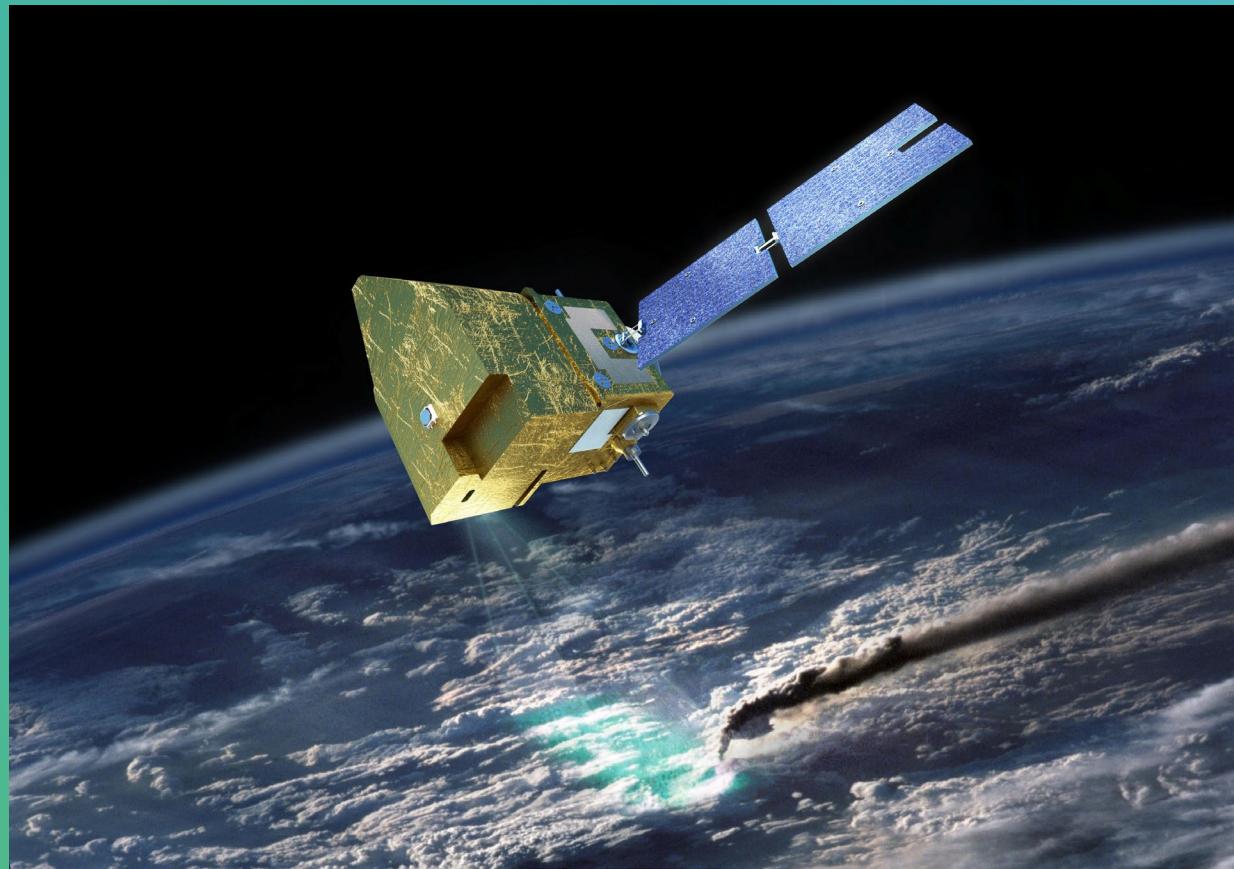


Des satellites au service de l'environnement.

Pour quoi faire ?



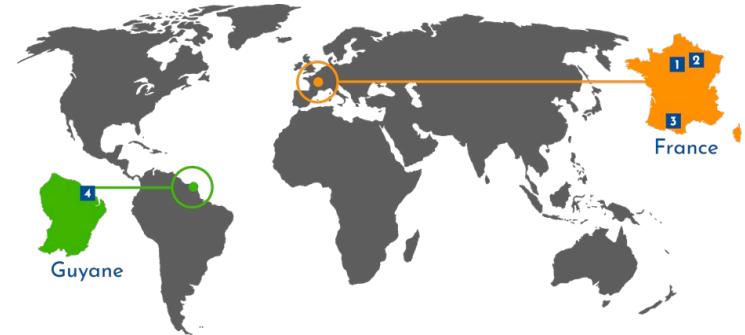
- SONE – 14 Janvier 2026



CNES: LES 4 CENTRES

2 359

SALARIÉS RÉPARTIS DANS 4 CENTRES



GUYANE



Centre Spatial Guyanais
(254)

TOULOUSE



Centre Spatial de
Toulouse
(1 740)

PARIS DAUMESNIL



Transport Spatial
(185)

PARIS LES HALLES



Siège
(180)

Transport spatial



L'autonomie d'accès à l'espace est un enjeu de souveraineté garanti par la gamme des lanceurs européens.

Observation de la Terre



La planète Terre vit sous le regard constant des satellites qui l'observent, étudient ses caractéristiques physiques, son atmosphère, ses océans, ses terres émergées et fournissent des mesures indispensables pour la météorologie, l'océanographie, l'étude du changement climatique, l'aménagement du territoire.

©
CNES/ESA/Arianespace
e/Optique Vidéo /S Martin,
2023

© CNES/Distribution
Airbus DS, 2020

Sciences



L'exploration et l'utilisation de l'espace s'appuient sur des développements technologiques d'envergure pour tenter de répondre aux questions fondamentales de l'humanité sur l'origine du système solaire, des galaxies et de la vie.

© NASA/ESA/CSA/STScI/Klaus
Pontoppidan (STScI), Alyssa Pagan
(STScI), 2023

Télécommunications



les satellites jouent un rôle irremplaçable pour les télécommunications à haut débit, la localisation, la collecte de données environnementales, la recherche et le sauvetage

© CNES/DE PRADA Thierry, 2021

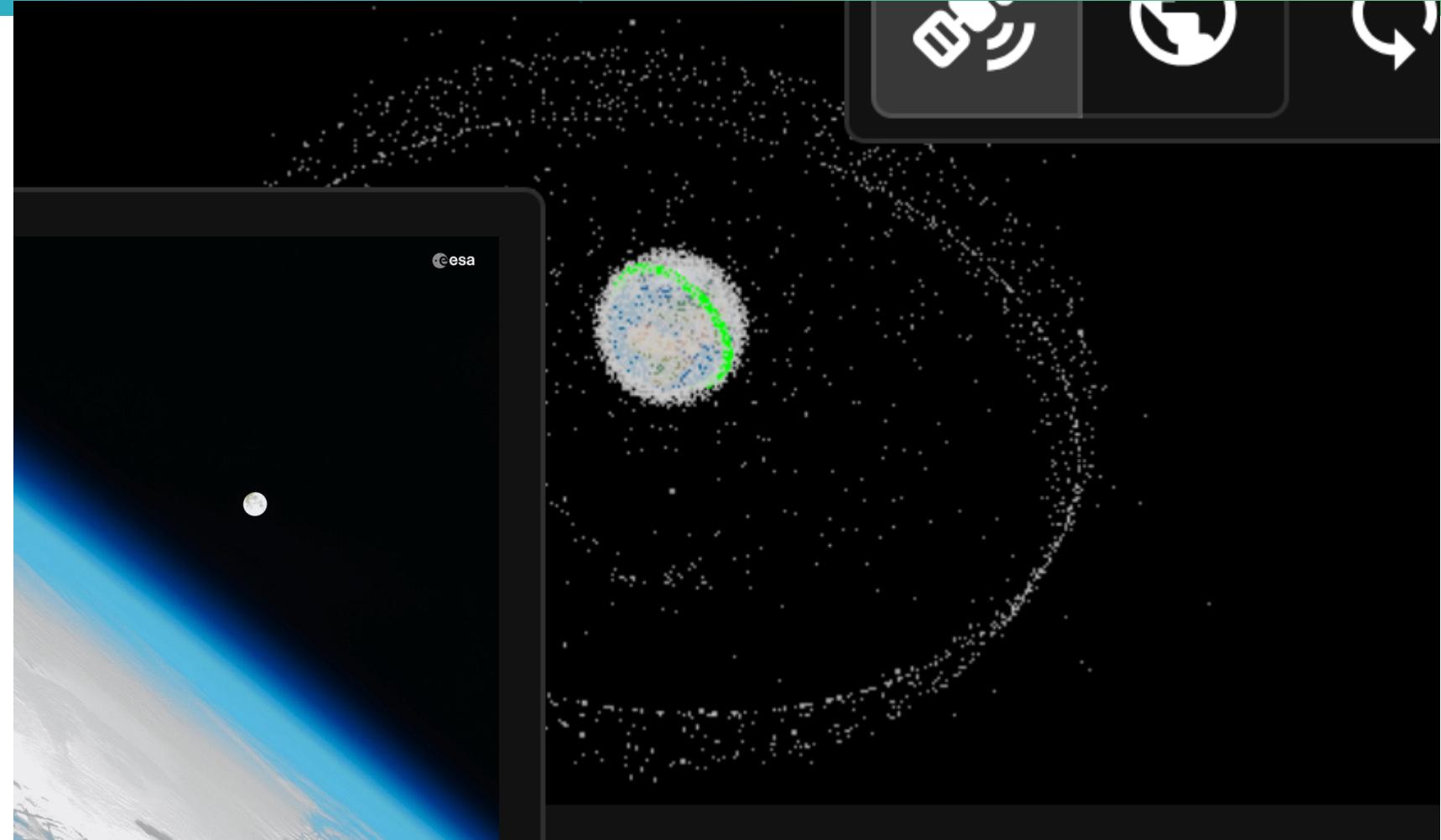
Défense



L'observation à très haute résolution, l'écoute, les télécommunications hautement sécurisées, la surveillance de l'espace contribuent à la paix et à la sécurité des citoyens.

©
CNES/LANCELO
T Frédéric, 2024

L'espace: où sont les satellites ?

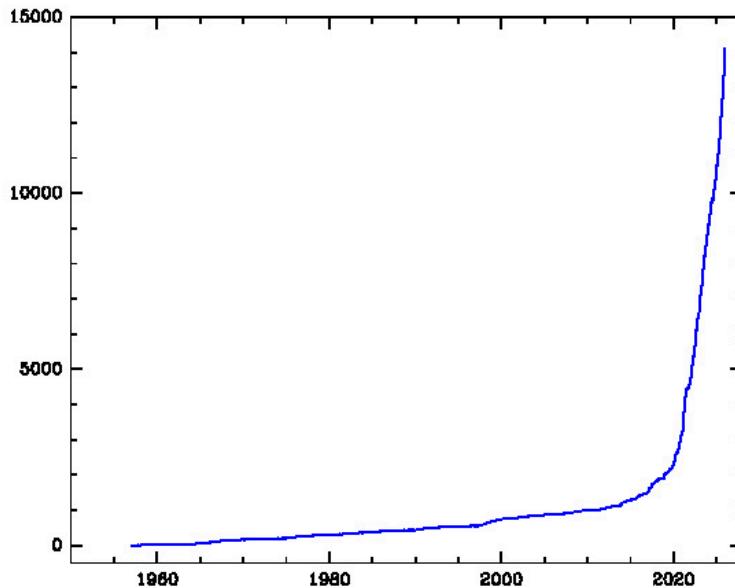


Limite espace: 100 km

Altitudes satellites (orbites): 400 à 36 000km
Orbite basse: 400 à 1200km

Satellites: combien, quelle taille ?

- De l'ordre de 14 000 satellites actifs
- En 2025
 - ❖ 317 lancements de fusée (réussis)
 - ❖ 3664 sats lancés

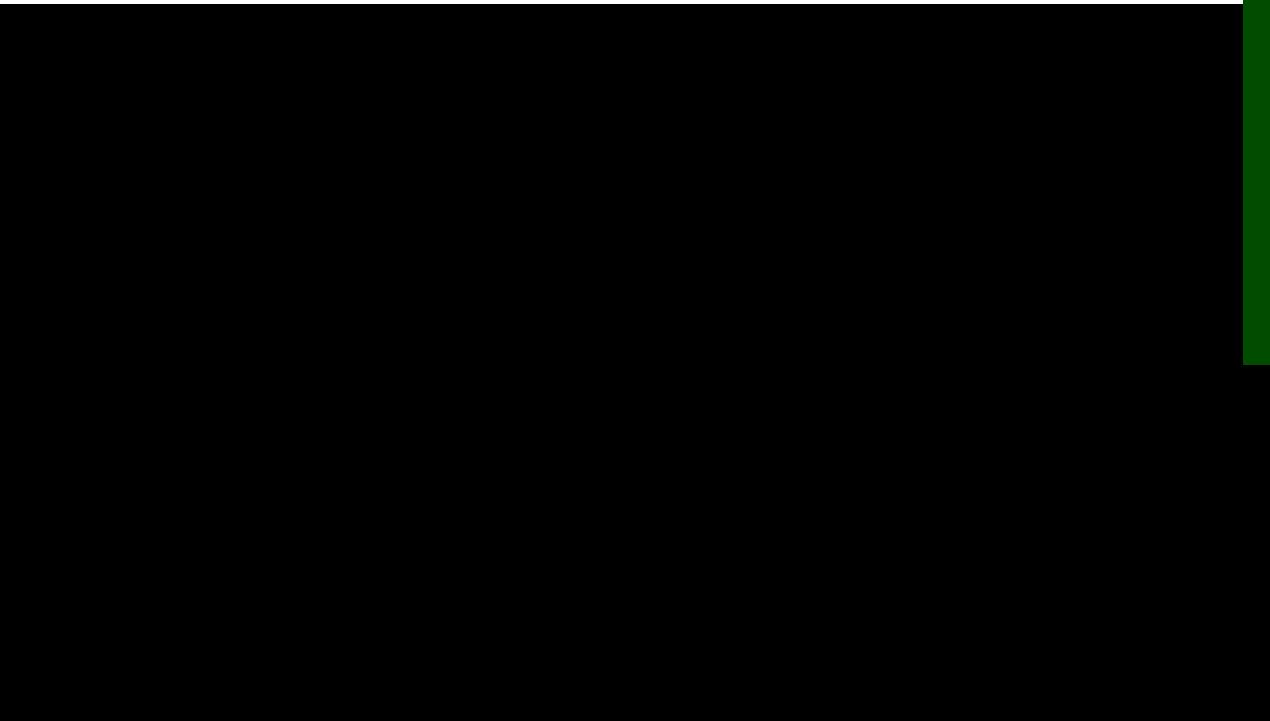


- Taille satellite: de quelques kilos à plusieurs tonnes

Satellites: fonctionnement



- ❑ Un satellite a besoin de vitesse pour rester en orbite:
- ❑ Orbite basse: vitesse proche de 8 km/s \leftrightarrow 27 000 km/h
- ❑ Tour de la terre en moins de 2 heures
- ❑ 14 fois le tour de la terre / jour
- ❑ Fauchée (en jaune): part de la Terre observée par le satellite à un moment donné

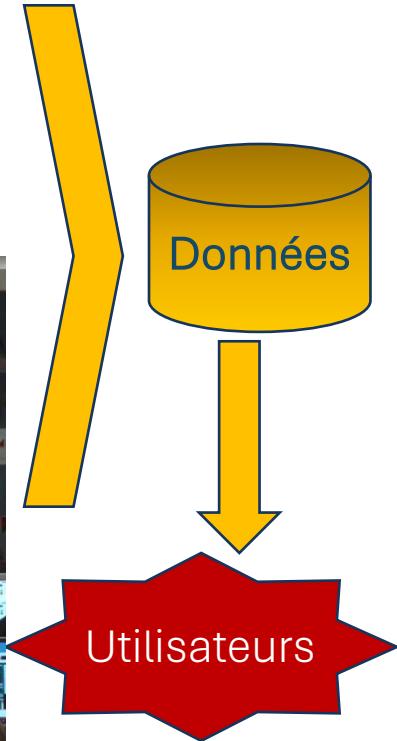
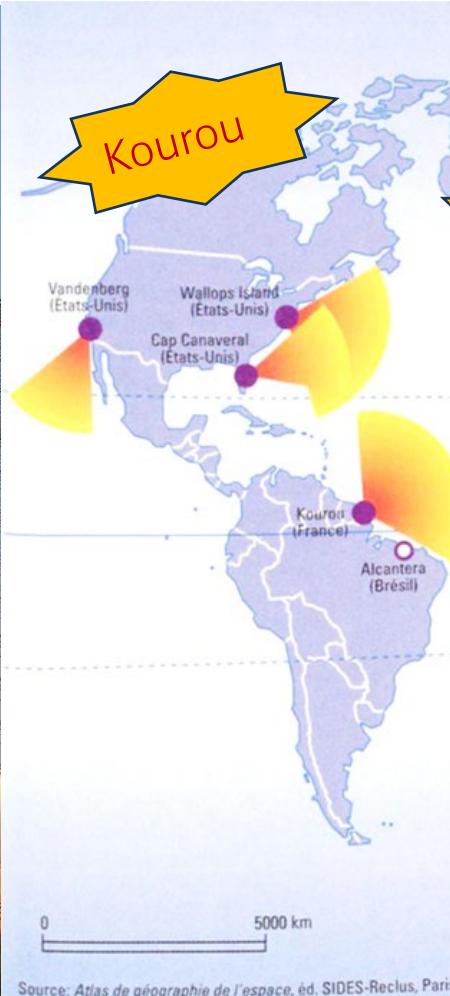


Satellites: fonctionnement



❑ Lanceur Européen

❑ Base de lancement de l' Europe



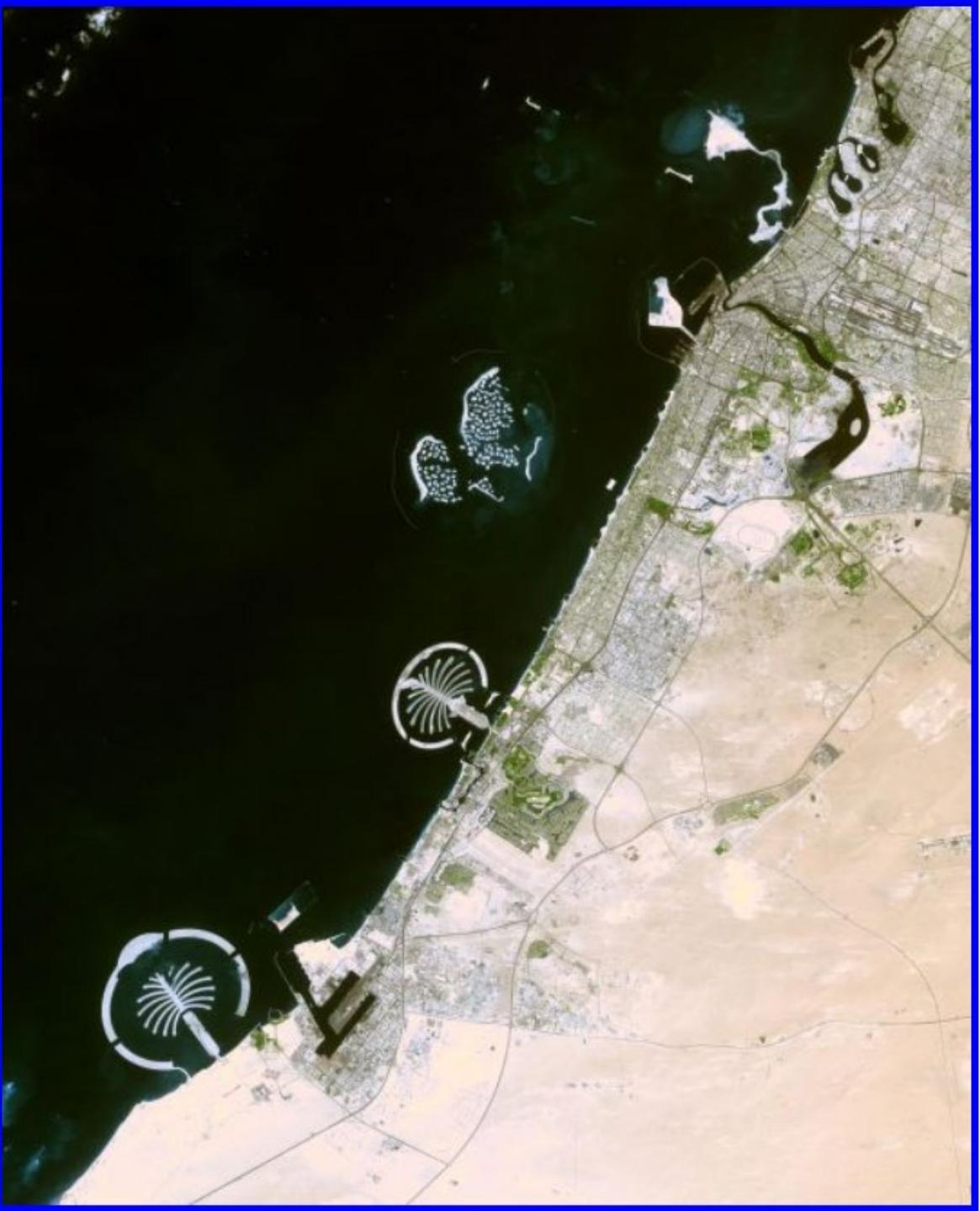
Intérêt des satellites



- Observation globale: couverture de l'ensemble de la planète
- Capacité de revisite régulière: rafraîchissement permanent des informations
- Moyen de mesure unique, indépendant, calibré
- Des mesures de terrain (in-situ) restent indispensables (précision, calibration, etc)
- Certaines mesures (basées sur réflexion du soleil) accessibles uniquement par satellite

