



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

*Liberté
Égalité
Fraternité*



EO4Wetlands : L'observation de la Terre pour le suivi multi-échelle de la restauration des zones humides

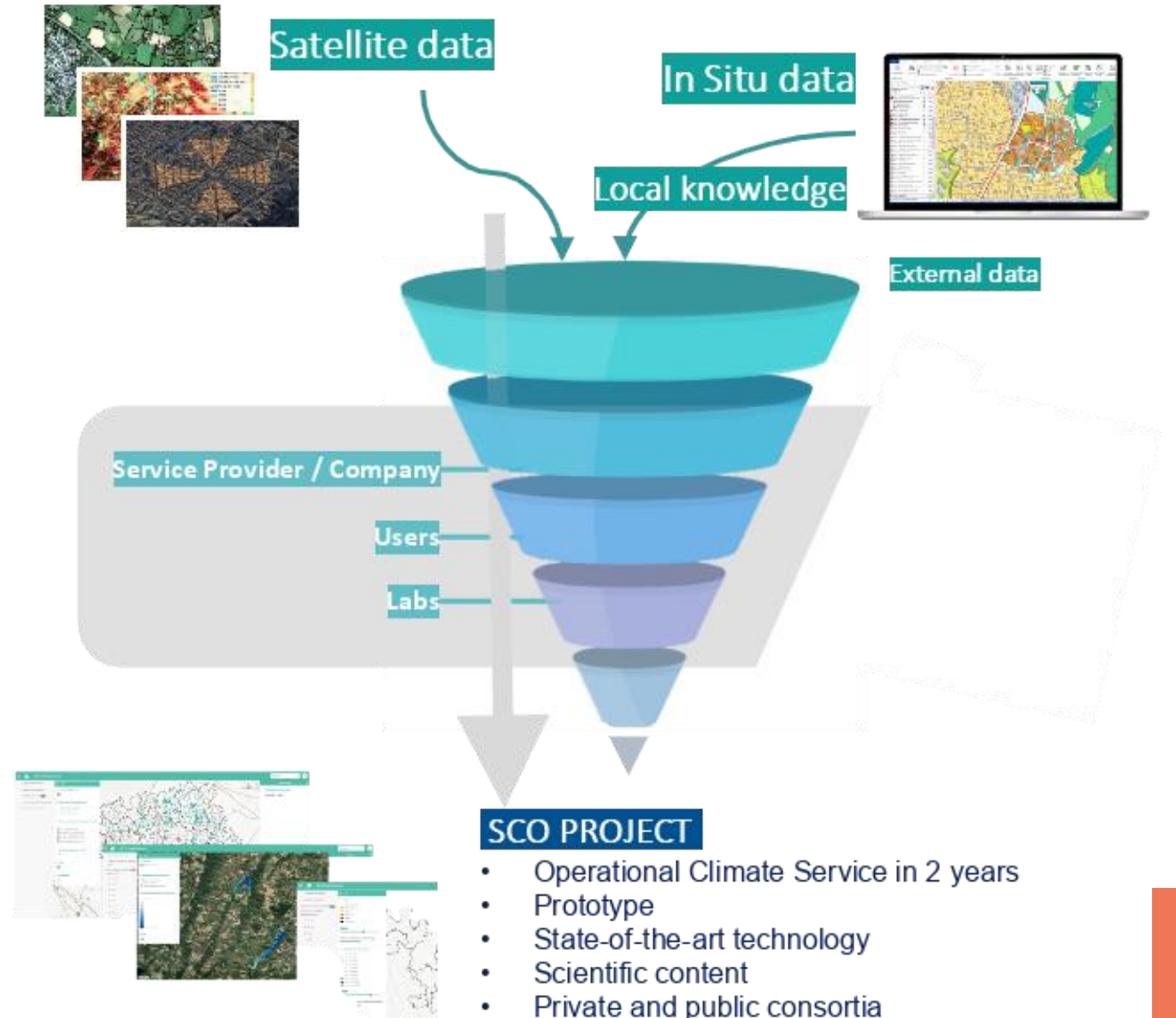
Journée “La télédétection appliquée aux zones humides”

