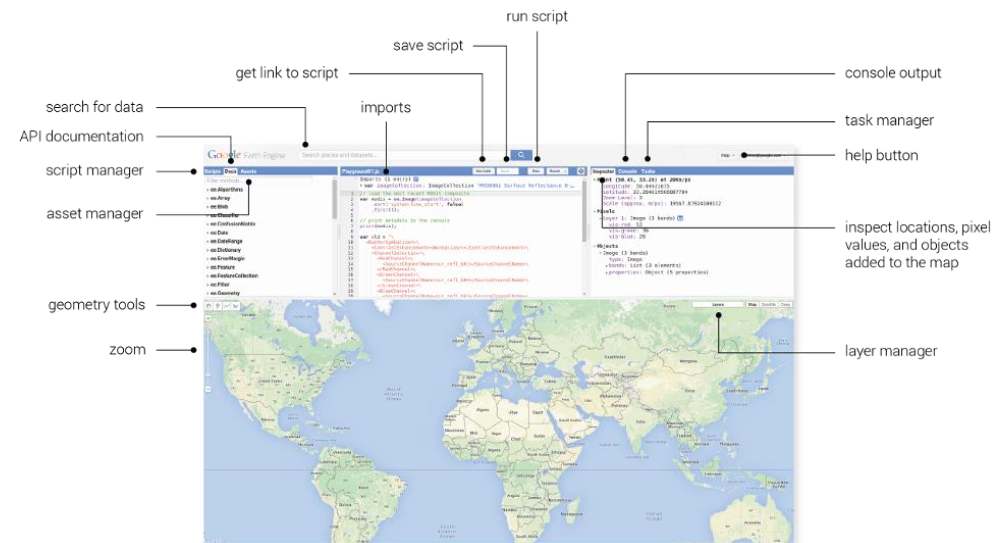
Google Earth Engine (GEE) :

- outil dédié au traitement et à l'analyse de données géospatiales
- Pourquoi développer un tel outil ? Ce que dit Google...

« **Google's mission** is to organize the world's information and make it universally accessible and useful. In line with this mission, Earth Engine organizes geospatial information and makes it available for analysis. More generally, Google strives to **make the world a better place through the use of technology...** »



- Les composants de GEE :
 - Un catalogue de données
 - Une boîte à outils de traitement d'images
 - Une puissance de calcul via les Data Center de Google
- Is GEE Evil ? (J. Inglada)
 - Gratuit ? Oui mais jusqu'à quand ?
 - Libre ? Non, API propriétaire
 - Pérennité de codes et reproductibilité ? Non



<https://www.jordiinglada.net/sblog/geee.html>



INRAE

Titre de la présentation

Date / information / nom de l'auteur

➤ Services de découverte... et de traitement distant

Les GAFA à la rescousse

Microsoft Planetary Computer :

- Même fonctionnement que GEE mais sur des API open-source
- Gratuit (jusqu'à quand ?)
- Mise à disposition de moyens de calcul via des VRE CPU/GPU

Autres services :

- Amazon Web Services
- DIAS (Creodias, Mundi, Sobloo, Wekeo, Onda)
- Planet (+ Sinergise [Sentinel Hub])
- RapidAI4EO
- ...

A screenshot of a Jupyter Notebook interface. The left sidebar shows a file explorer with a list of files including 'dynamis_sdk.ipynb', 'mada_ndv.gif', 'mada.gif', 'samples.geojson', 'test.ipynb', and a folder containing 'tuto01_spectral_v2.ipynb', 'tuto01_spectral_v3.ipynb', 'tuto01-Copy1.ipynb', 'tuto01-Copy2.ipynb', 'tuto01.ipynb', and 'Untitled.ipynb'. The main area displays a Python notebook with the following content:

```
number of S2 images: 109
```

Stacking S2 time series

Convert items collection into data xarray.

Here are kept 4 bands: B02 (blue), B03 (green), B04 (red) and SCL (masks).

All data are resampled in 10m with the coordinate reference system epsg:2154.

```
[6]: %time
ds = stackstac.stack(items,
assets=["B02", "B03", "B04", "SCL"],
epsg=2154,
resolution=10,
bounds_latlon=bbox)

print("nombre d'images : ", len(ds))
```

CPU times: user 4 µs, sys: 1e+03 ns, total: 5 µs
Wall time: 8.58 µs
nombre d'images : 109

Example of plotting images

Plot of the first 3 dates of data xarray in natural color composite.

```
[7]: source = ds.sel(band=["B04", "B03", "B02"])[0:3]
source.plot.imshow(col_wrap=3, col="time", rgb="band", robust=True, size=3)
```

```
[7]: <xarray.plot.facetgrid.FacetGrid at 0x7f480c26acb0>
```



INRAE

Titre de la présentation

Date / information / nom de l'auteur

➤ Services de découverte... et de traitement distant

Les initiatives publiques

En Europe :

- SciHub Copernicus (ESA) : découverte et téléchargement des données Sentinel
- ...