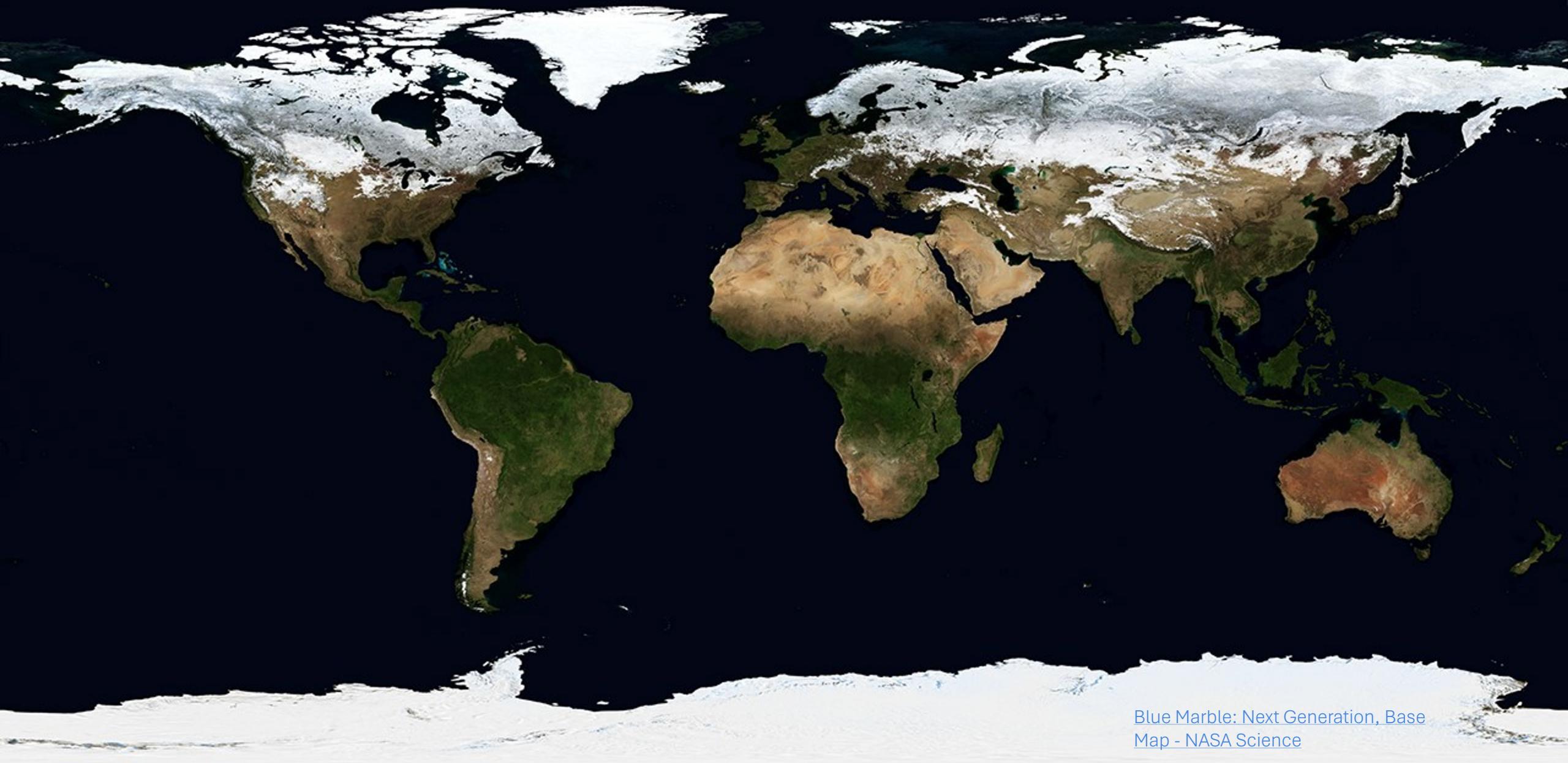


Atoll Polynesian
Atafu Atoll, Tokelau
© Nasa, JSC





Imagerie optique: Vue terre en janvier



[Blue Marble: Next Generation, Base Map - NASA Science](#)

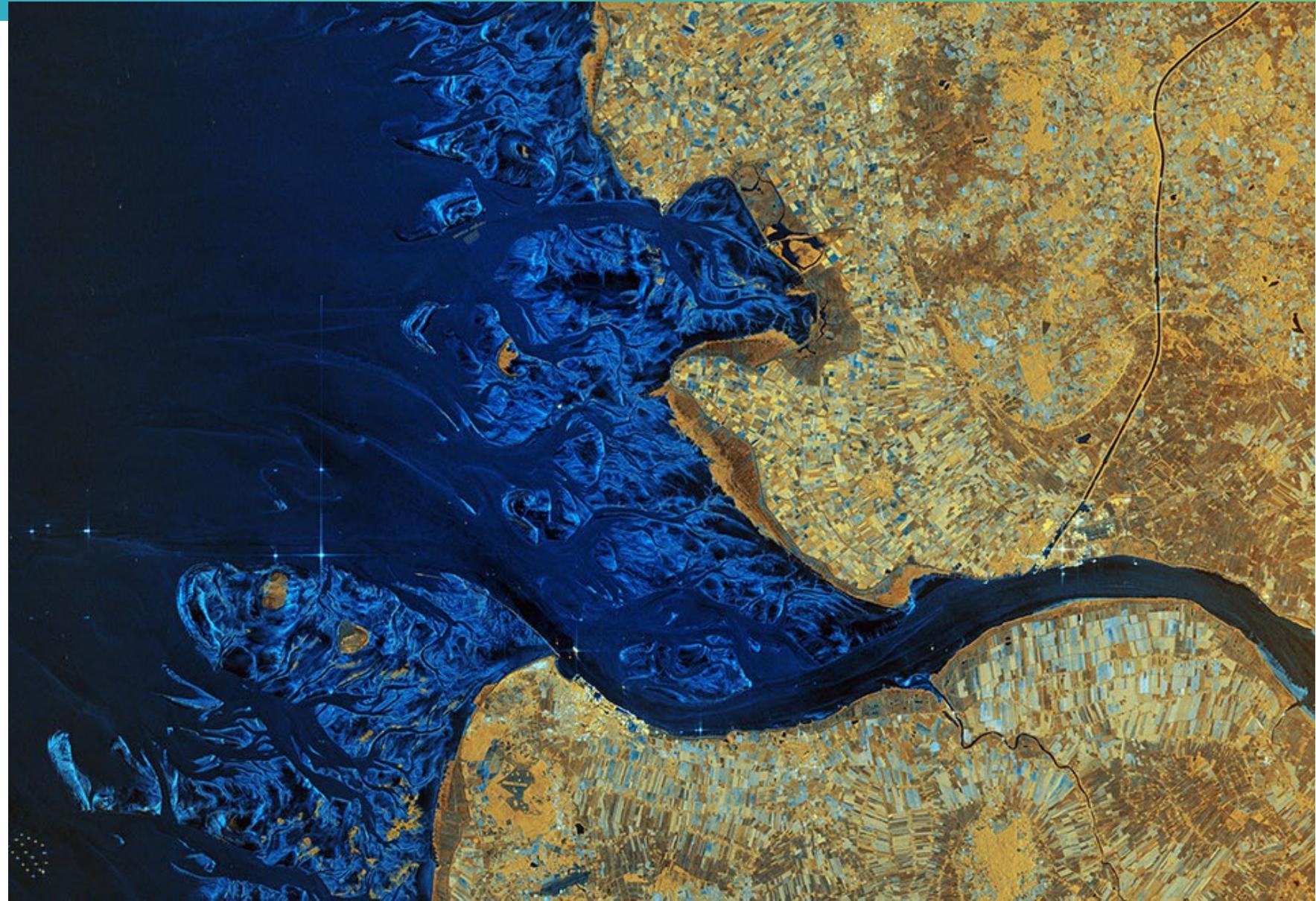
Imagerie radar



- Delta Elbe
- Nov 2025

- Fausses couleurs:
permettent de
distinguer
 - Eau/ surfaces
émergées
 - Zones urbaines
 - Surfaces agricoles

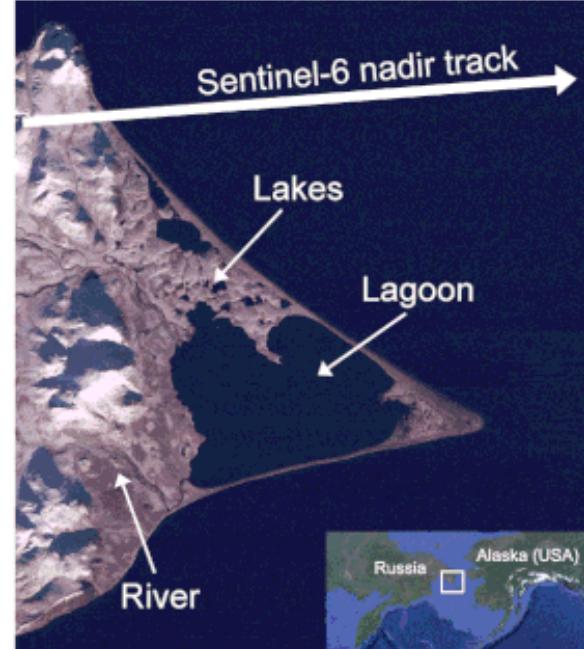
- Avantages radar:
 - Observation de jour
comme de nuit
 - Observation à travers
nuages



Différentes façons d'observer: Optique, radar.



Lagon de l'Ozero Nayval.
Côte occidentale du [détrroit de Béring](#) en [Russie](#).)



Longueur d'ondes visible.
[Résolution spatiale](#) de 10 m. Octobre



Image radar en mode interférométrique.
novembre
Résolution spatiale de 10 mètres.
Relief, craques glace, houle

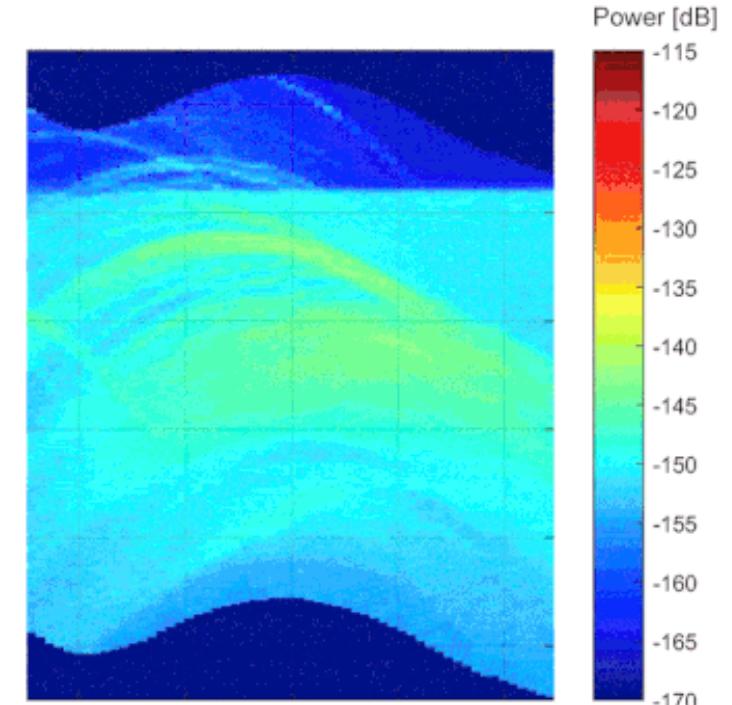
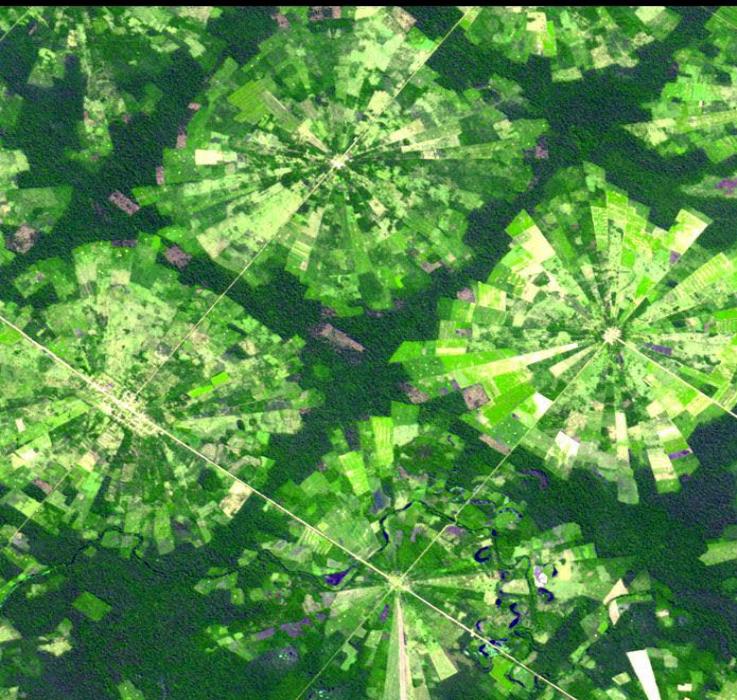
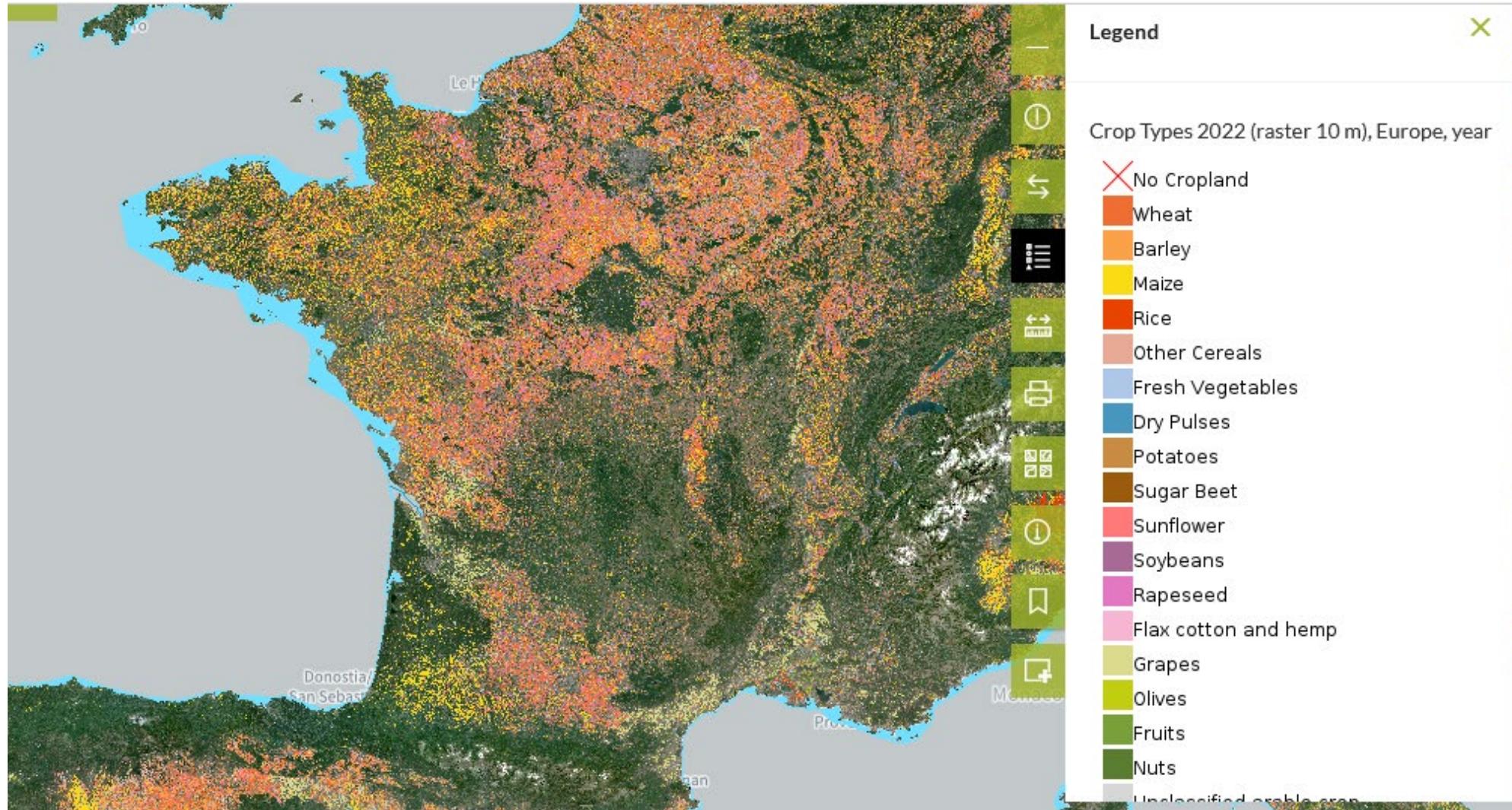


Image radar en mode pulsé (radar altimétrique)
Résolution spatiale basse.
Epaisseur de la glace dans le lagon, le lac et la rivière (codé en couleurs).



Type de culture



Type de culture: Saint Orens

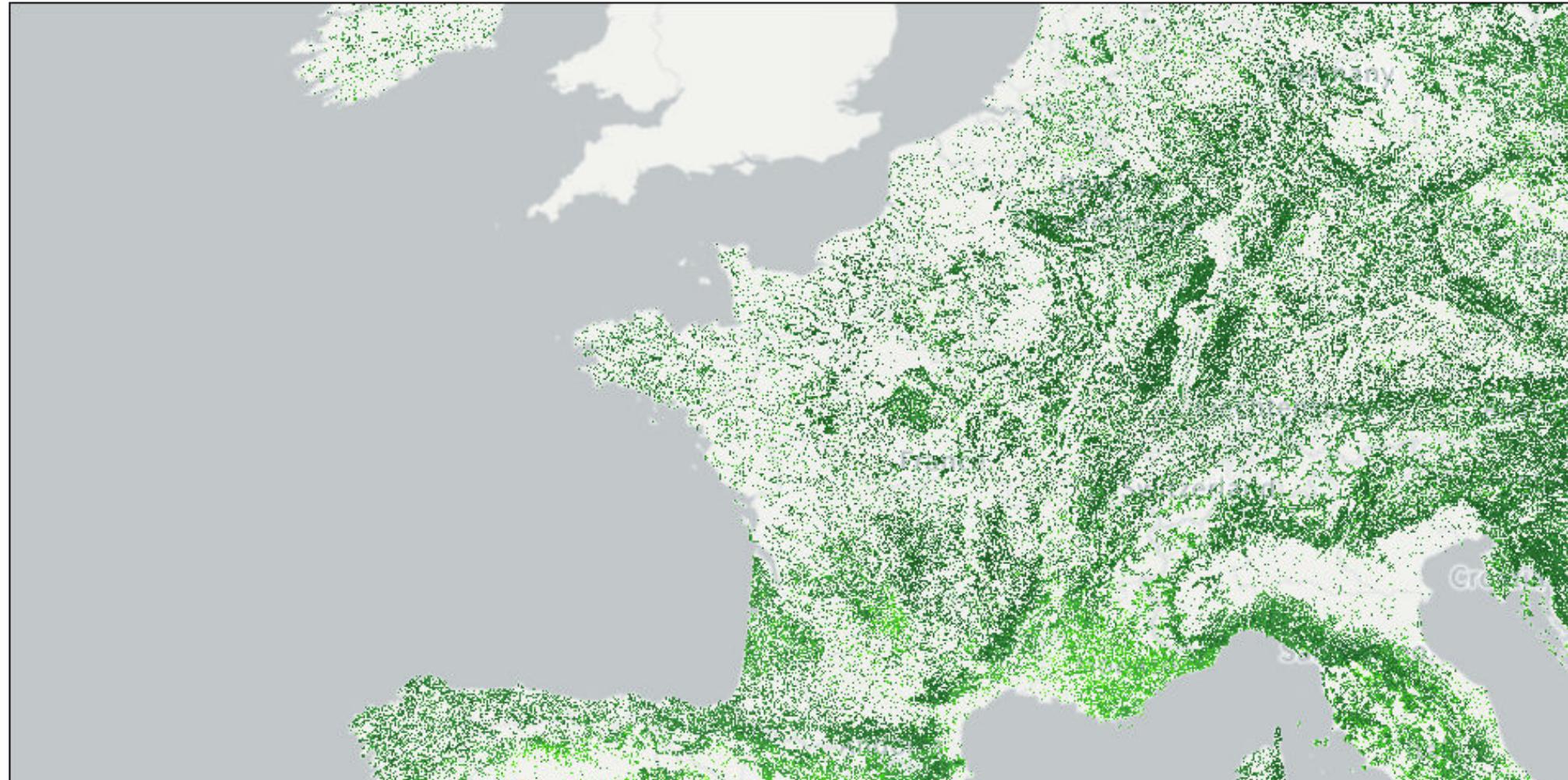


✗ No Cropland	
Wheat	Blé
Barley	Orge
Maize	Mais
Rice	
Other Cereals	
Fresh Vegetables	
Dry Pulses	
Potatoes	
Sugar Beet	
Sunflower	Tournesol
Soybeans	Soja
Rapeseed	Colza
Flax cotton and hemp	
Grapes	
Olives	
Fruits	
Nuts	
Unclassified cropland	