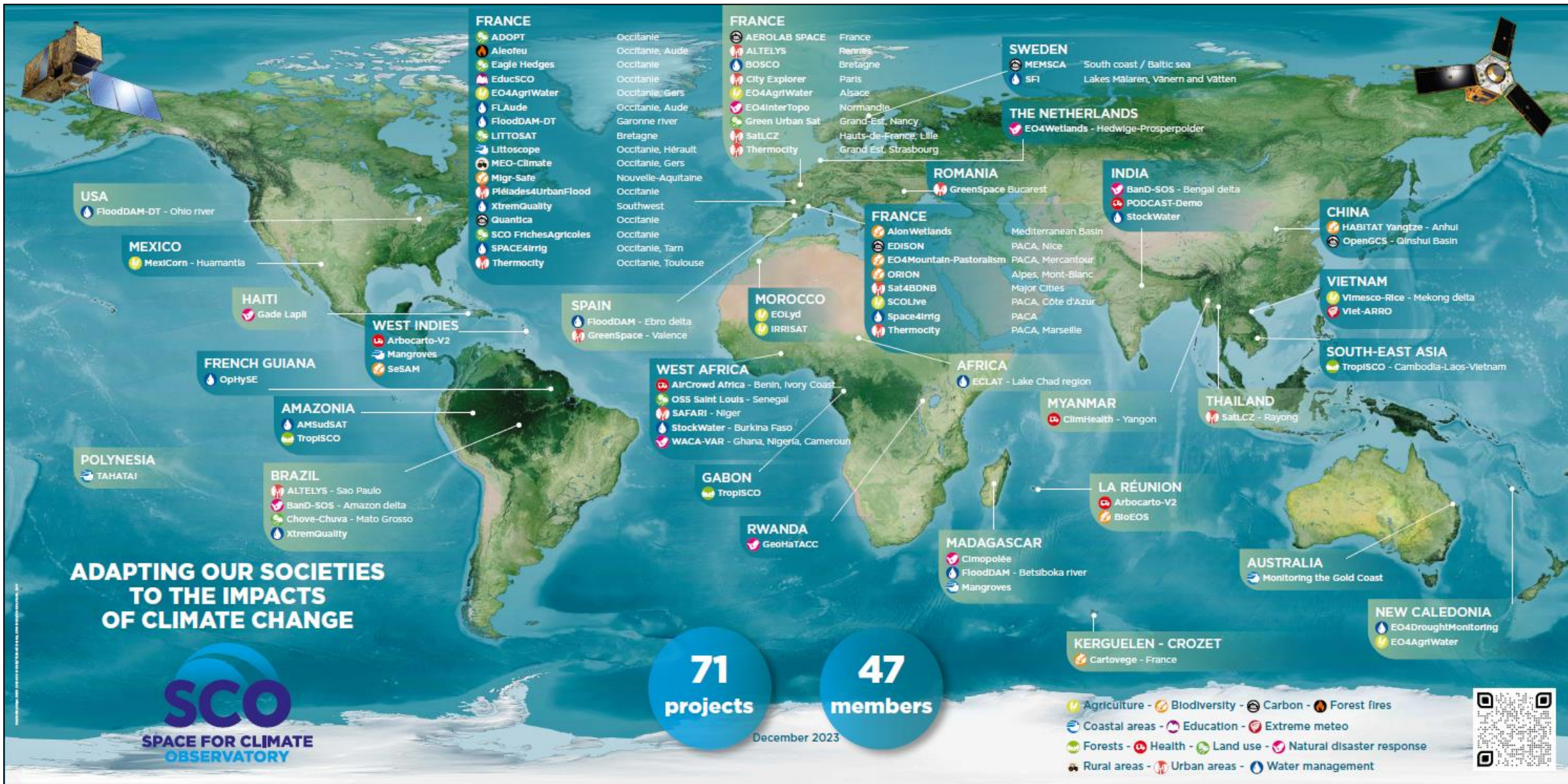
6 juin 2024



Space Climate Observatory

Mission : produire des indicateurs des impacts du changement climatique.