En France :

- Infrastructure de Recherche (IR) Data Terra :

E-Infrastructure de recherche du domaine système Terre et environnement. Sa mission principale est de développer un dispositif global d'accès et de traitement de données, produits et services dédiés à l'observation de la Terre.

→ 4 pôles : Theia, Aeris, Odatis, Form@ter

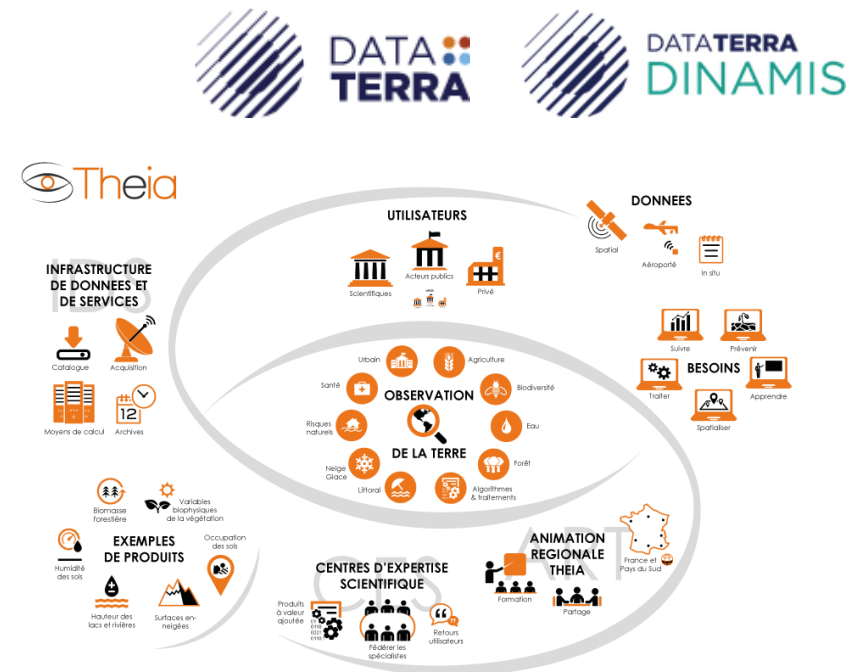
- Pôle THEIA :

Pôle dédié aux données et services surfaces continentales. il met à disposition de la communauté scientifique nationale/internationale et des politiques publiques de suivi et de gestion des ressources environnementales un vaste portefeuille de produits satellitaires à valeur ajoutée, de logiciels et de traitements d'images liés à l'observation des surfaces continentales.

- Dispositif DINAMIS

Le Dispositif Institutionnel National d'Accès Mutualisé en Imagerie Satellitaire (DINAMIS) est une plate-forme d'acquisition et de diffusion de données spatiales d'observation de la Terre dédiée aux utilisateurs institutionnels français et étrangers sous conditions.

➔ Mise en place d'un **centre de données et de services (CDOS)**



➤ Services de découverte... et de traitement distant

L'offre DINAMIS

Une couverture du territoire métropolitain par an :

- Spot 6/7
- + accès aux archives THRS

Demande de nouvelles images (quotas)

- **Pléiades**
 - Scientifiques : 5500 km²
 - Acteurs publics : 4000 km²
- **Spot6/7 :**
 - 5 crédits de télémessure (1 crédit = 3600 km²).

Dans le cas d'une programmation,

1 tentative = 1 crédit

Tarifs en cas de dépassement du quota :

- **Pléiades :**
 - Scientifiques : 1 € / km²
 - Acteurs publics : 1,4€ / km² (1,8 € / km² pour une prog.)
- **Spot6/7 :** achat de crédits
 - 1000€ / crédit

Pour plus d'informations :

Le site web : <https://dinamis.data-terra.org>
Le catalogue : <https://catalogue-dinamis.data-terra.org>
Adhérer en ligne : <https://dinamis.data-terra.org/creation-de-compte>
Demander une nouvelle image : <https://dinamis.data-terra.org/support>



INRAE

Titre de la présentation

Date / information / nom de l'auteur



➤ 4. Quelles images pour quels besoins ?

Critères de recherche

➤ Critères de recherche

Trouver le bon compromis...