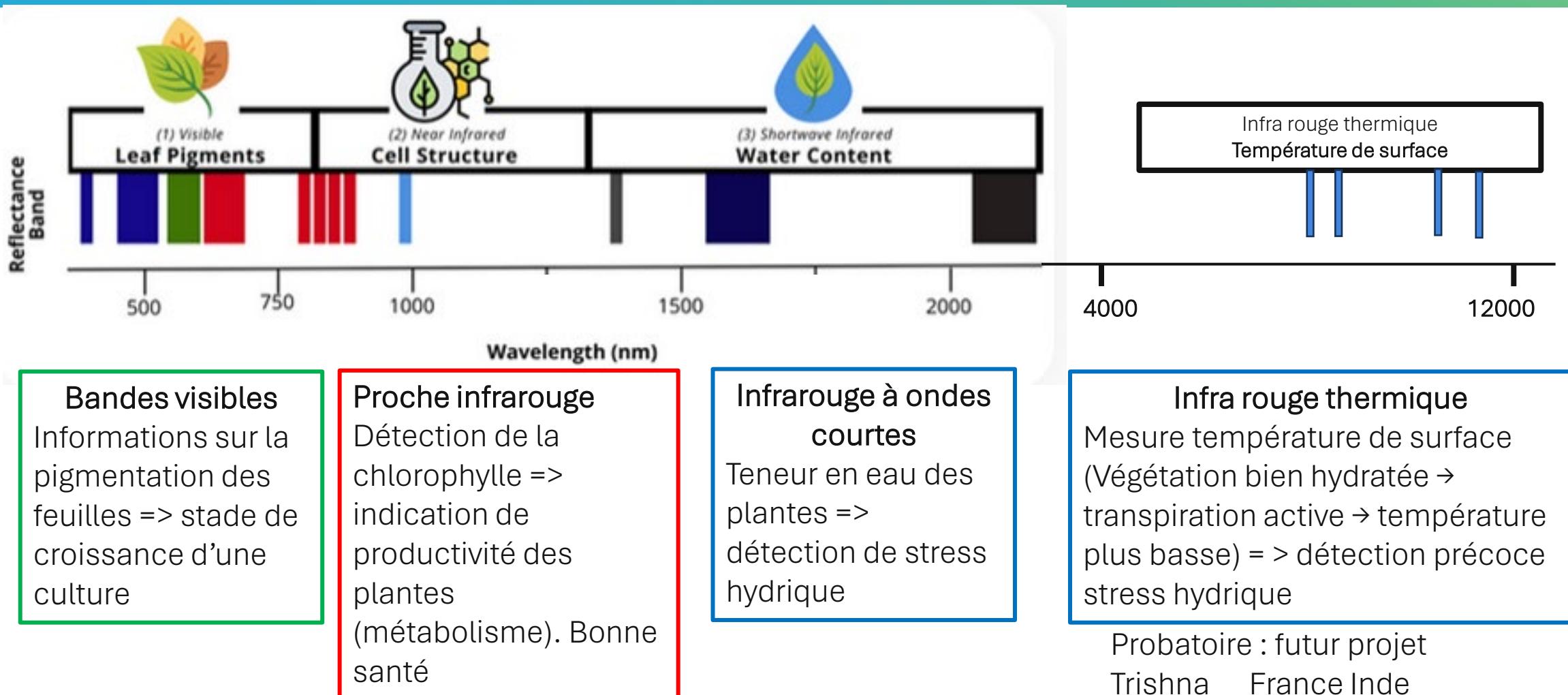
Couverture arborée



tree cover density



Suivi végétation

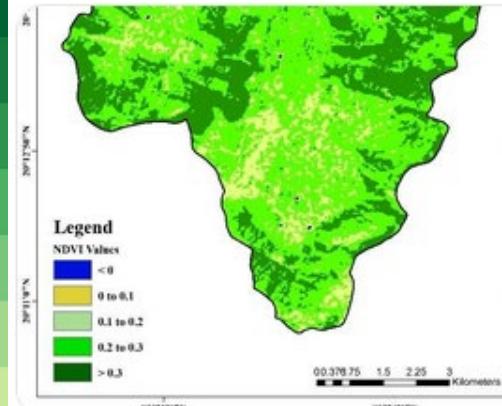
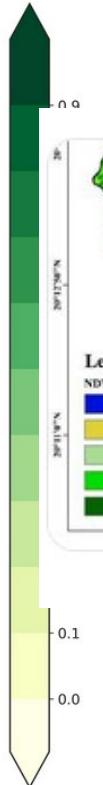
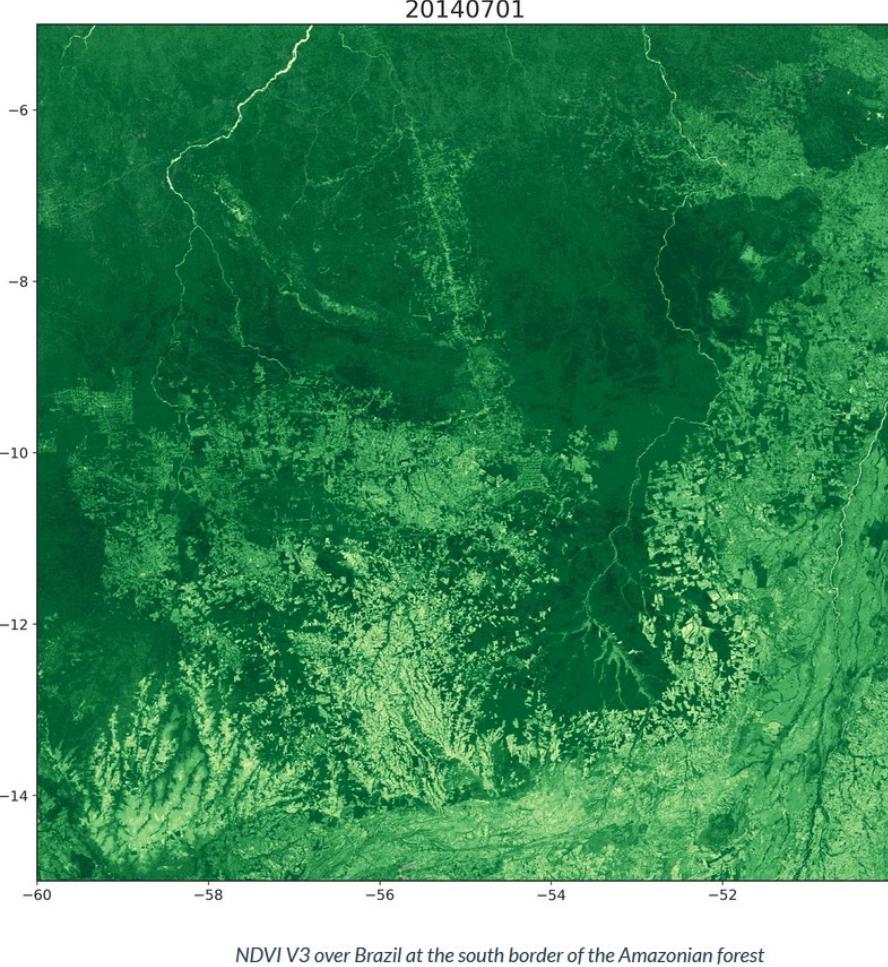


Combinaison de différentes longueurs d'onde => bilan complet de l'état de la végétation

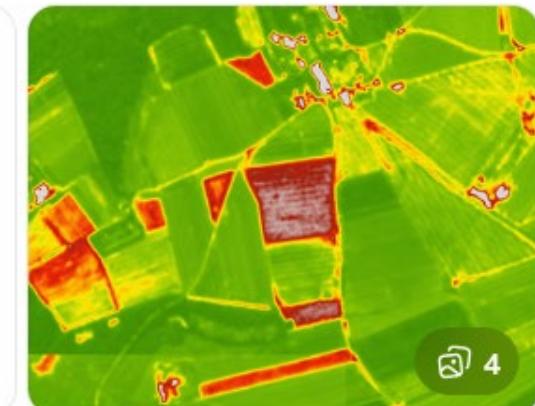
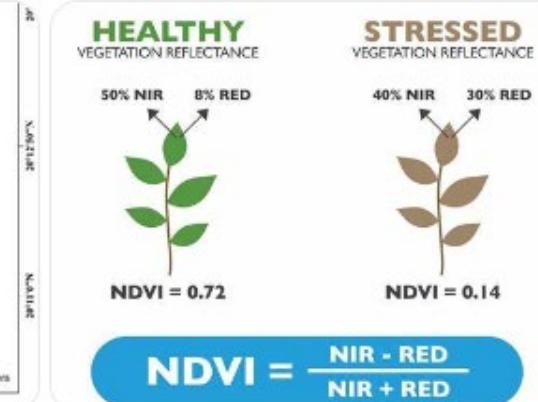
détection précoce de stress hydrique => optimisation de l'arrosage (70% de la consommation mondiale)

Probatoire : futur projet
Trishna France Inde

Suivi végétation. Index végétation



□ Exemple NDVI Normalized Difference Vegetation Index



NDVI	Vert once	
<0	Absente. Eau, ...	brun
0 – 0.2	Rare. Sol nu, roches ..	rouge
0.2 – 0.4	Jeune, clairsemée prairies sèches	jaune
0.4 – 0.6	Dense, forêts claires	Vert clair
>0.6	Dense et saine	Vert foncé

□ <https://land.copernicus.eu/en/news/clms-releases-the-new-ndvi-v3-key-features-and-user-benefits>

Observation / suivi d'événements particuliers



- Détection de Sargasses pélagiques
- Bande brune traversant l'Atlantique
- Mai 2025



Imagerie: support aux crises. Catastrophes



Tremblement de terre. Turquie Février 2023

Charte internationale d'entraide:

- 270 sat mobilisables: optique, radar,

- 100 pays utilisateurs

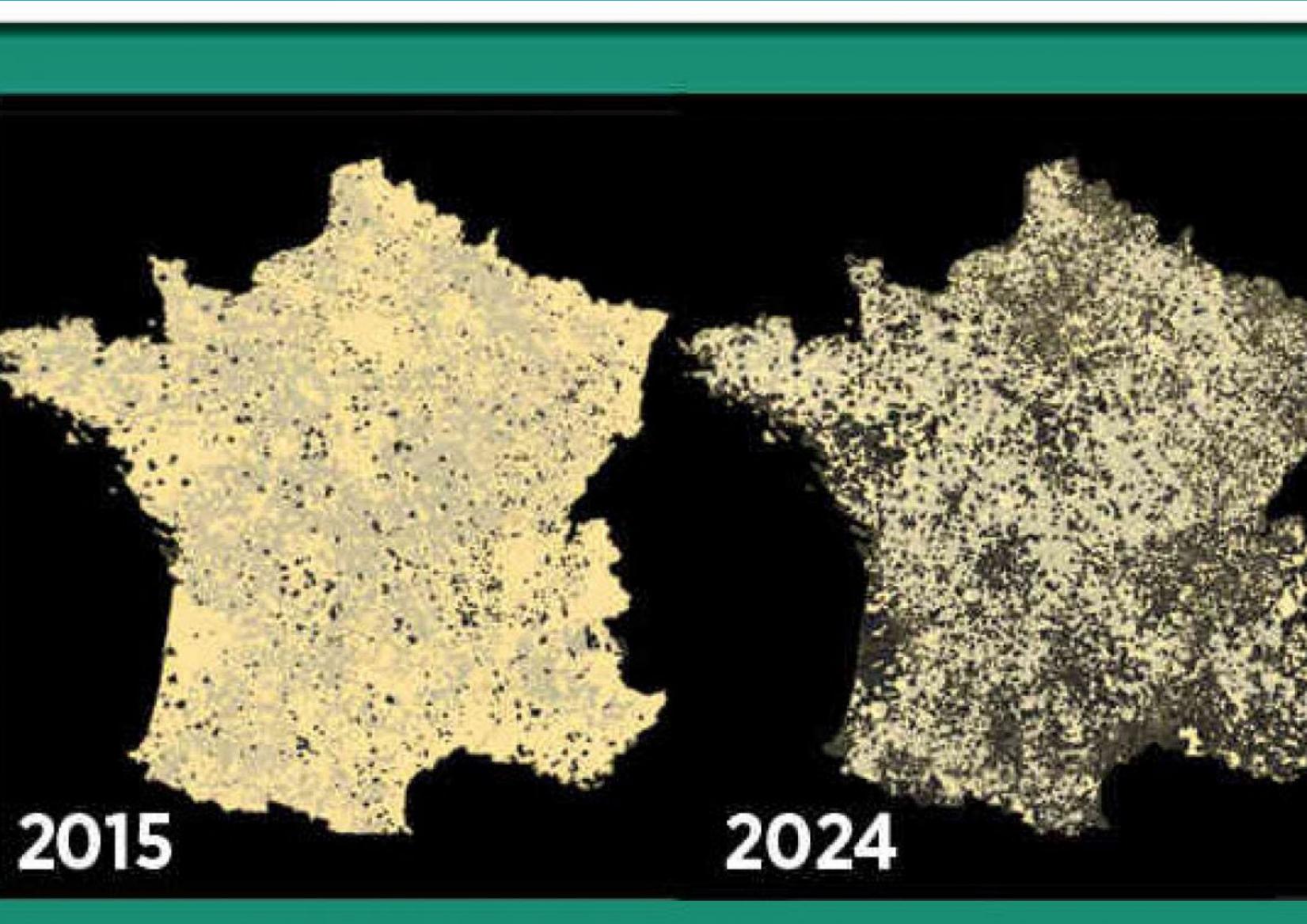
Aide à l'organisation des secours (accès, ...)

Evaluation des dégâts

Aussi

Service de communications (constellation)

La réduction drastique de l'éclairage en France en dix ans



- 62% des communes pratiquent une extinction totale des éclairages au cœur de la nuit (2024)

Déforestation



Source :

Déforestation

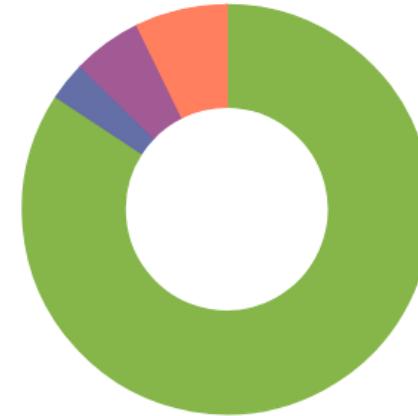


COMPOSANTES DE L'ÉVOLUTION NETTE DU COUVERT FORESTIER À L'ÉCHELLE MONDIALE



Entre 2000 et 2020, le monde a connu un changement net de **-100 Mha** (-2.4%) dans la couverture arborée.

- Forêt stable
3.6 Gha
- Gain
130 Mha
- Perte
230 Mha
- Perturbé
310 Mha



Perte

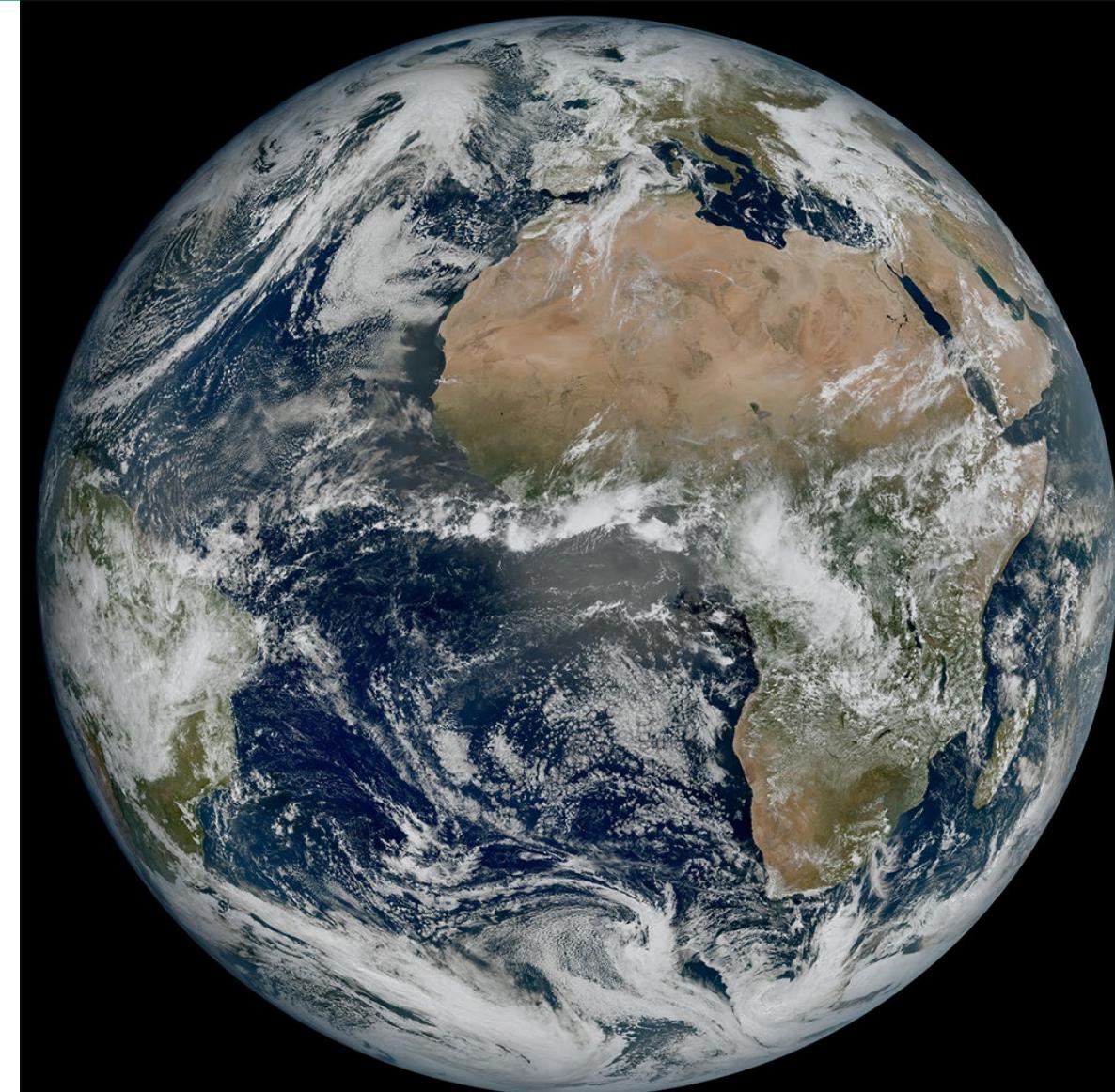
- Brute: ~4 fois la surface de la France
- nette ~ 2 fois la surface de la France

Satellites météorologiques



- Satellites sont une source essentielle de données pour les prévisions
- Satellites en Geo fournissent images couverture nuageuse en temps réel (MeteoSat: MSG, MTG)
- Insuffisant pour alimenter les modèles de prévision

;



Satellites météorologiques: Metop



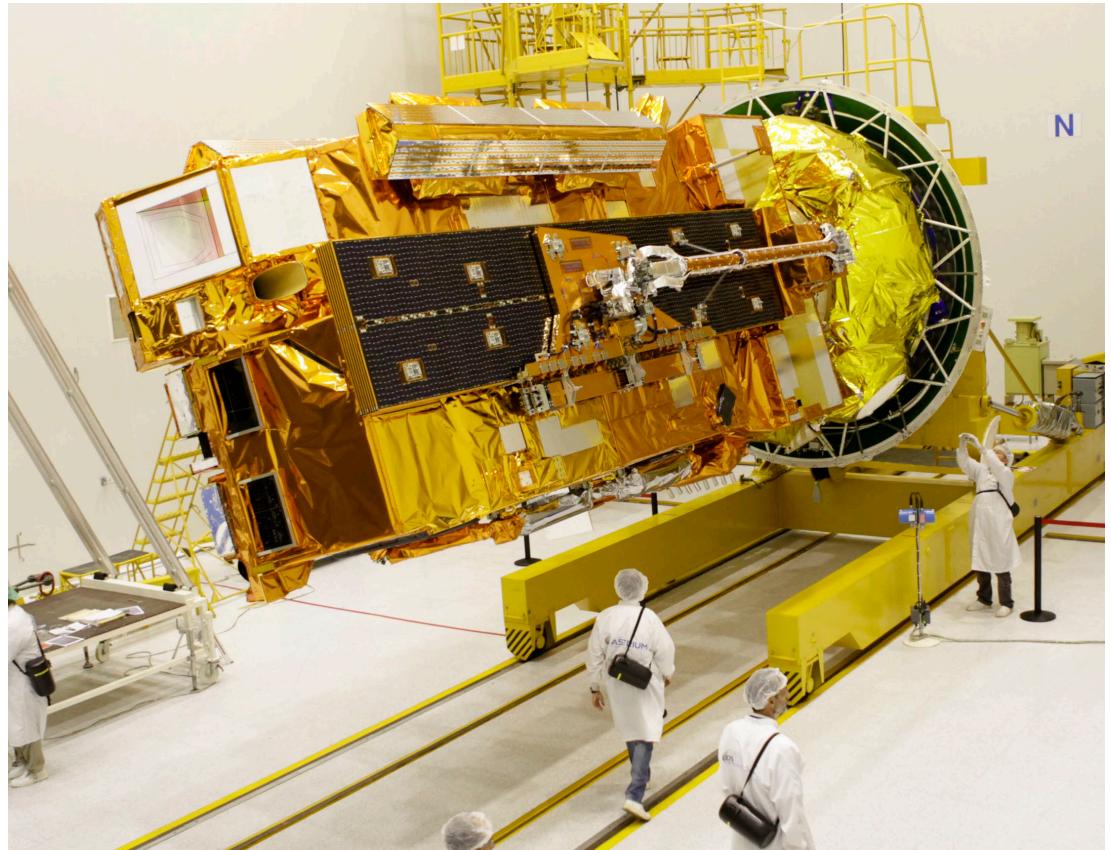
❑ Ensemble de 3 satellites

❑ Données acquises

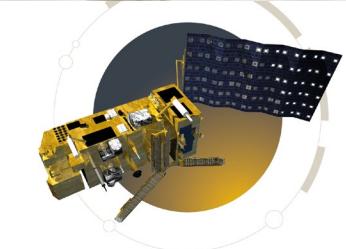
- Vitesse et direction des vents au dessus des océans
- Profils de température et d'humidité atmosphérique
- Quantité d'ozone: total et profil
- Aérosols
- Température de surface (terre et mer) , couverture nuageuse, couverture neige et glace, humidité des sols, infos végétation