EO4Wetlands - le projet

- labellisé par le SCO en 2022
- 2 ans de projet (mi-parcours) 06/2023-06/2025
- montant de 171 k€



Equipes impliquées

Cerema

ER ENDSUM (**Cyrille Fauchard** & **Raphaël Antoine**)

Pole satellitaire (**Rollin Gimenez** & **Teodolina Lopez**)

IGN-Lastig (**Pierre-Louis Frison**)

GEOMATYS (**Vincent Heurteaux** & **Pascal Broglie**)

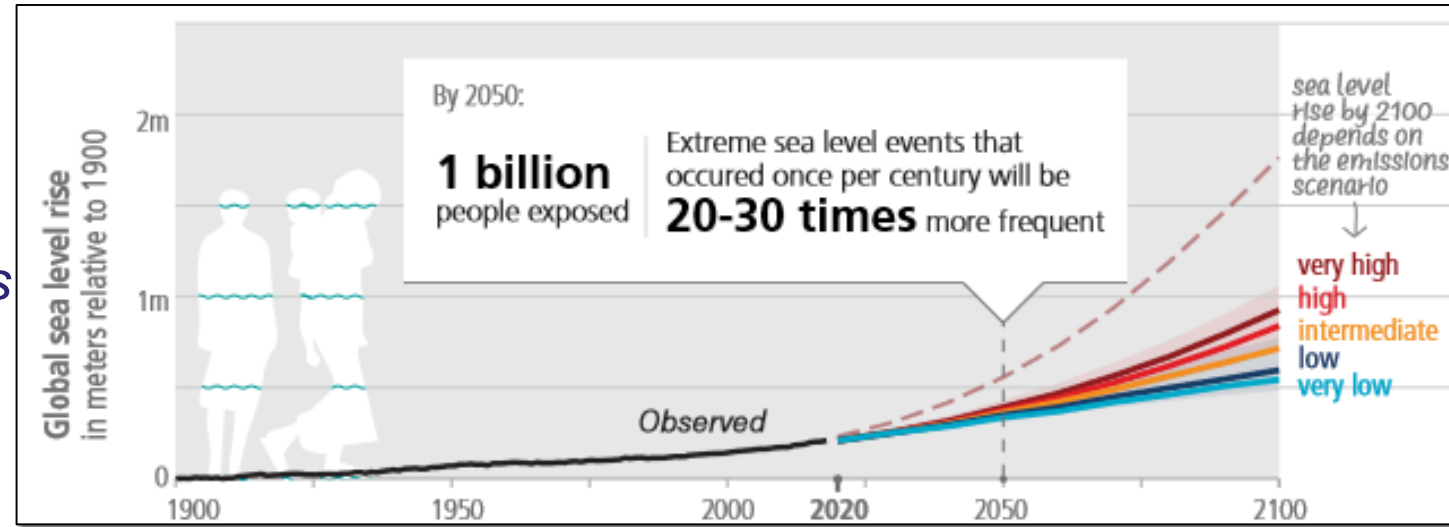




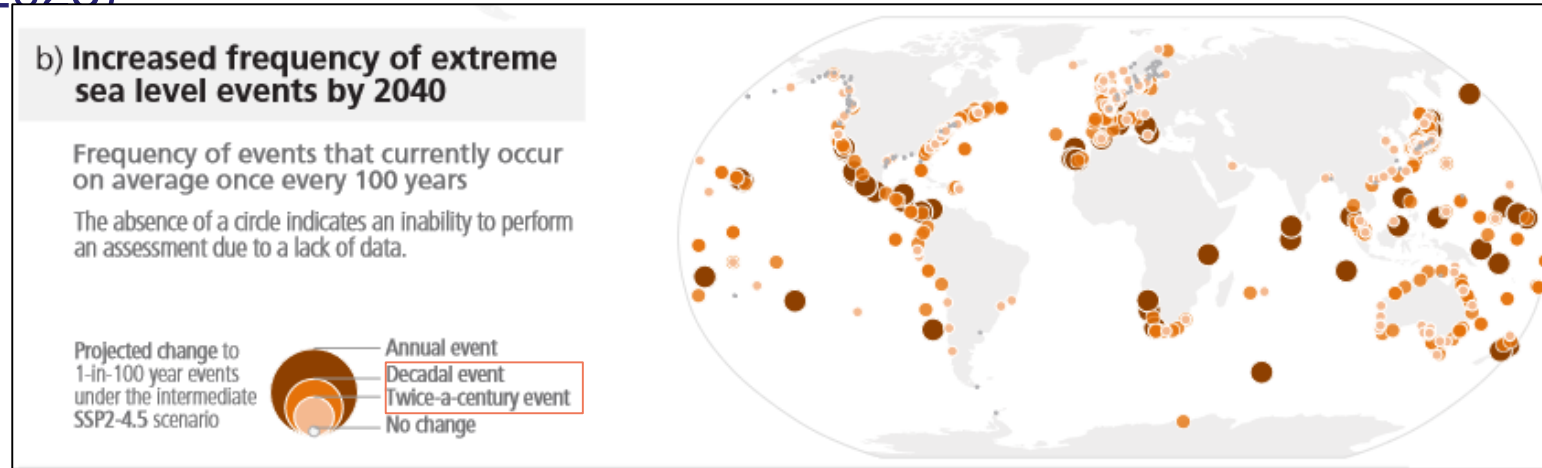
Contexte

Contexte général

“L’élévation du niveau de la mer pose un problème d’adaptation particulier et grave, car elle implique à la fois de faire face à des changements lents et à des augmentations de la fréquence et de l’ampleur des événements extrêmes liés au niveau de la mer” (IPCC-AR6, 2023)