- Zone d'étude → taille de l'image
- Objets recherchés → résolution spatiale
- Paramètres étudiés → type de donnée, résolutions spectrale
- Plage temporelle → archives, programmations, répétitivité
- Budget → coût des images
- Partenariat → licences d'utilisation
- Savoir-faire → niveau de traitement
- Moyens matériels → besoins logiciels, besoins informatiques



Aqua (MODIS)
250m Resolution



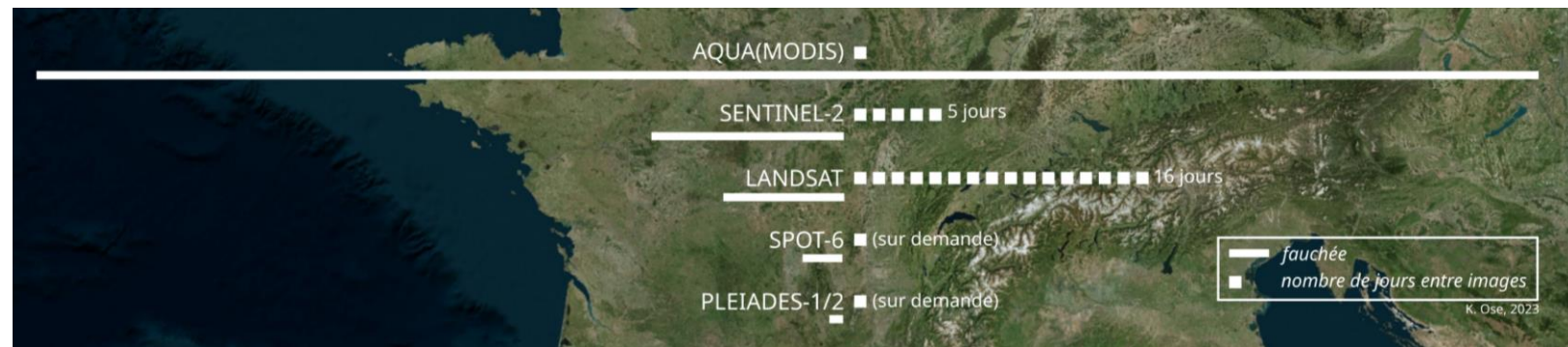
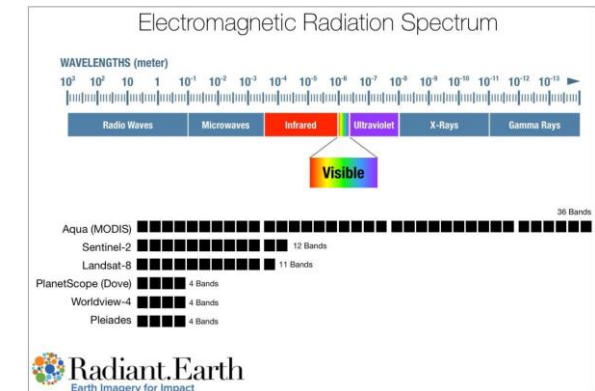
Landsat-8
30m Resolution