❑ Différents capteurs (instruments) pour différentes mesures

❑ Ont permis d'améliorer la fiabilité et l'horizon des prévisions



Metop-SG Baikonour 2012



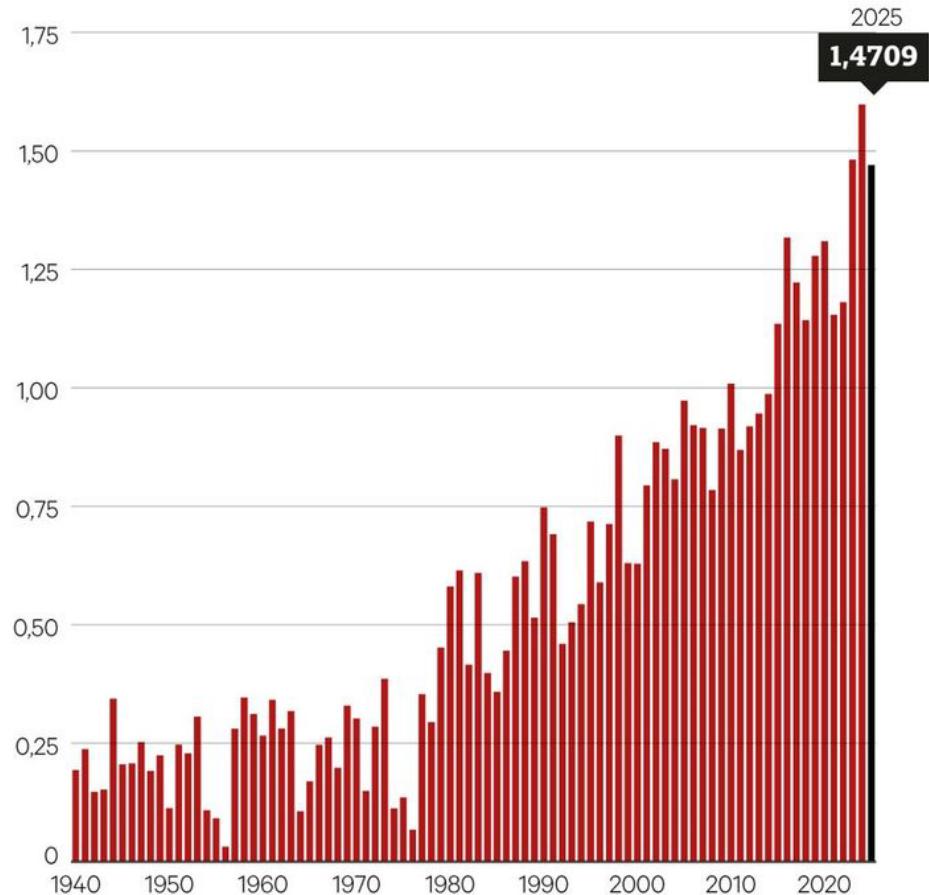
Climat: augmentation des températures



- 2025 3eme année la plus chaude dans le monde
- Marquée par évènements violents, notamment incendies (Portugal, Espagne, Californie, ...)
- 3 dernières années ont atteint + 1.5°C limite fixée à la COP 21 Paris 2015

L'évolution de la température dans le monde

En degrés Celsius, par rapport à la moyenne préindustrielle (entre 1851 et 1900)



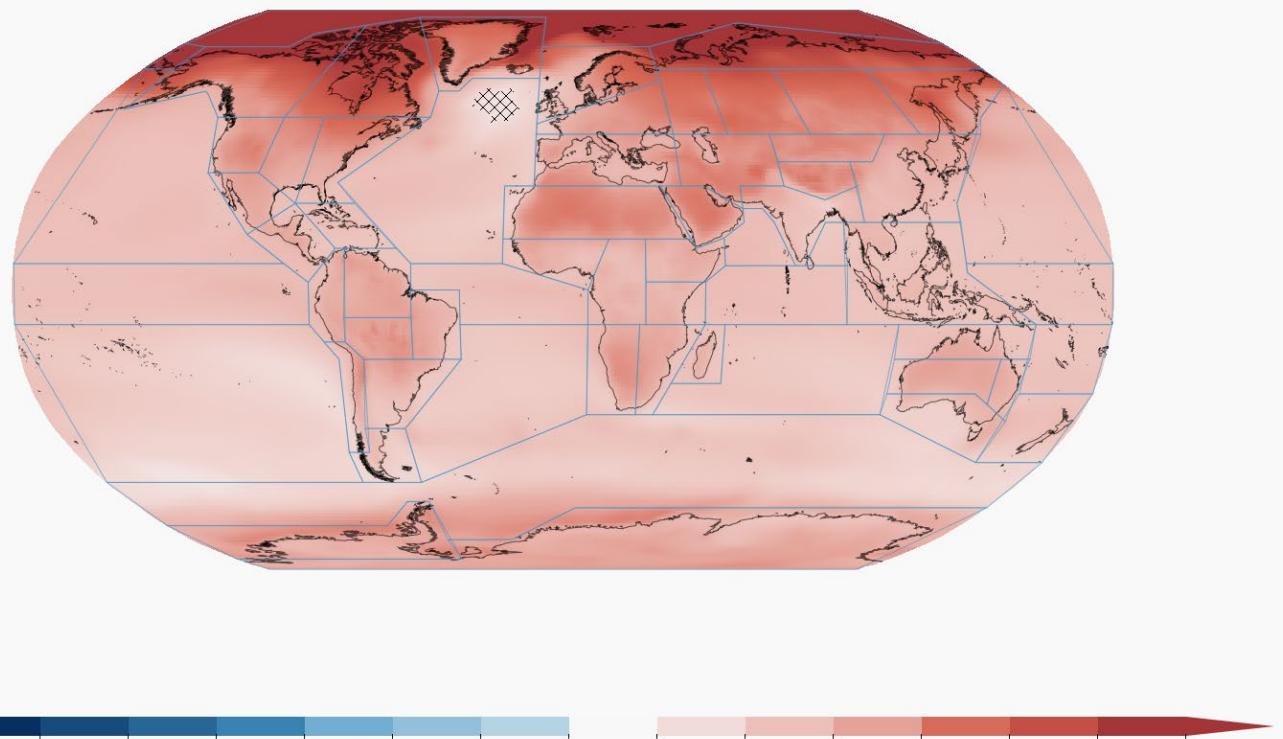
« LES ECHOS » / SOURCE : SERVICE COPERNICUS POUR LA SURVEILLANCE DE L'ATMOSPHÈRE (CAMS)

Evolution des températures



- Robust signal (original color)
- No change or no robust signal
- Conflicting signal

MEAN OF DAILY MEAN TEMPERATURE - CMIP6 - CHANGE - REL. TO
1850-1900 - WARMING 2°C - ANNUAL
Credit: C3S/ECMWF. Atlas version 2.3



Avec une température moyenne à +2°C (seuil max COP 21 Paris 2015)



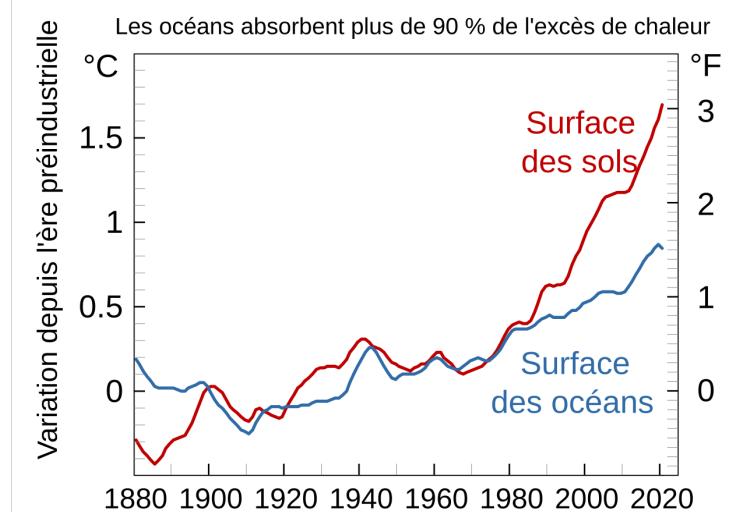
PROGRAMME OF
THE EUROPEAN UNION



IMPLEMENTED BY



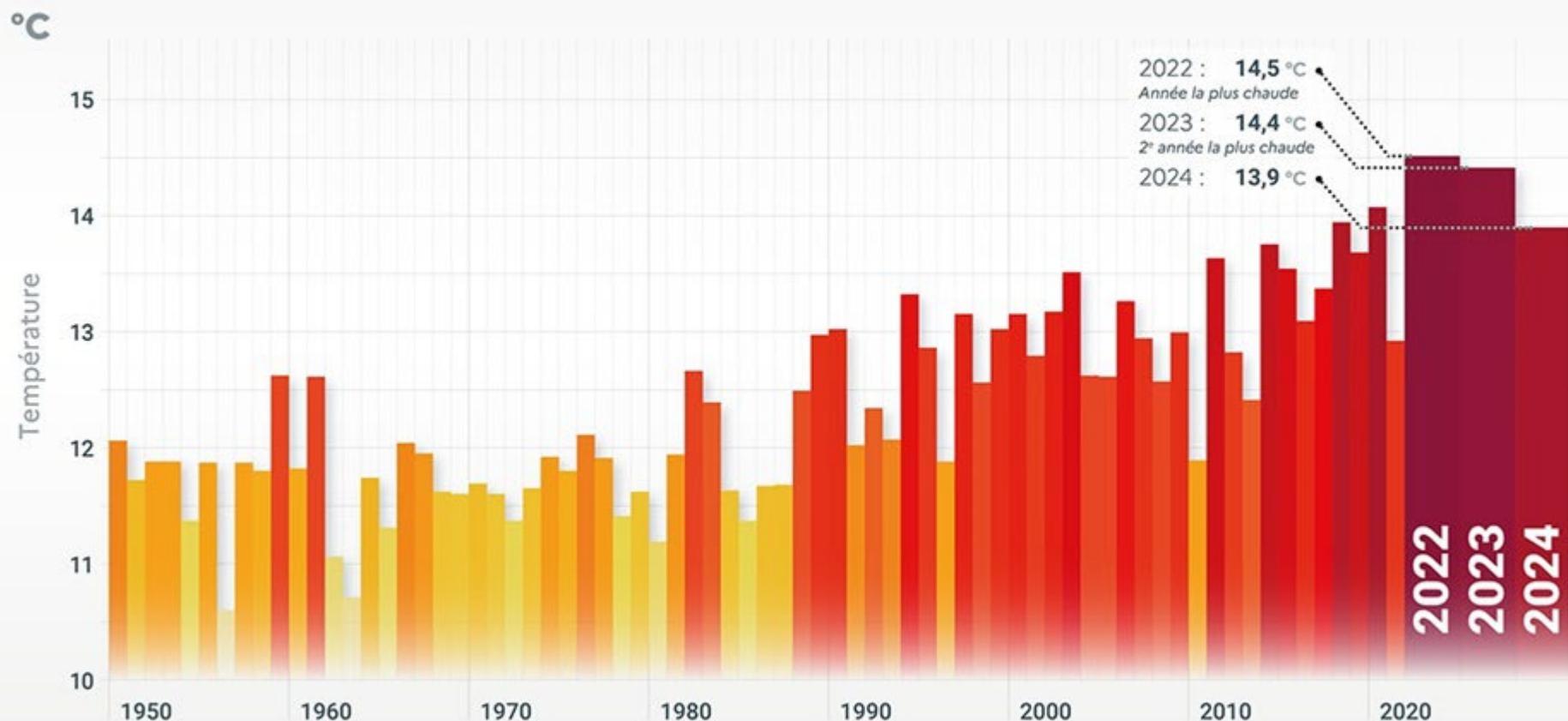
- ❖ Inégale en fonction mer / terre – localisation
- ❖ L'augmentation des températures n'est pas la seule conséquence
- ❖ Dérèglement climatique
- ❖ Augmentation des occurrences et de l'intensité des phénomènes violents
- ❖ Pluies intenses, inondations, ouragans, , ...



Augmentation température moyenne en France



TEMPÉRATURE MOYENNE ANNUELLE EN FRANCE HEXAGONALE ET CORSE

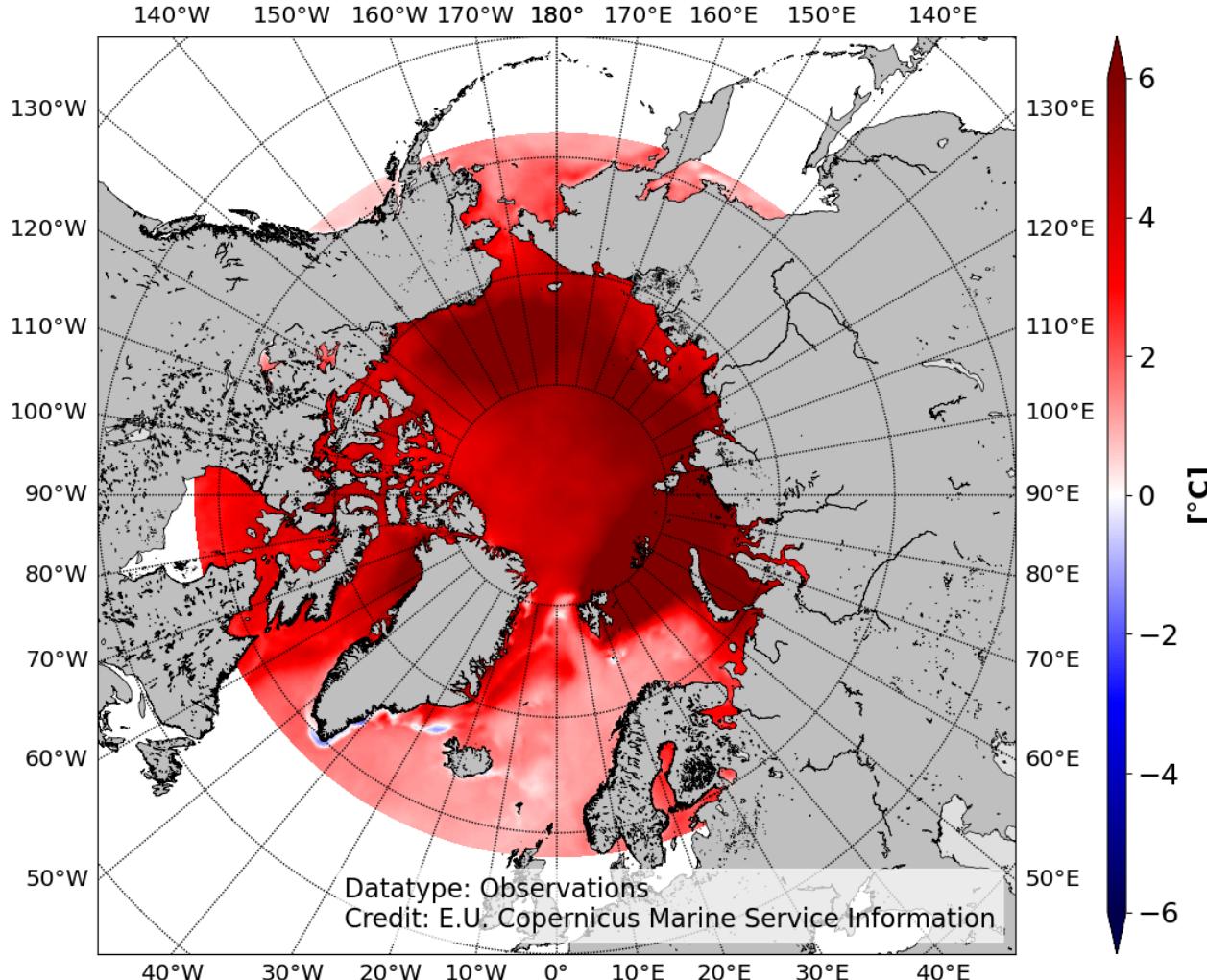


METEO FRANCE

Evolution des températures: arctique



Surface Temperature Trends in the Arctic 1982-2024

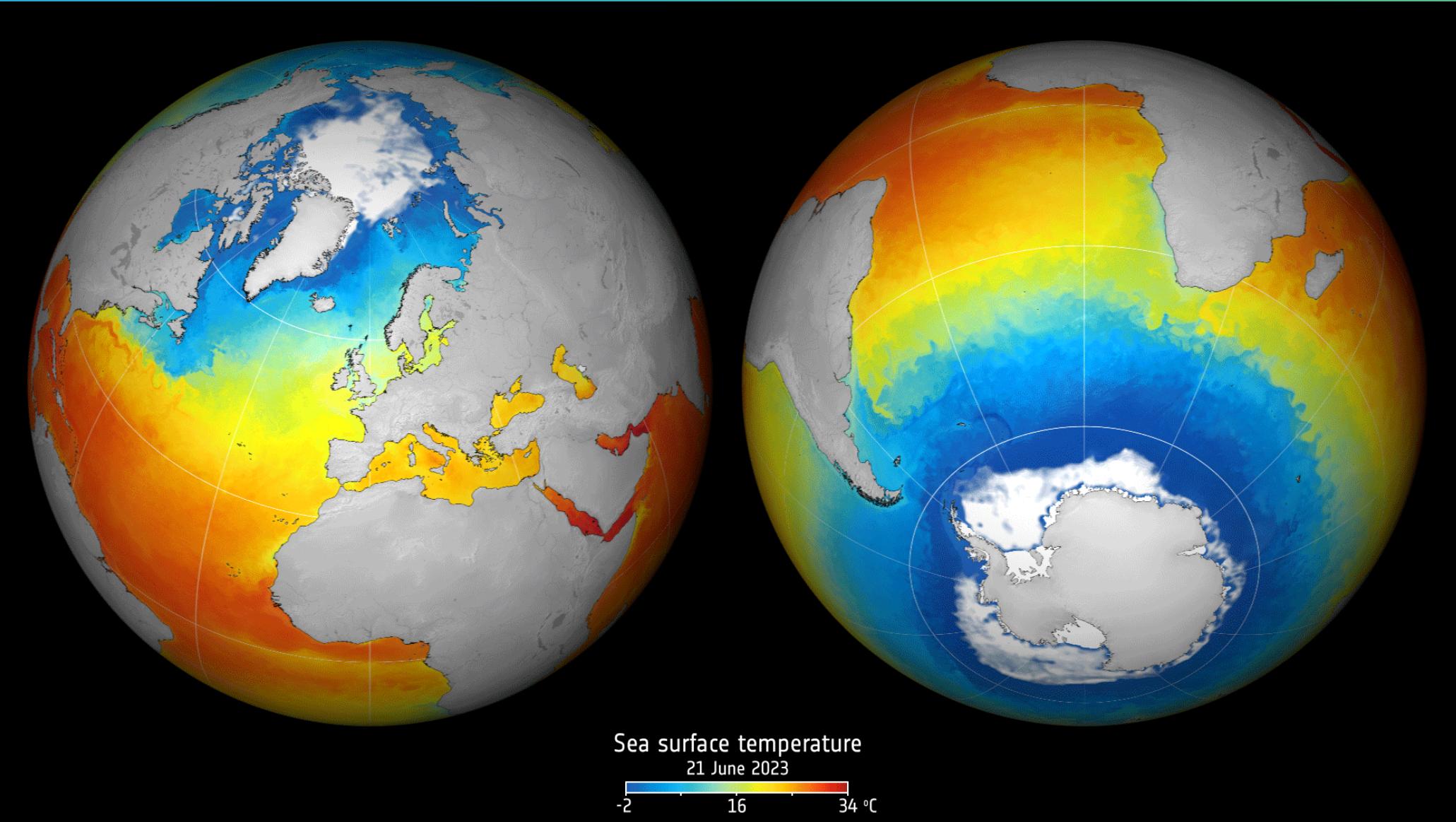


La région arctique se réchauffe > 2 fois plus vite que la moyenne mondiale

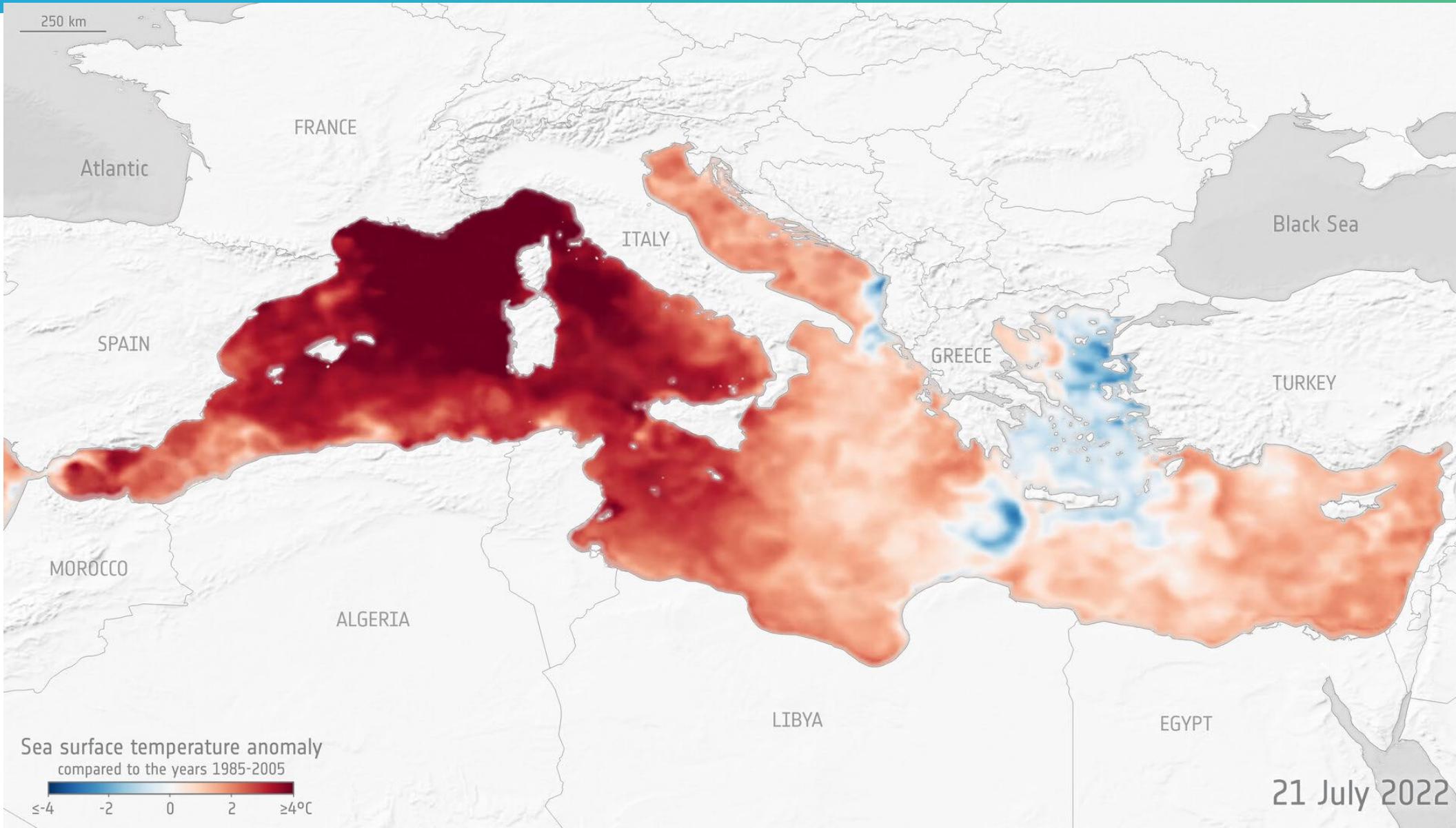
Figure: Cumulative trends in combined sea and sea-ice surface temperature anomalies calculated from 1982 to 2024 for the Arctic Ocean (OMI_CLIMATE_sst_ist_ARCTIC_sst_ist_trend). Trend calculations are based on the multi-year Arctic Ocean L4 SST/IST satellite product SEAICE_ARC_PHY_CLIMATE_L4_MY_011_016.

https://data.marine.copernicus.eu/product/OMI_CLIMATE_SST_IST_ARCTIC_trend/description

Température de surface des mers



Anomalie Méditerranée: été 2022.