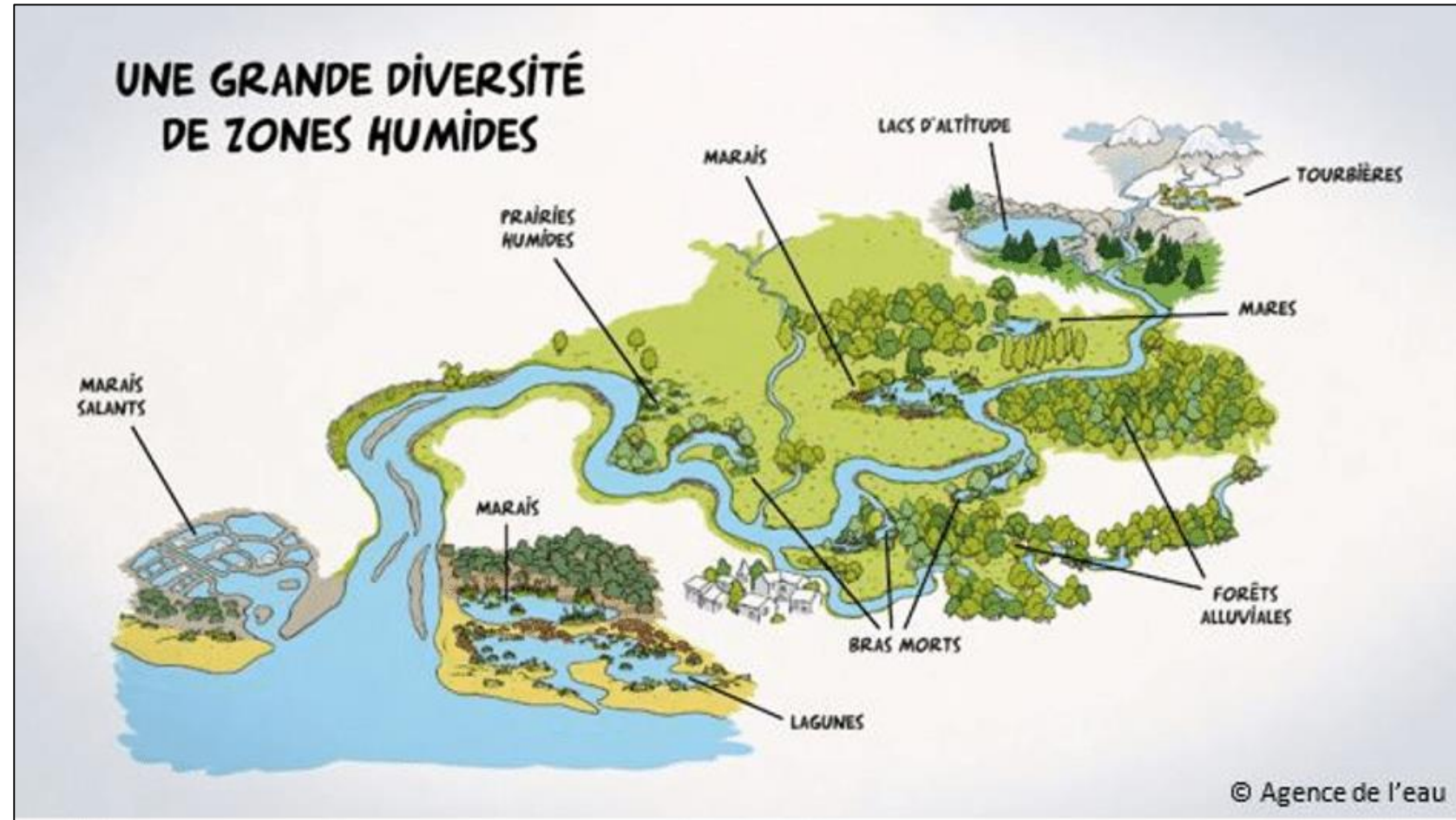


IPCC-AR6, 2023

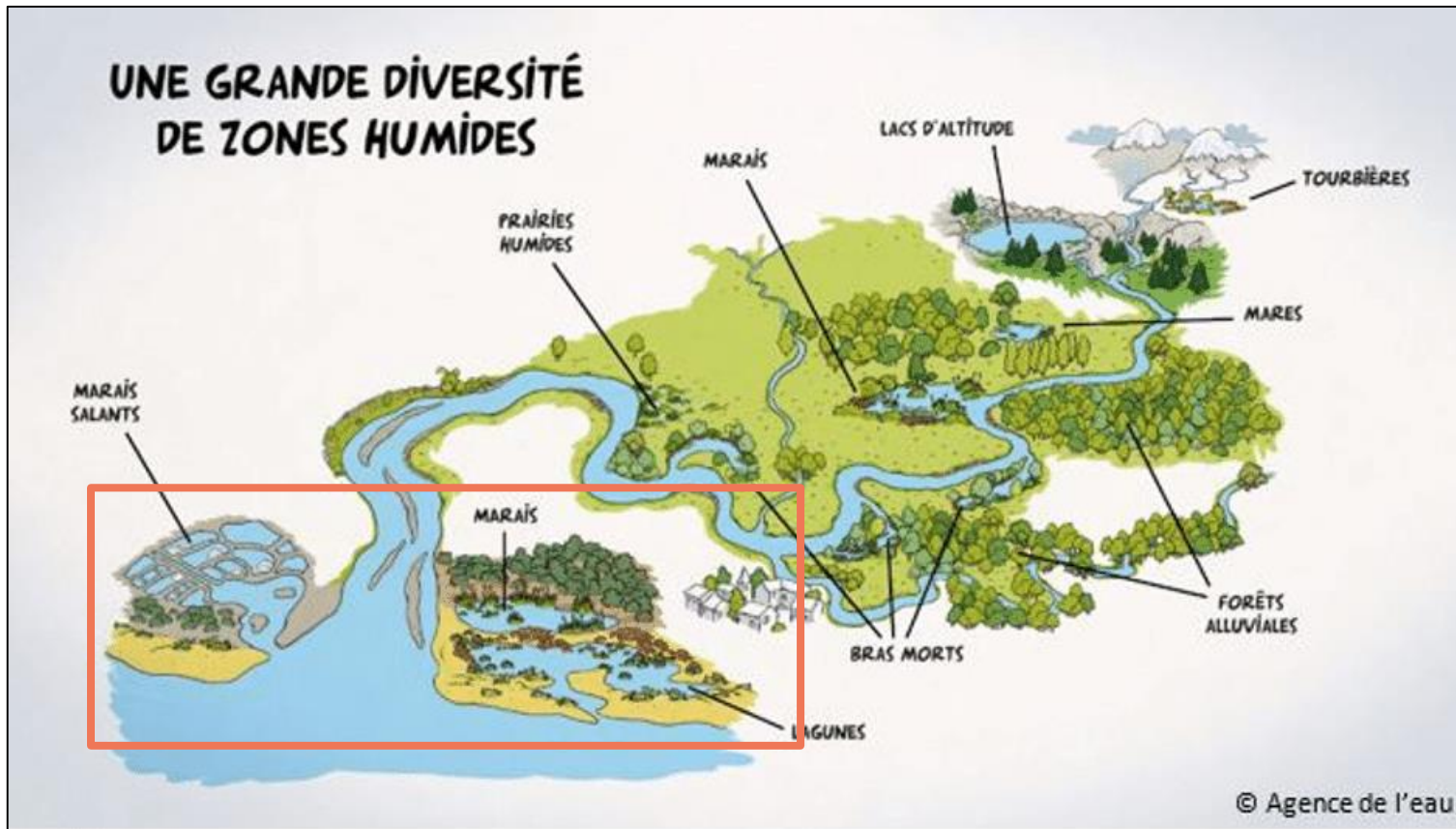


Les zones humides

Les zones humides font partie des écosystèmes les plus critiques sur Terre, compte tenu de leur rôle majeur dans le changement climatique, la biodiversité et l'hydrologie.



Les zones humides



*“La restauration des mangroves et des zones humides côtières permet de séquestrer le carbone, tout en réduisant l'érosion côtière et en protégeant contre les ondes de tempête, réduisant ainsi les risques liés à l'élévation du niveau de la mer et aux conditions météorologiques extrêmes.”
(IPCC-AR6, 2022)*

Living lab Hedwige-Prosper polder

Expériences de dépoldérisation au Living Lab Hedwige-Prosperpolder (LLHPP, Belgique, Anvers)

□ destruction partielle d'une digue en octobre 2022 pour réhabiliter le polder d'Hedwige.