Sentinel-2
10m Resolution

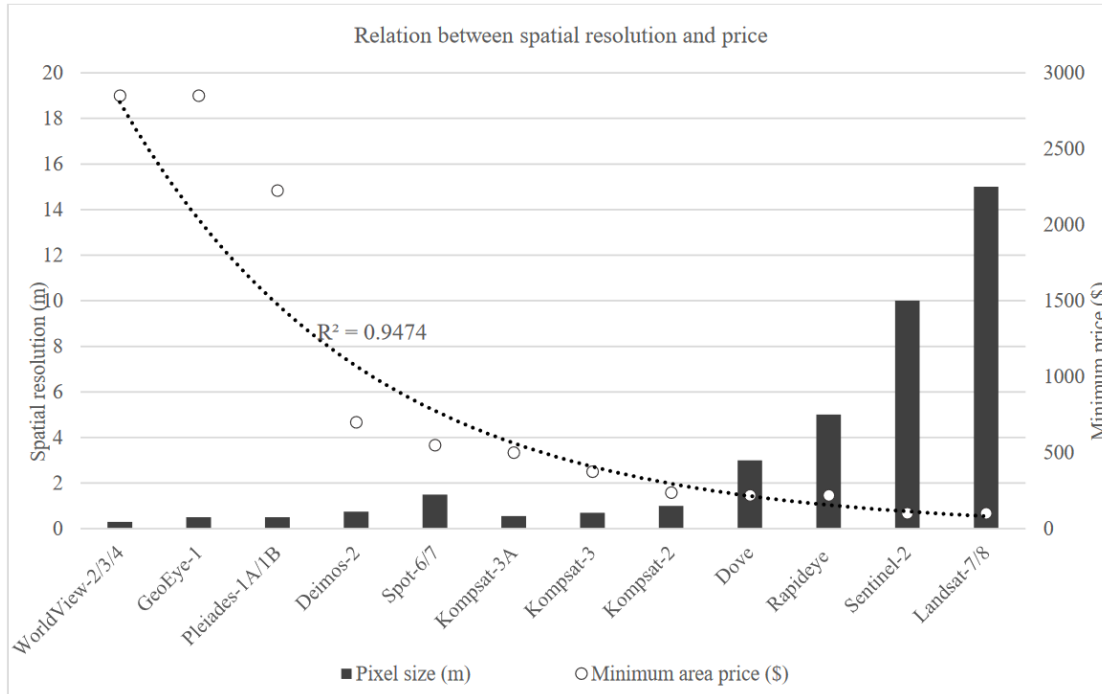


PlanetScope (Dove)
3m Resolution

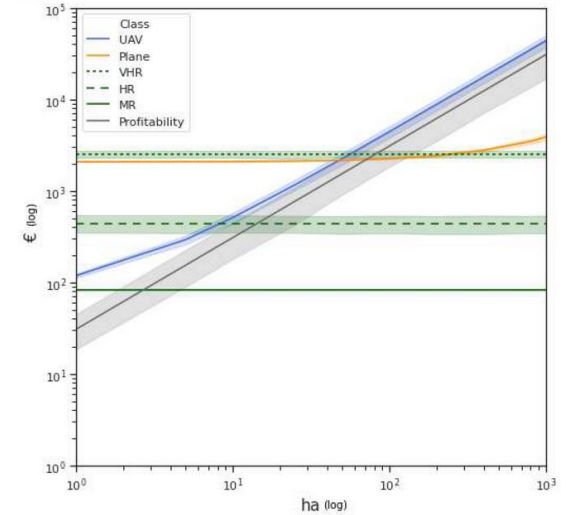


➤ Prix des données satellitaires

Prix fonction de la résolution spatiale mais pas seulement !



Sozzi, M., Marinello, F., Pezzuolo, A., Sartori, L. (2018). Benchmark of Satellites Image Services for Precision Agricultural use.



Estimation of data volume per hectare

$$KB\ ha^{-1} = \frac{10000}{m^2\ pixel^{-1}} \cdot \frac{bits\ pixel^{-1}}{8} \cdot number\ of\ bands$$

Definition of break-even points (required hectares to be profitable)

Acquisition

Download

Processing

Final price

Economic benefits provided by site-specific nitrogen application in grains (Colaço & Bramley 2018)

Hectares required to be profitable

- 2.52-76.8 ha (according to spatial resolution)
- 66.4 ha
- generally non-profitable for site-specific nitrogen application in grains

Price of satellite data per hectare

€/ha = 0.0019 KB/ha

- Medium and high-resolution satellite image price is affected by a minimum required area for purchase
- Free of charge satellites showed an optical quality comparable to the referenced sensors for UAVs and planes
- UAV images could be profitably used for high added value applications (precision herbicide spraying or foliar fertilizer) or in application in other crops rather than grains

Sozzi, M.; Kayad, A.; Gobbo, S.; Cogato, A.; Sartori, L.; Marinello, F. Economic Comparison of Satellite, Plane and UAV-Acquired NDVI Images for Site-Specific Nitrogen Application: Observations from Italy. *Agronomy* **2021**, *11*, 2098. <https://doi.org/10.3390/agronomy11112098>





➤ Conclusion

➤ Complète mutation de l'offre

Changement des pratiques ces 10 dernières années

Nouvelles stratégies d'acquisition optique

- Renforcement des acquisitions « systématiques »
- Développement de la Très Haute Résolution Spatiale (THRS)
- Constellation satellitaire avec répétitivité journalière

→ 1 image THRS / jour en tout point du globe

Données massives

- \searrow résolution spatiale + \nearrow bandes spectrales + \nearrow répétitivité = \nearrow volume de données

Développement de nouvelles méthodes

- Analyse de séries temporelles
- Physique du signal ? Machine Learning ? Deep Learning ?

Nouvelles stratégies de calcul

- Infrastructures de découverte et d'accès à la données
- Infrastructures de calcul, Cloud services (Google, Microsoft, Amazon, ...)
- Programmes publiques de mutualisation de l'imagerie satellitaire

Merci.

Questions ?



INRAE

Titre de la présentation

Date / information / nom de l'auteur