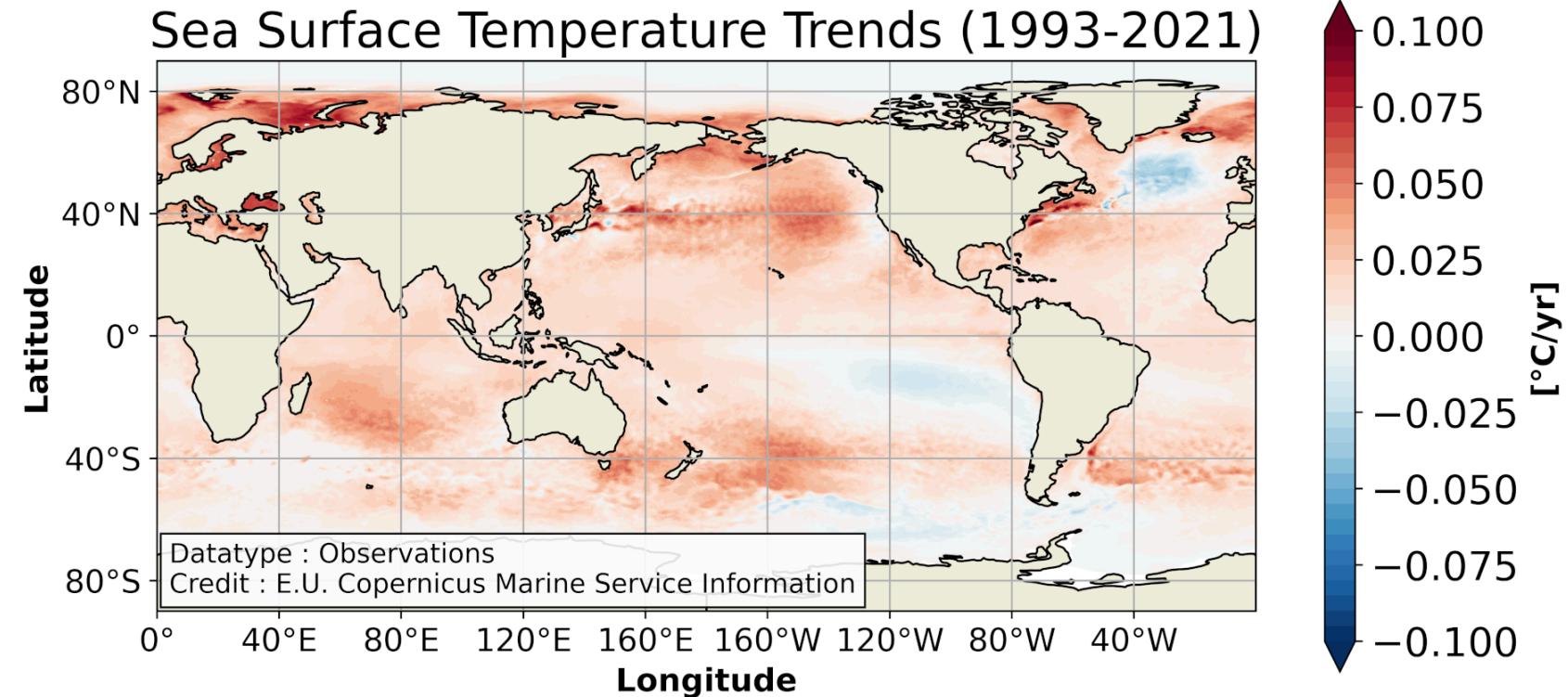
□ 21/07/2022

□ Jusqu'à +5°C
vs T moyen
(1985-2005)

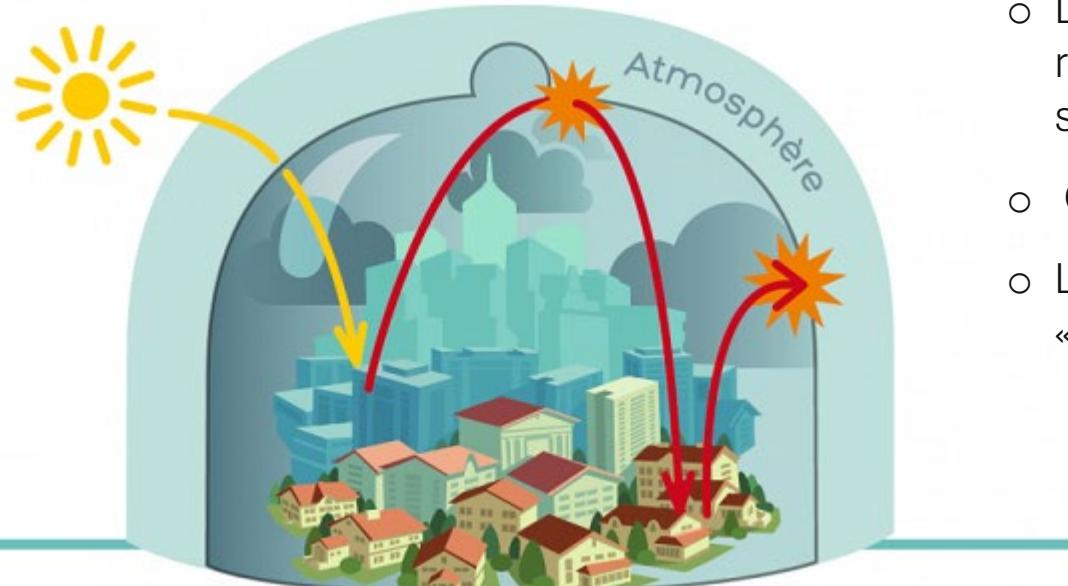
Augmentation de la température des mers



- Sur la période 1993-2021:
 - Les températures de surface de la mer ont augmenté en moyenne de plus de $0,4 (\pm 0,02)$ °C
 - Les mers peu profondes et (semi-) fermées se sont réchauffées davantage que la moyenne mondiale.

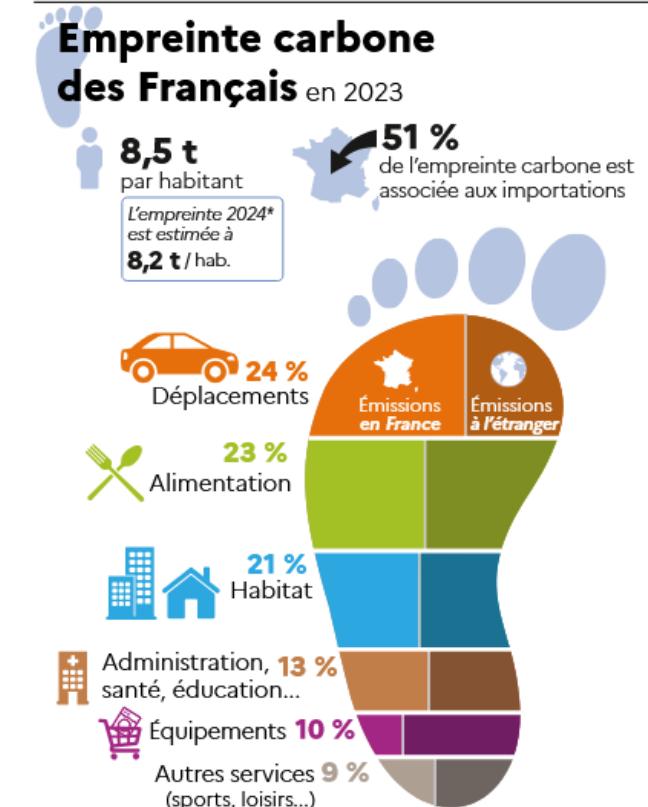


Le changement climatique. L'effet de serre



- La vapeur d'eau et les nuages représentent 70 % de l'effet de serre.
- Cette valeur est constante
- L'augmentation des GES « anthropiques » est la cause

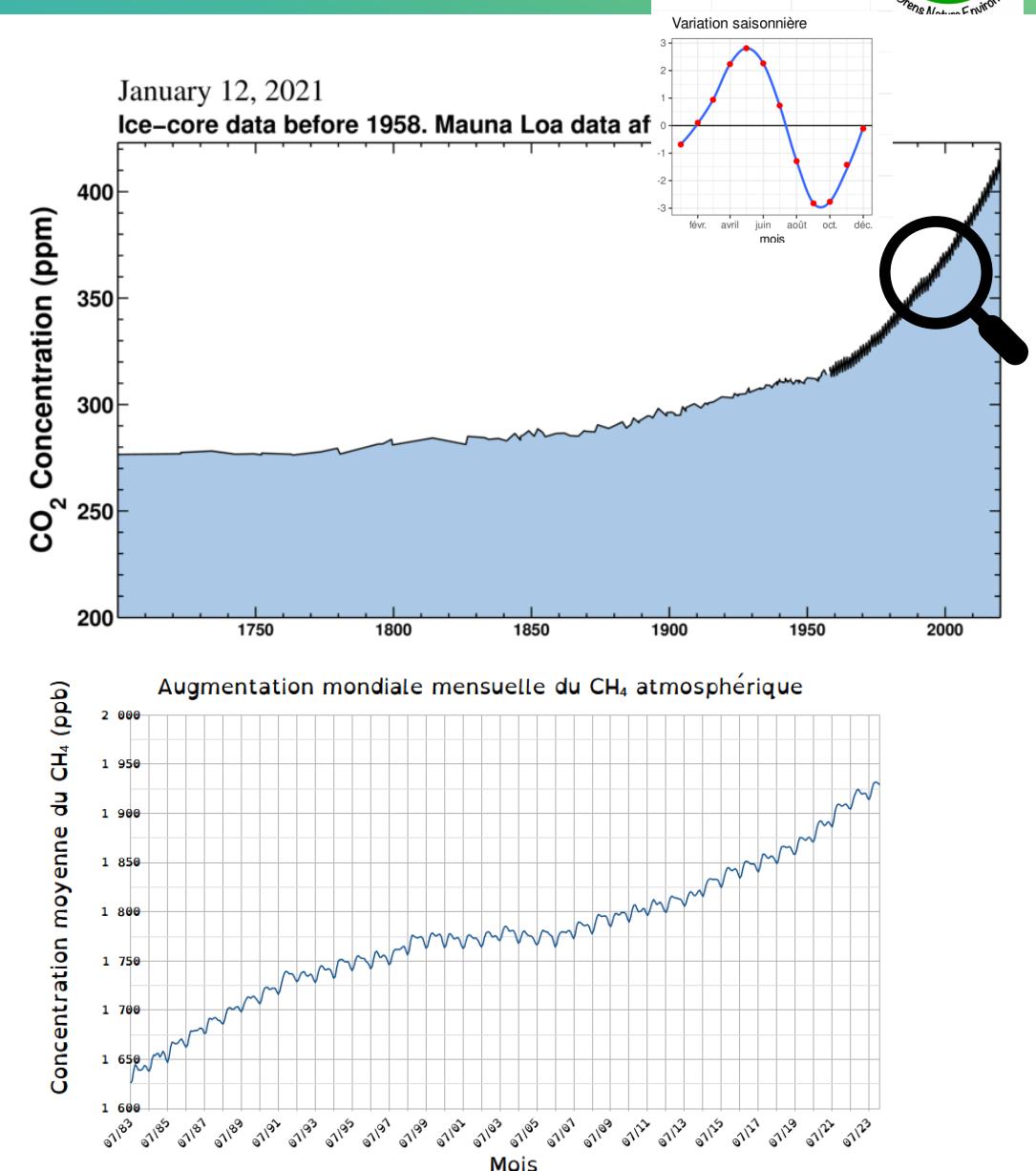
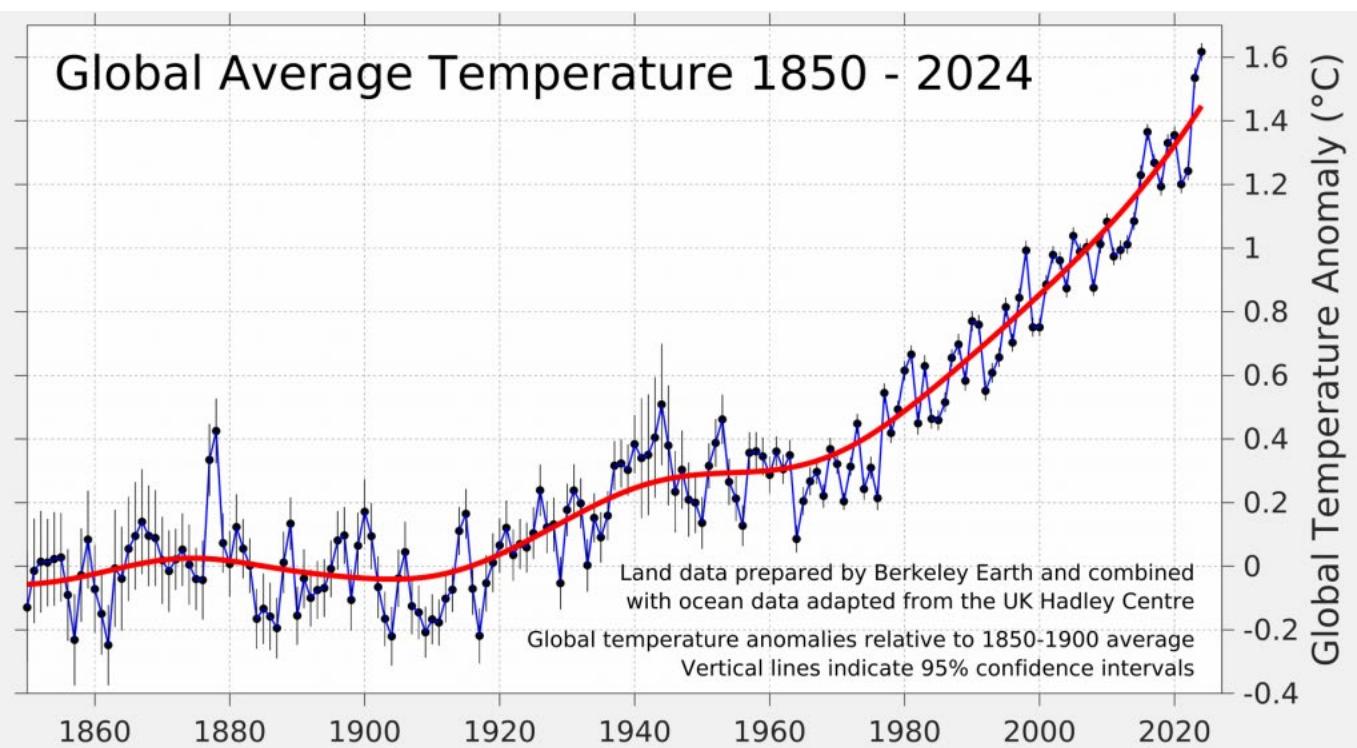
Principaux Gaz à effet de serre (hors H ₂ O)	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Concentration atmosphérique (ppmV)	425	2	
Pouvoir de réchauffement	X 1	X 30	X 273
Empreinte Carbone	74 %	18%	5%



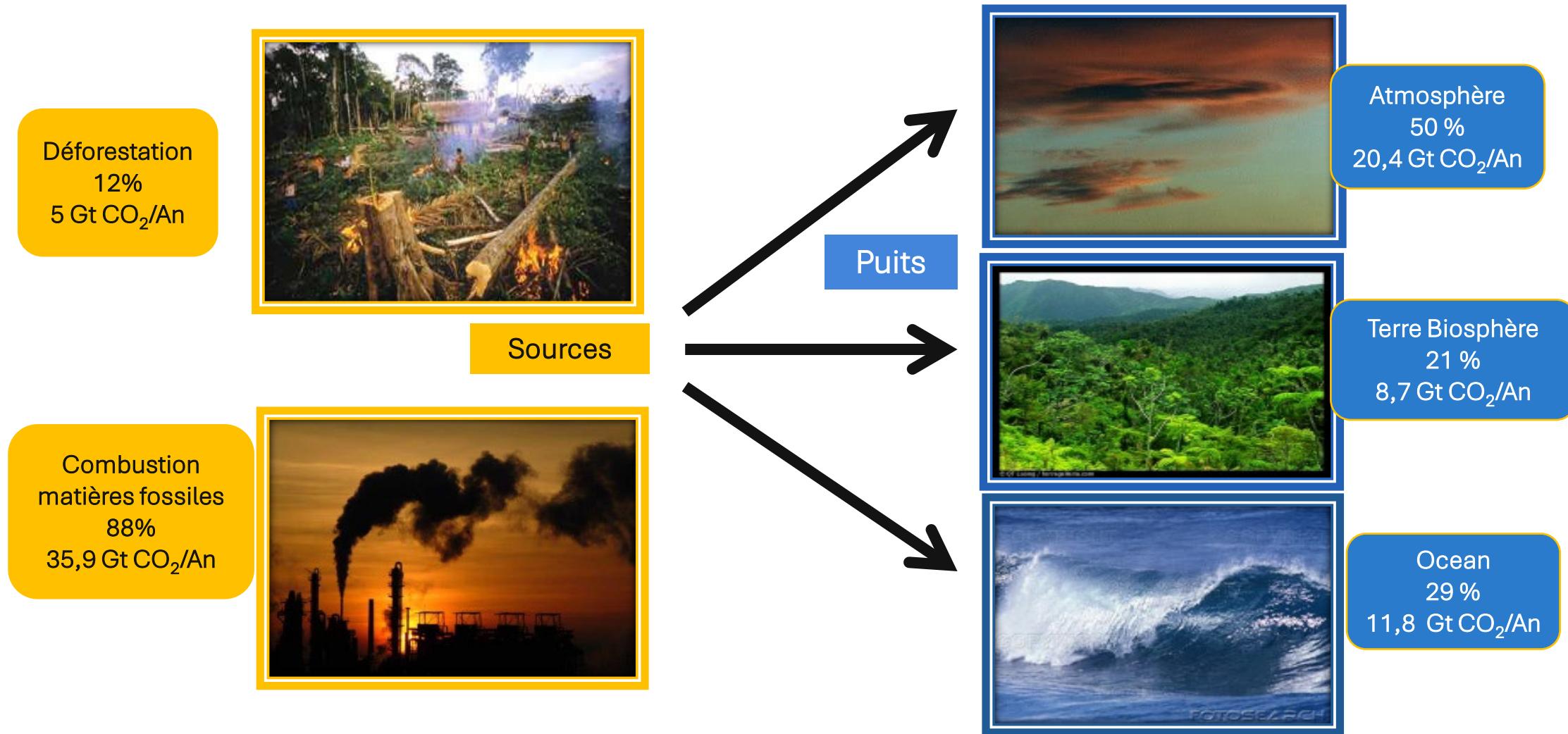
Le changement climatique: causes



- ❑ L'augmentation de la concentration en GES liée à l'activité humaine est à l'origine du changement climatique



Flux CO₂ – 2015-2024



Le GIEC



A défini 24 variables dont il suit l'évolution

Variables atmosphériques: état et l'évolution du climat :

- Température moyenne globale (air et surface)
- Température troposphérique et stratosphérique
- Précipitations (quantité, intensité, répartition)
- Humidité atmosphérique
- Circulation atmosphérique (jets, moussons, vents dominants)
- Fréquence et intensité des événements extrêmes (canicules, sécheresses, pluies extrêmes, cyclones)

Concentrations de gaz à effet de serre

(comprendre le forçage climatique) :

- CO₂ (dioxyde de carbone)
- CH₄ (méthane)
- N₂O (protoxyde d'azote)
- Gaz fluorés
- Aérosols (sulfates, carbone noir, poussières)

Océans

Essentiels car absorbent chaleur et CO₂ :

- Température des océans
- Niveau moyen des mers
- Acidification des océans (pH)
- Salinité
- Courants océaniques
- Contenu thermique océanique

Cryosphère (glaces et neige)

Indicateurs très sensibles au réchauffement :

- Étendue et masse des glaciers
- Calottes glaciaires (Groenland, Antarctique)
- Banquise arctique et antarctique
- Couverture neigeuse
- Pergélisol (permafrost)

Les observations satellitaires contribuent de façon massive à ces variables (80 %)

Epaisseur des glaces: Cryosat-2 (ESA)



❑ Mesure surface et épaisseur des glaces polaires

- Glaces de mer (banquises)
- Glaces de terre (Calottes)

❑ Mesure par radar

❑ Précision de 1 cm

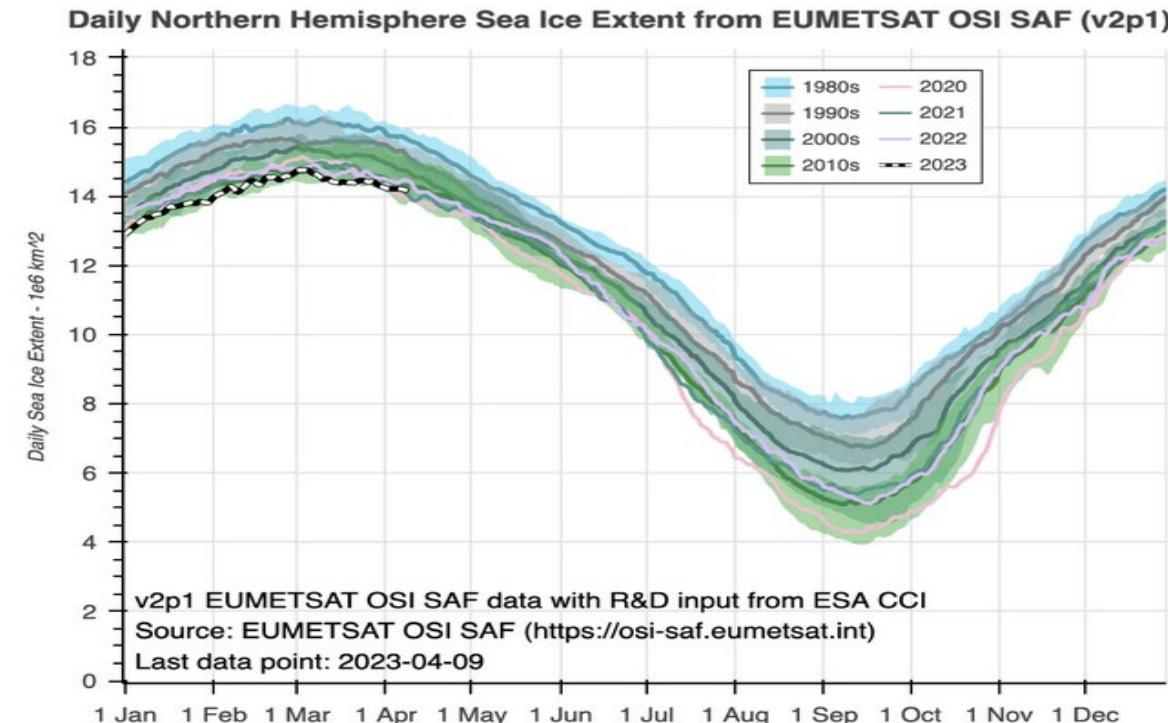
❑ Lancé en 2010



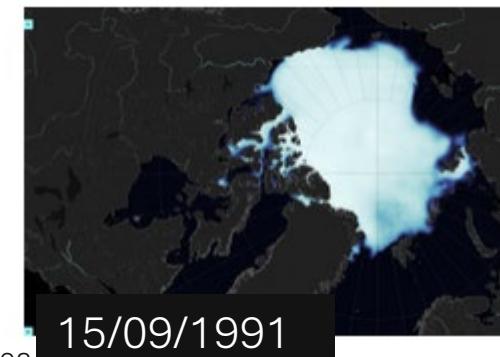
Fonte de la glace de mer arctique



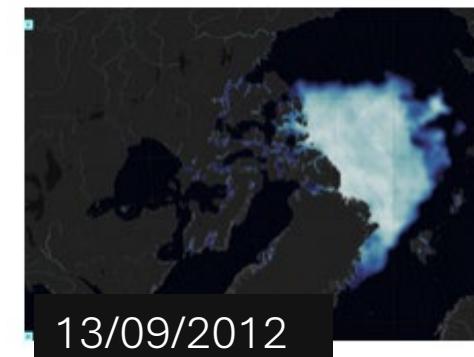
- De 1979 à 2021: Perte de 2.4 Millions de km² (soit x6 surface de l'Allemagne, soit 12.5 % par décennie)
- La fonte de la glace entraîne un réchauffement + important (albedo)
- Disparition possible au cours du siècle
- Rôle clé de l'arctique
 - Régulation température mondiale
 - Circulation océanique
- Augmentation teneur en eau douce
- Augmentation acidité (CO₂)



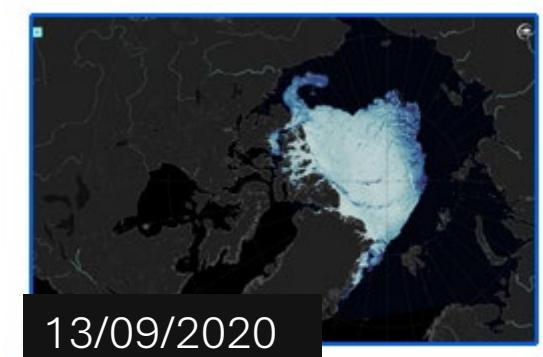
<https://marine.copernicus.eu/fr/ocean-climate-portal/arctic-sea-ice>



15/09/1991



13/09/2012

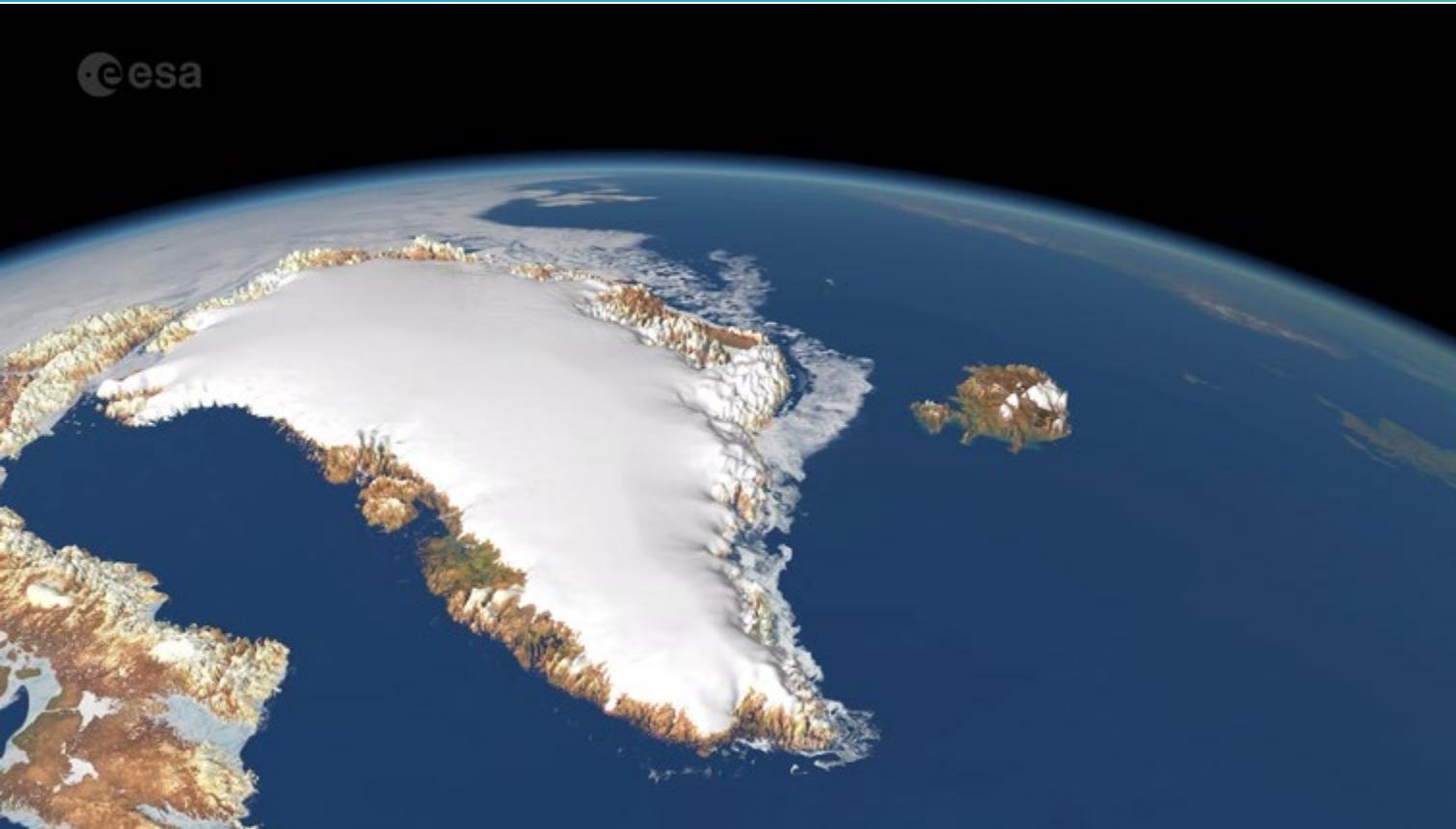


13/09/2020

Fonte de la calotte glaciaire. Groenland



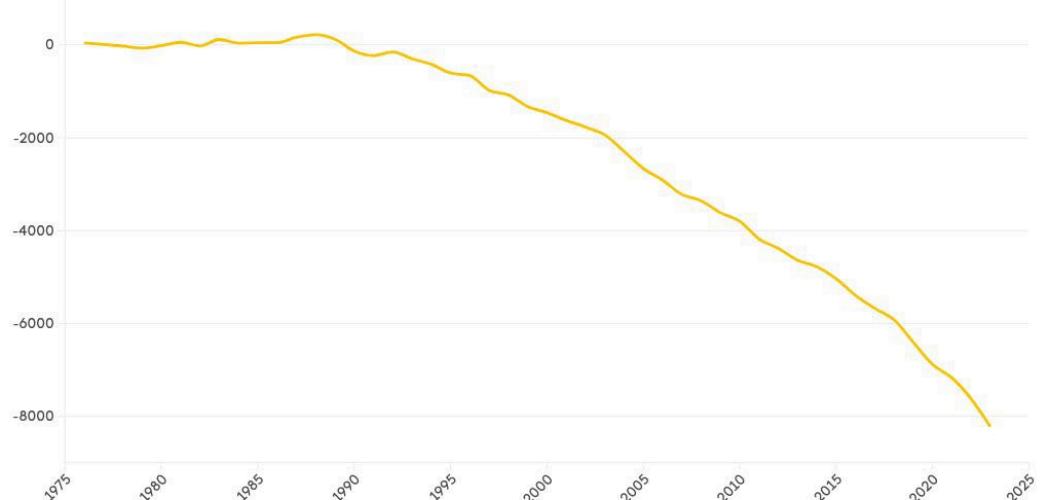
esa



Fonte des glaciers

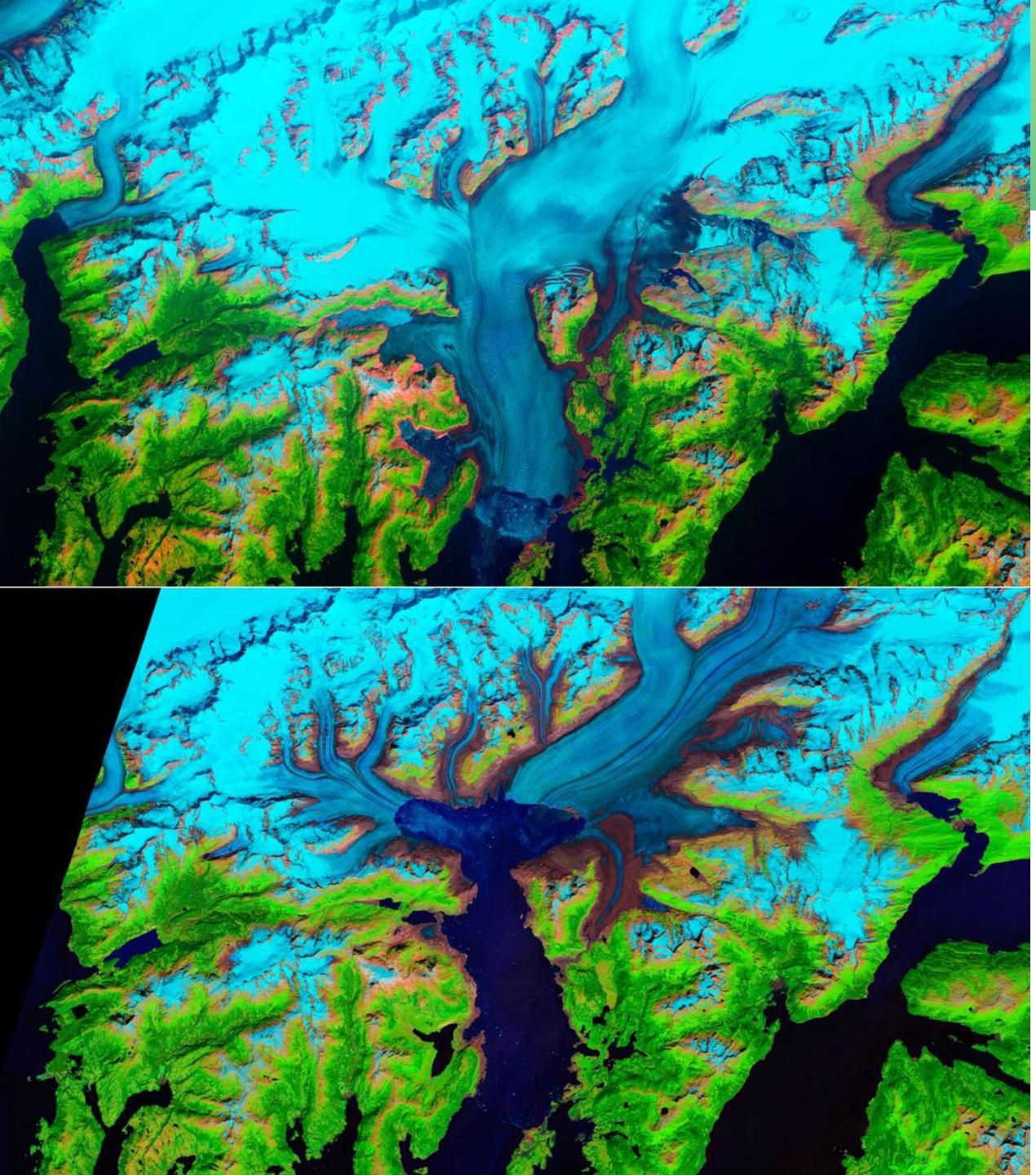
- Glacier de Columbia, dans les Rocheuses canadiennes,
- **Images prises à 28 ans d'intervalle (1986 et 2014)**
- **Le glacier recule actuellement de 5 à 10 mètres par jour**

Massé des glaciers dans le monde de 1976 à aujourd'hui
en gigatonnes



Source : Copernicus

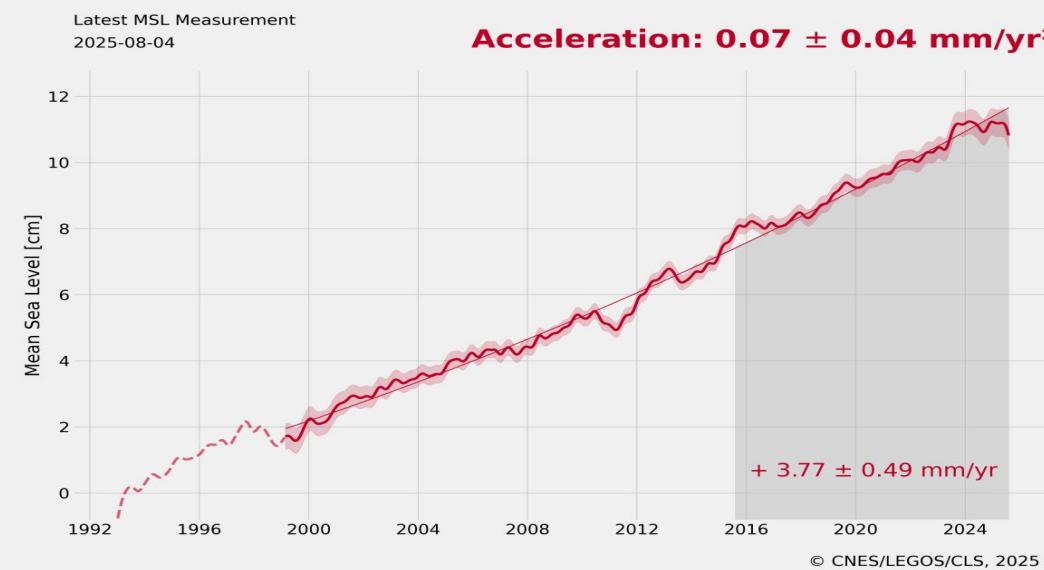
franceinfo



Altimétrie. JASON (France USA) Sentinel 6 (UE-USA)



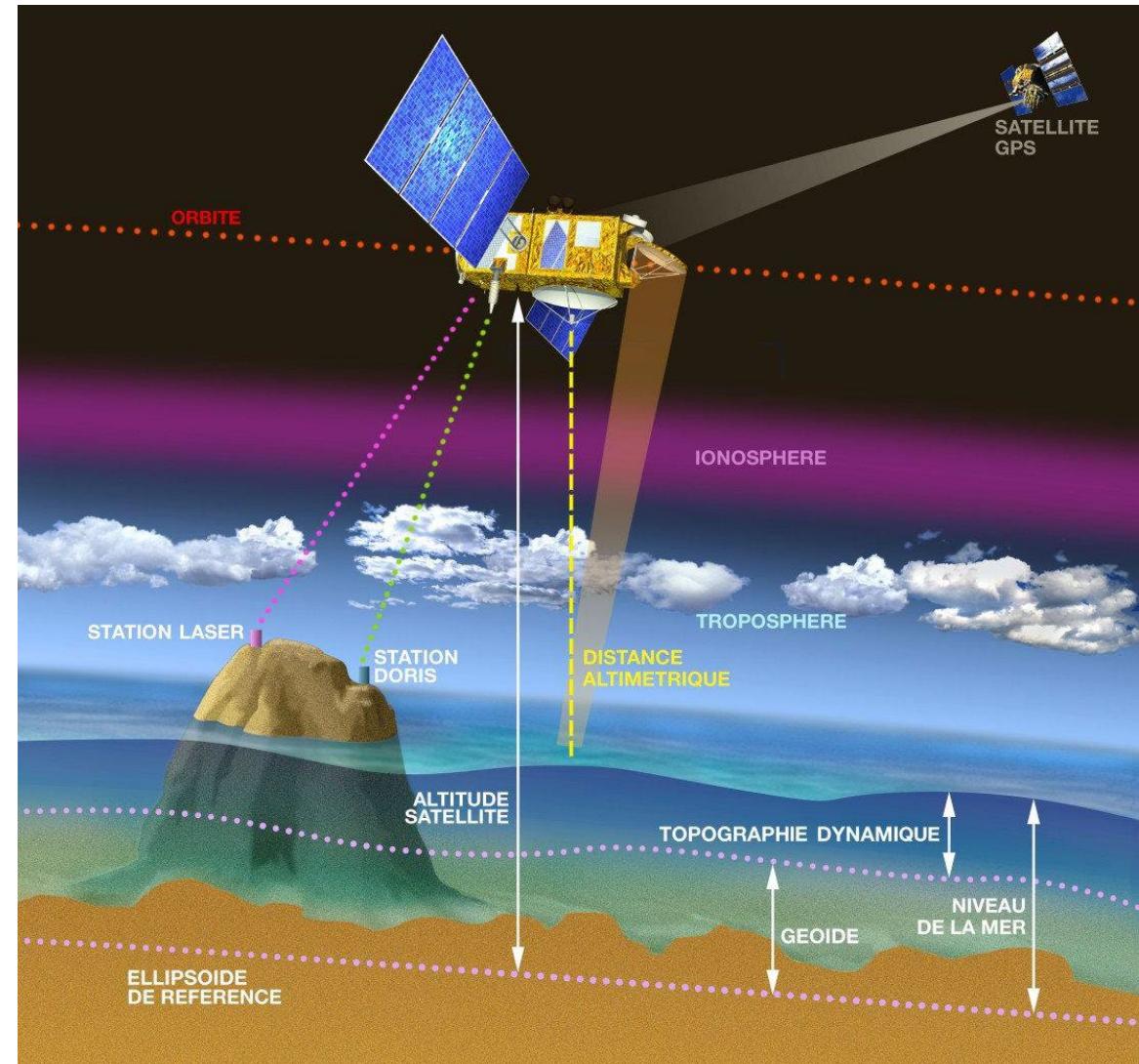
ÉVOLUTION DU NIVEAU MOYEN DES MERS DU GLOBE DEPUIS 1993



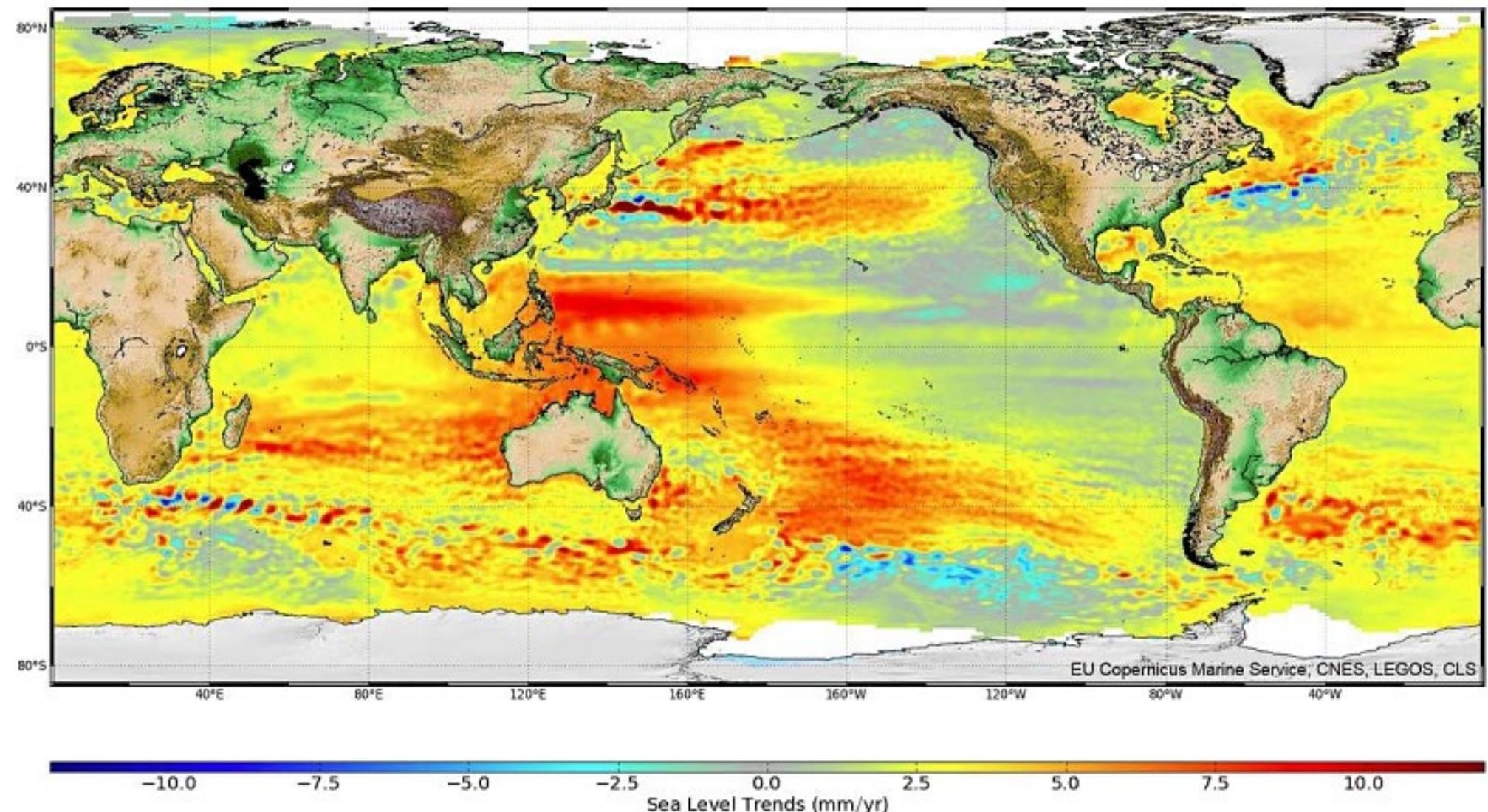
23

- De 1993 à 2025: + 12 cm
- Le taux d'élévation du niveau marin s'accélère
- 60 % : fonte glaciers et calottes glaciaires
- 30%: dilatation liée à augmentation température de l'eau
- 10 %: changement dans le stockage de l'eau sur terre (humidité des sols, ... 'ex/ en Europe 84 Gtonnes perdues par an)

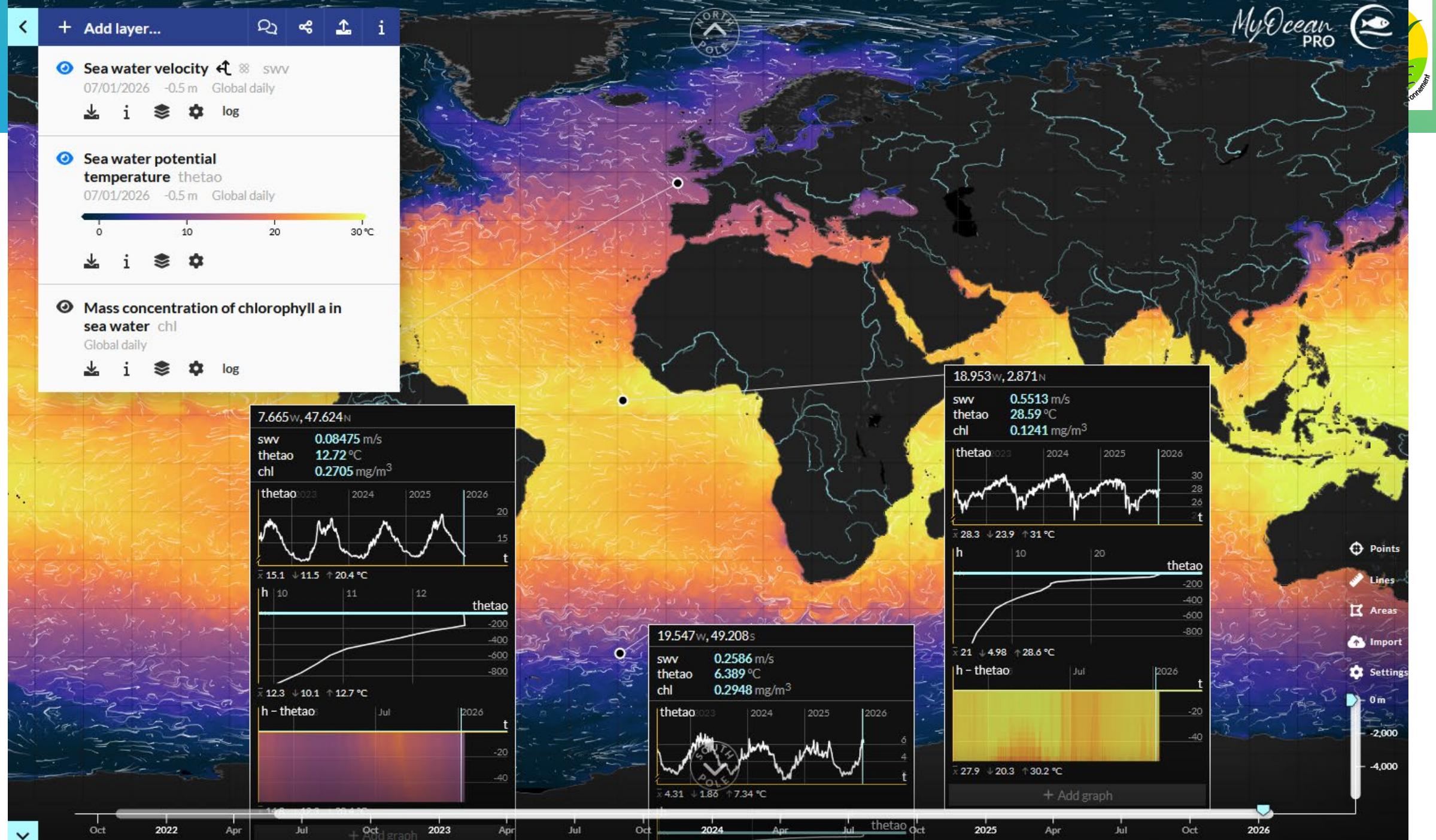
<https://cnes.fr/projets/sentinel-6/en-details>



Variation de la hauteur des mers



Vitesse de variation du niveau de la mer sur la période 1993-2011 | Source : EU Copernicus Marine Service, CLS, Cnes, Legos



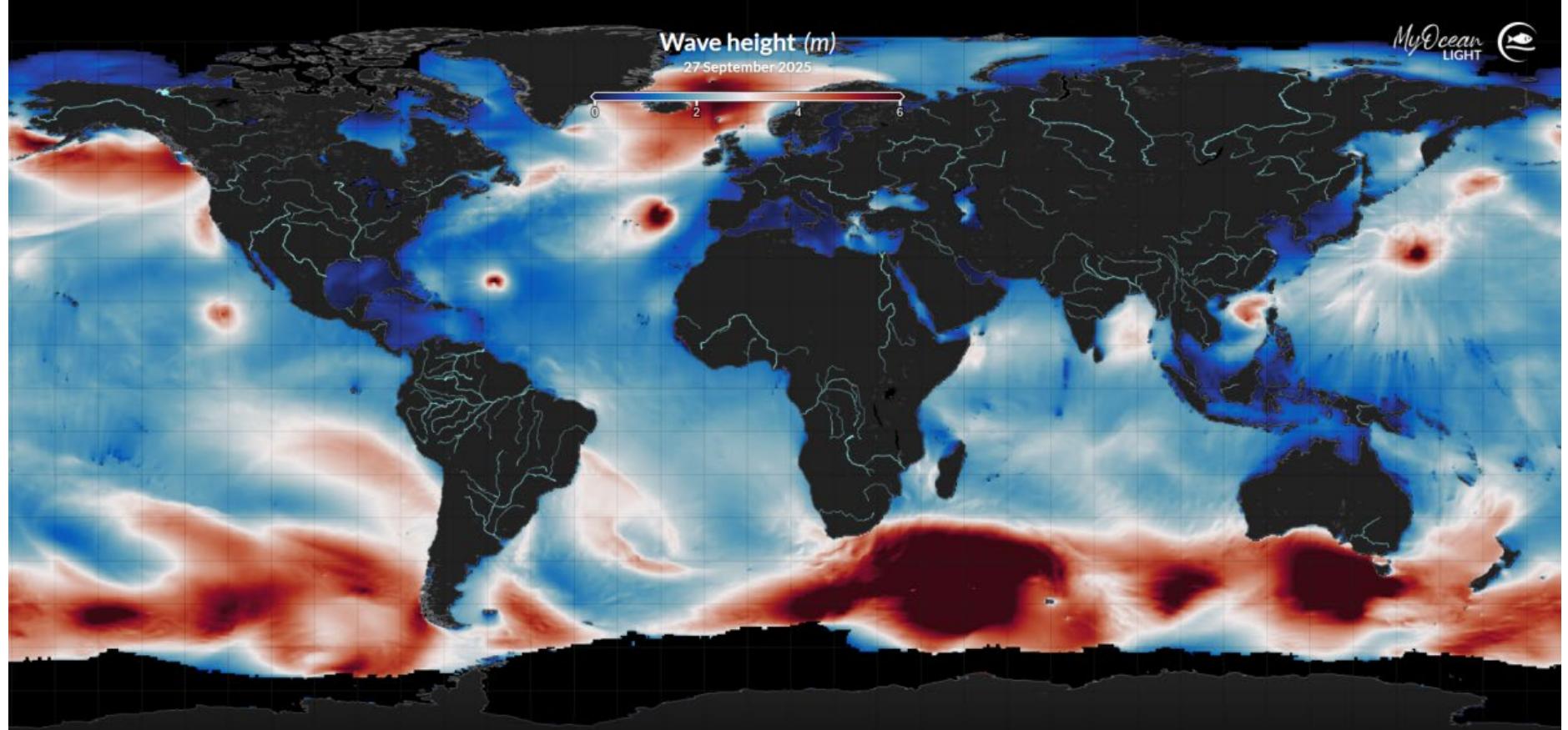
Altimétrie. JASON (France USA) Sentinel 6 (UE-USA)



Autres produits:

- hauteur moyenne des vagues,
- vitesse du vent de surface

Application pour la navigation: sécurité maritime, routage



Prévision de hauteur moyenne des vagues au 27/09/2025.

Le modèle assimile les données des satellites altimétriques dont Sentinel-6 © Copernicus Marine Environment Monitoring Service

Ressources en eau (hydrologie): SWOT



- ❑ Caractérisation des hydrosystèmes de surface (lacs, réservoirs et zones humides): niveau, largeur, pente (plus de 30 M de lacs de surface > 1 ha)
 - ❑ Estimations des débits (fleuves),
 - ❑ Mesure des courants marins.
 - ❑ Détermination des variations temporelles de stock d'eau
- Mieux comprendre le [cycle de l'eau](#) et maîtriser avec une plus grande précision les ressources en eau

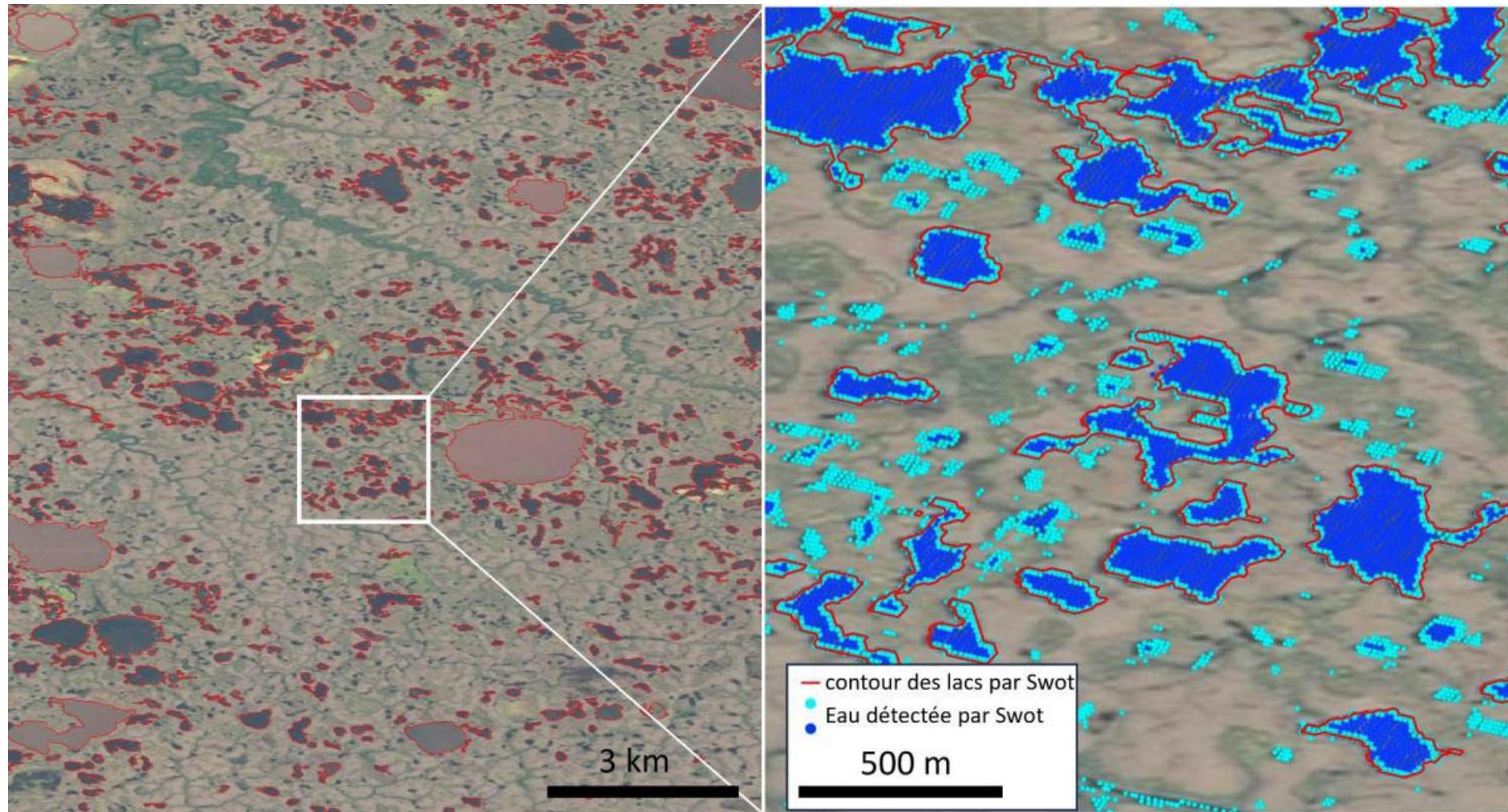


- ❑ France / USA
- ❑ Lancement decembre 2022
- ❑ Radar

SWOT: un exemple



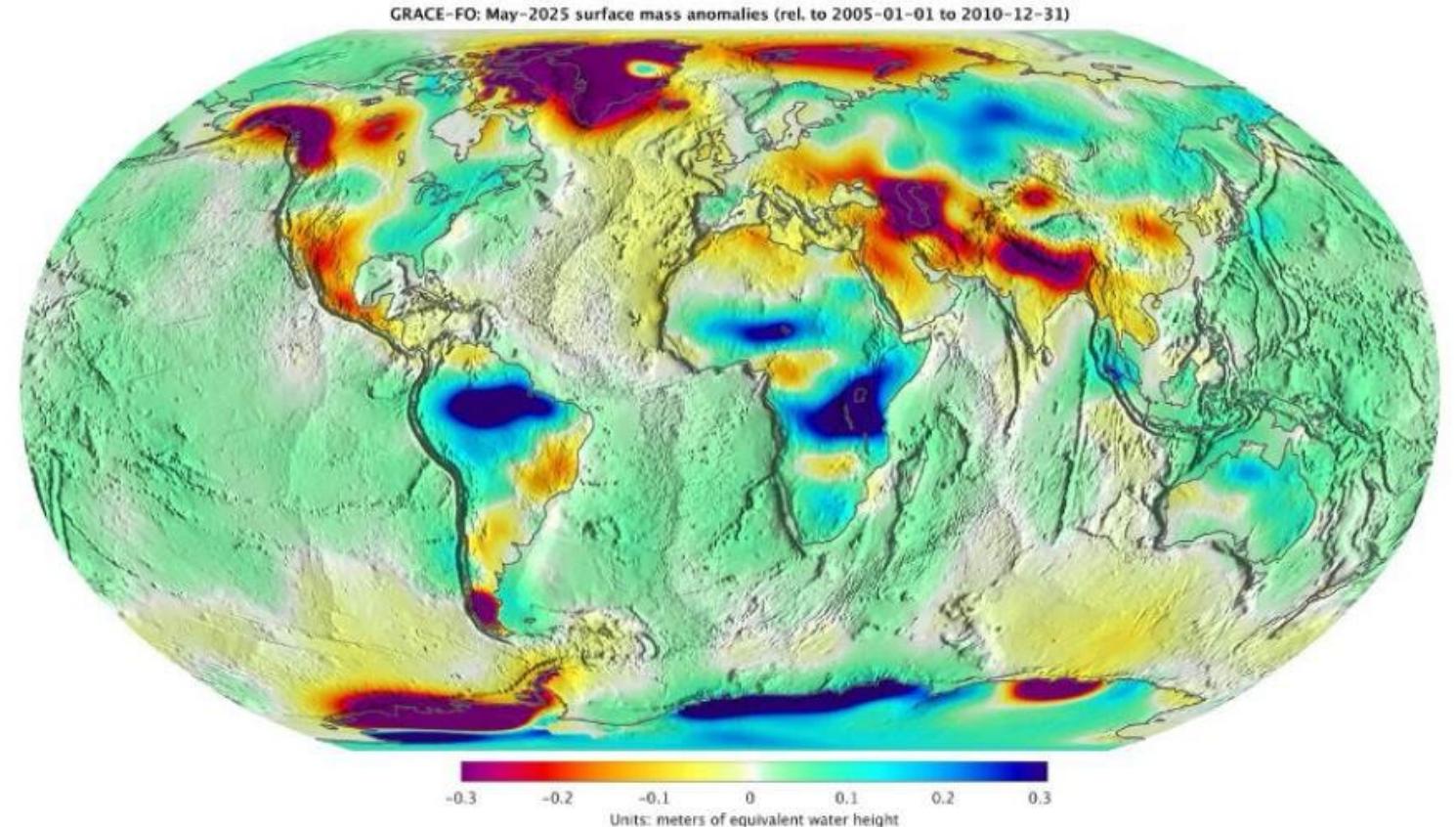
- Identification des plans d'eau
- Delta du Yukon (Alaska, États-Unis) le 18 juin 2023. © T. Pavelsky, University of North Carolina



Eau douce

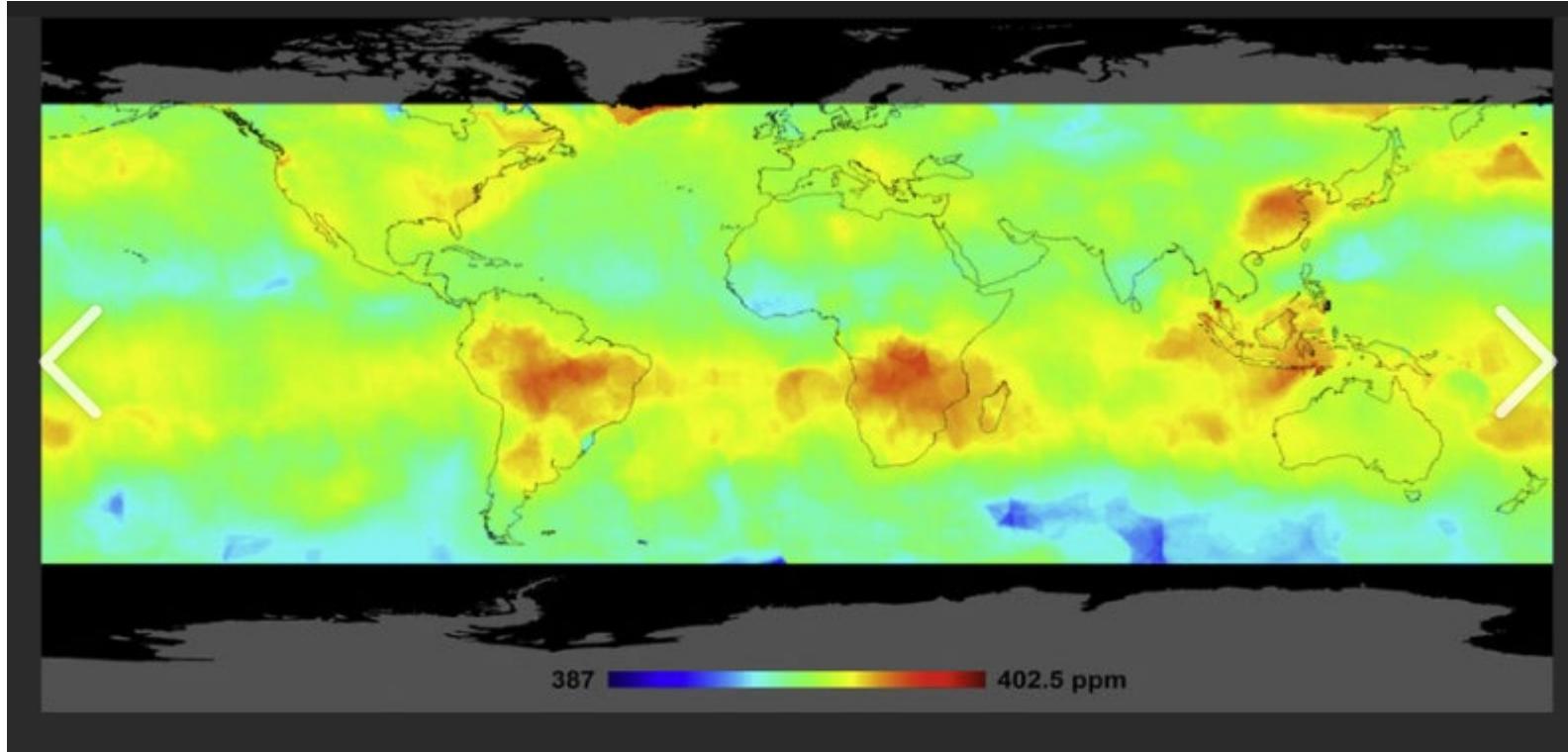


- Evolution des réserves en eau entre moyenne 2005-2010 et mai 2025
- Rouge: réserves en diminution
- Bleu réserves en augmentation
- Inclut: glace, neige, humidité sols, eau souterraines
- Satellite Grace et Grace FO (mesure champ de gravité)



[NASA Satellite Data Show Decrease in Colorado River Basin Aquifers | NASA Earthdata](#)

Mesure GES: CO2. OCO-2 (USA)



Concentration moyenne CO2
atmosphérique Oct Nov 2014; Source
NASA



Mesure CO₂: Principe de la mesure

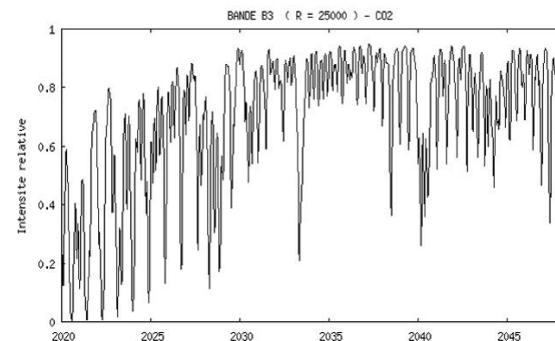
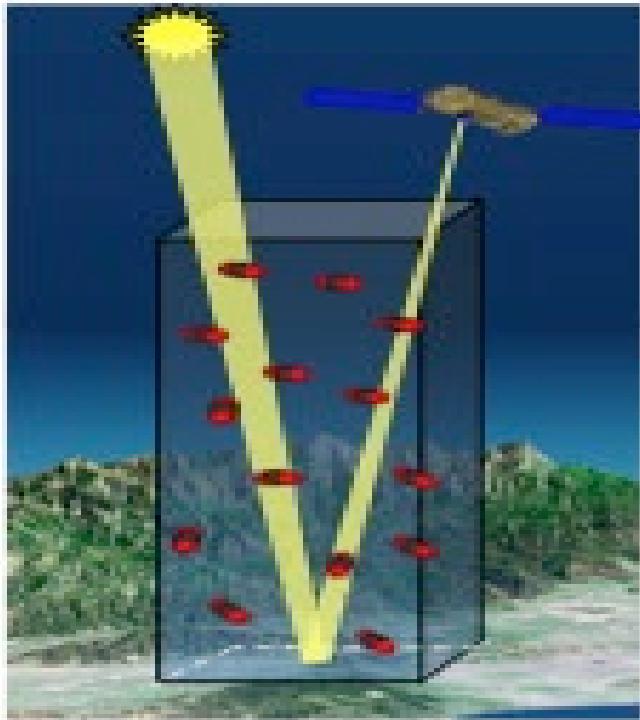


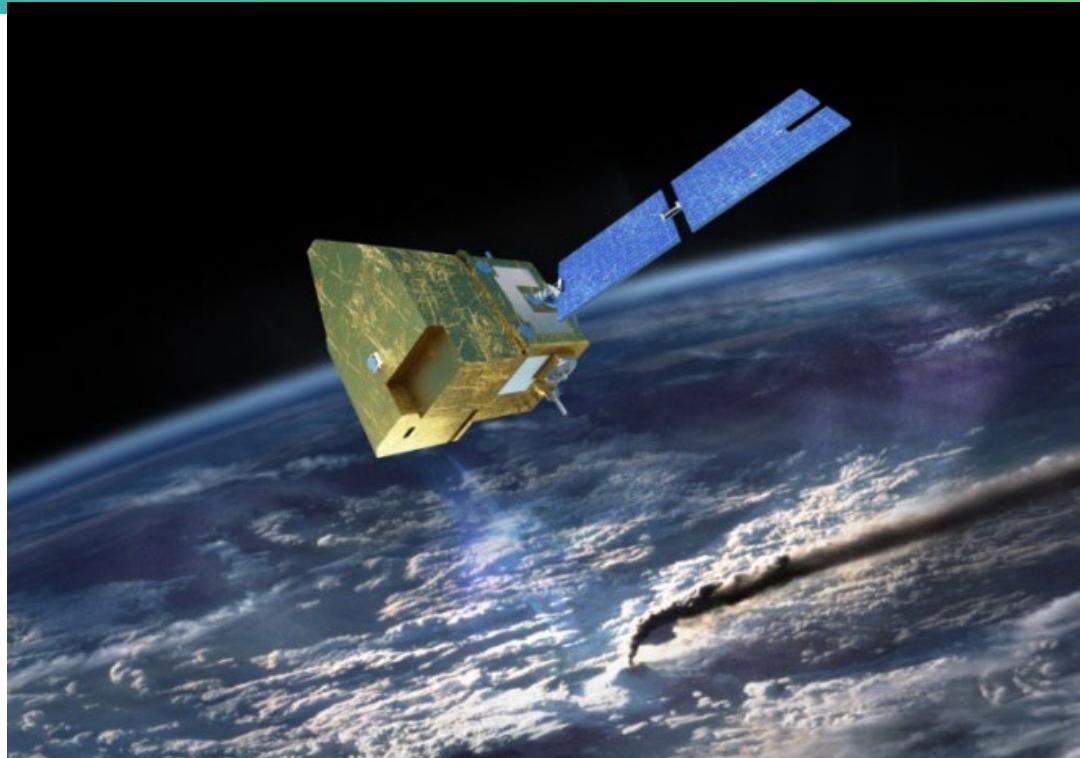
Figure 21. Bande B3

- ❑ Mesure du rayonnement solaire réfléchi par la surface de la terre
=> Instrument passif
- ❑ Des longueurs d'onde précises (1.6 μ m - 2 μ m) sont absorbées en partie par le CO₂
- ❑ On déduit la concentration CO₂ de l'écart entre rayonnement incident et réfléchi
- ❑ Mesure très difficile: précision 1 ppm = 10⁻⁶

Mesure CO2: MicroCarb



- ❑ Programme Français (avec participation UK, et UE)
- ❑ 180 kg
- ❑ Lancé le 26 Juillet 2025
- ❑ Objectif: caractériser finement les flux (échanges CO2), leur évolution, variation

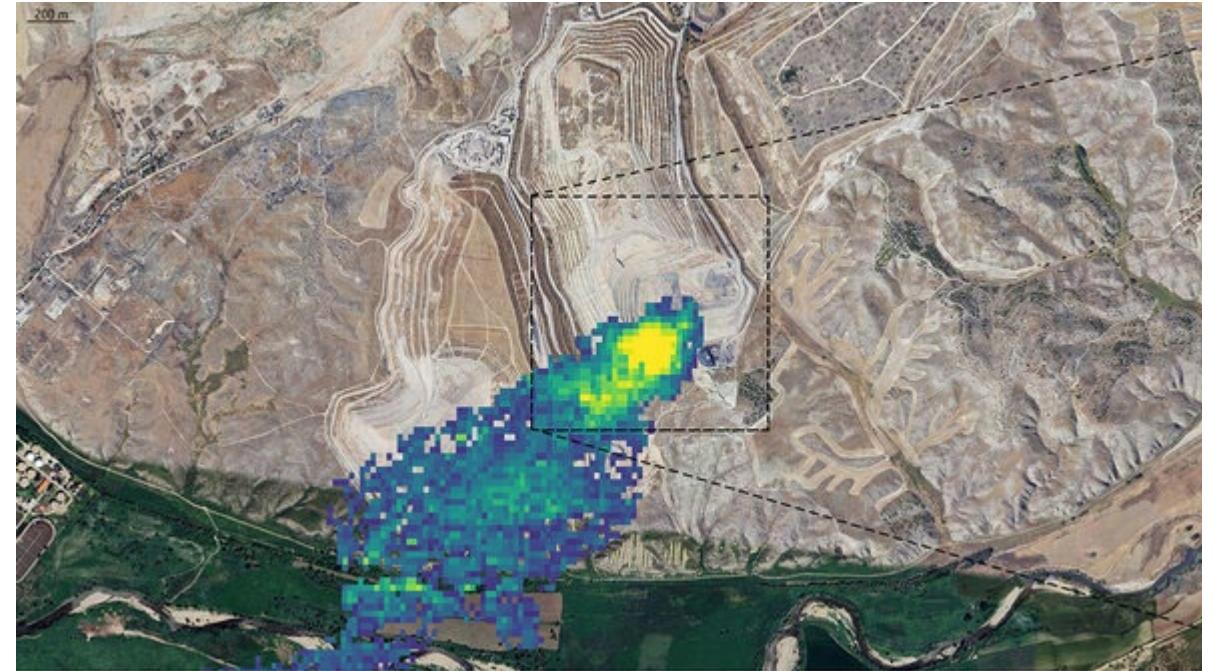


- ❑ Sera suivi par programme Européen CO2M: 3 satellites (2028)

Mesure CH4



- ❑ Methane: 2nd GES par importance
- ❑ Objectif mondial de réduction des émissions de 30 % en 2030
- ❑ Satellites actuels aptes à détecter concentration importante de CH4 (fuites sites d'extraction, décharges)

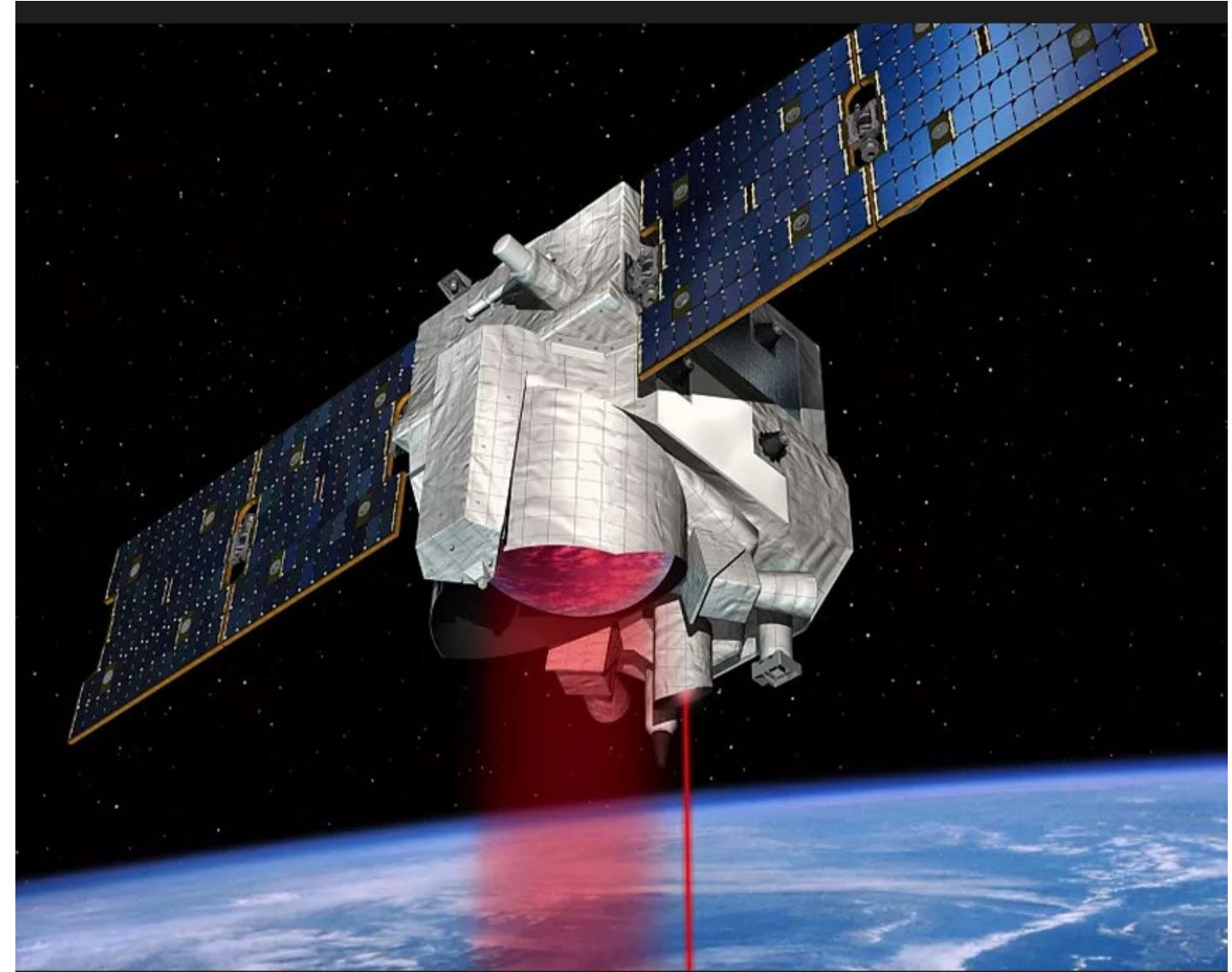


Source Copernicus:
https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Space_for_our_climate/Satellites_help_tackle_landfill_methane_leaks

Mesure CH4: Merlin (France – Allemagne)



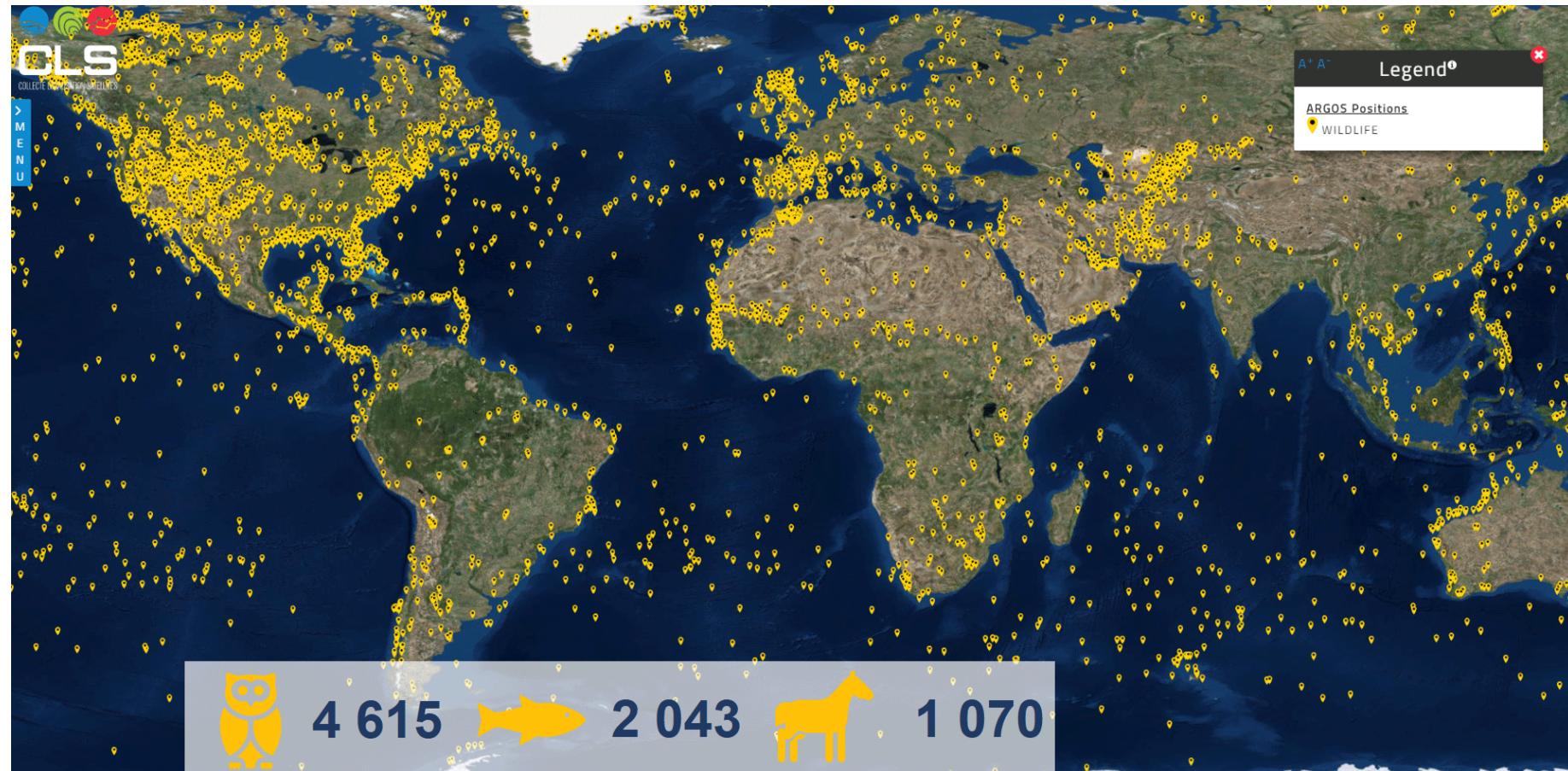
- ❑ Mesure systématique de la concentration CH4 avec précision inégalée.
- ❑ Caractérisation des sources .
- ❑ Principe: utilisation d'un LIDAR, émettant dans longueur d'onde d'absorption du CH4
- ❑ Lancement: 2029



Argos: Biodiversité. Suivi des animaux



- ❑ système de surveillance environnementale par satellite
- ❑ Balises munies de capteurs: localisation + acquisition données: température, rythme cardiaque, ...
- ❑ 8 000 animaux suivis: ours polaires, manchots, tortues, oiseaux
- ❑ Intérêt: étudier les routes migratoires et les comportements des animaux dans leurs habitats respectifs, réactions face chgt climatique



Argos: collecte de données



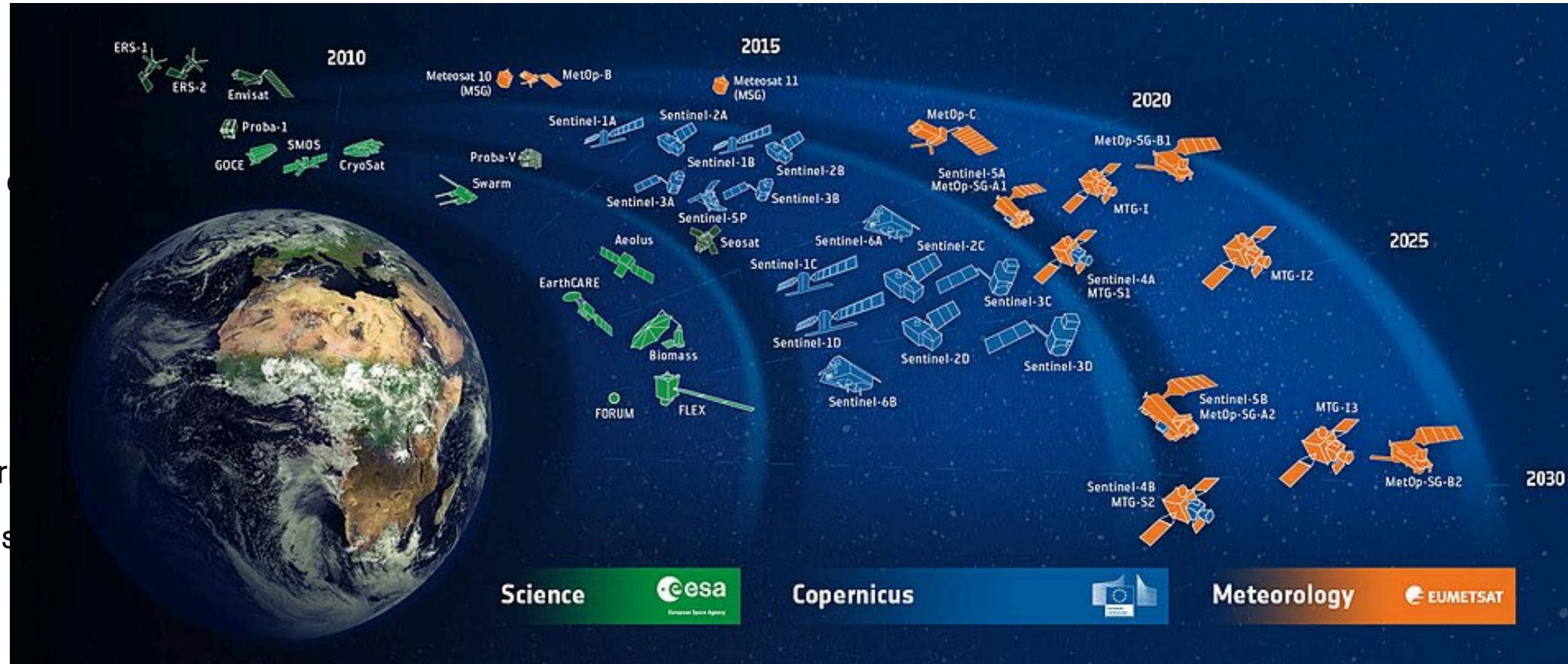
- Poids balise: les plus légères :
2 g

- ARGOS sert aussi
 - sauvetage en mer
 - Bouées en mer: mesures salinité, température, suivi courants
 - aide transport maritime.



Programme Copernicus (Europe)

- ❑ Programme de surveillance de l'environnement mis en place par l'Union européenne.
- ❑ But: Doter l'Europe d'une capacité autonome de surveillance de la Terre.
- ❑ Rassemble toutes les données relatives à l'environnement : mesures au sol, en avion, marines et spatiales.



- ❑ Données accessibles gratuitement

Atmosphere

Land

Security

Marine

Climate change

Emergency

Qui fait quoi ?