Objectif du projet

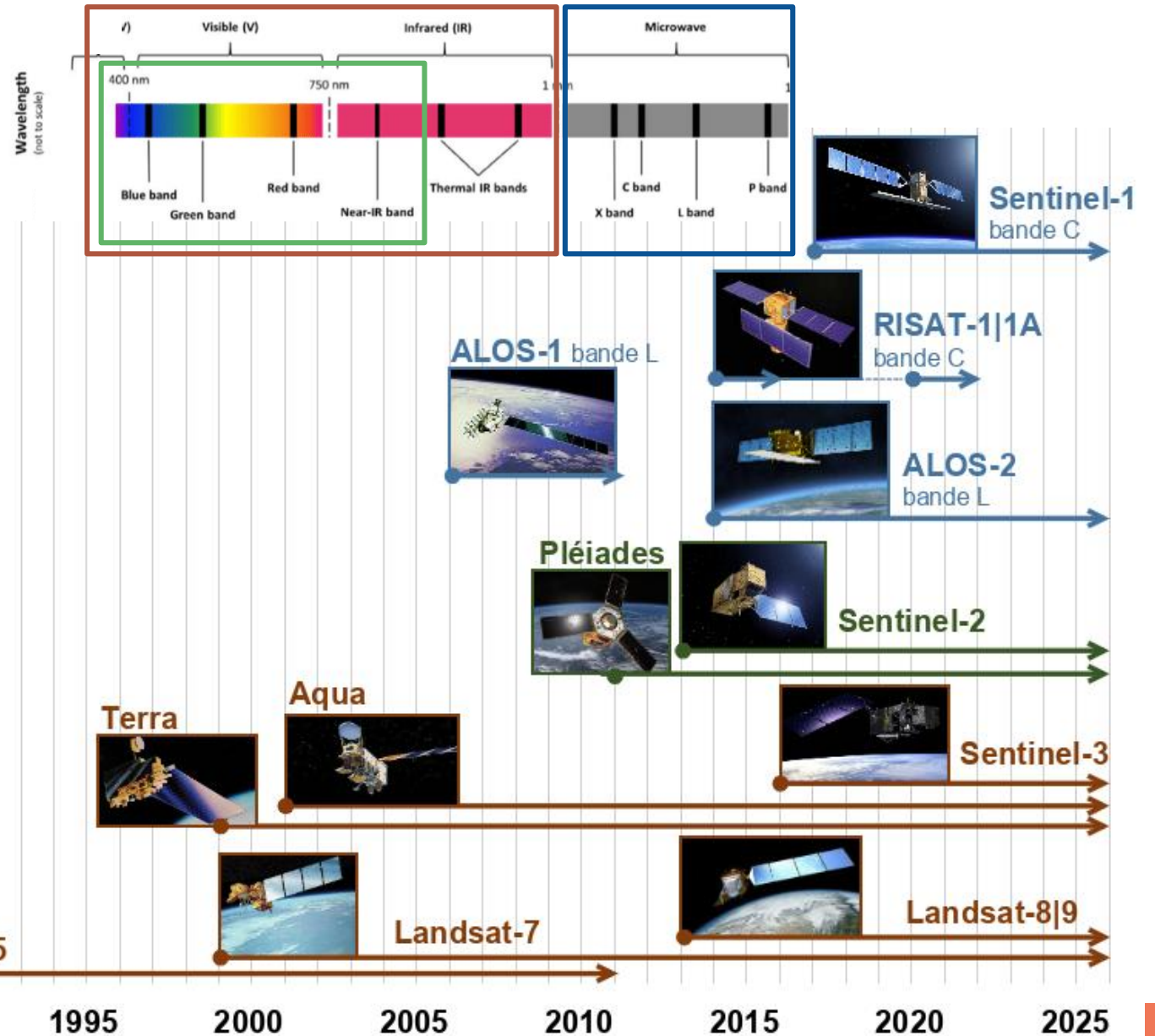
1. Développer un outil de visualisation pour suivre au cours du temps le processus de renaturation via :
 - a. L'évolution de la végétation
 - b. La teneur en eau de la végétation et de la zone critique.
1. Etudier le comportement de la zone humide de référence Saefthinge sur un temps plus long.



Imagerie satellitaire

- 40 ans de données.
- 3 domaines spectraux complémentaires.
- Différentes résolutions :
 - Spatiales (50 cm - 1 km)
 - Temporelles (journalières - ponctuelles).

- SAR
- Optique & thermique
- Optique



Imagerie satellitaire

Satellite	Capteur	Résolution spatiale (m)	Résolution temporelle (jour)	Usages
Sentinel-1	SAR (C band)	10	~6	Végétation / humidité
Sentinel-2	Multispectral optique	10	~5	Végétation / humidité / sol
Sentinel-3	Infrarouge thermique (IRT)	1000	1	Température de surface
MODIS	IRT	1000	1	Température de surface
Landsat / ASTER	IRT	90	16	Température de surface
ECOSTRESS (?)	IRT	70	1	Température de surface
Pléiades	Multispectral optique	0.5	à la demande	Végétation / MNT



Suivi de la dépollérisation

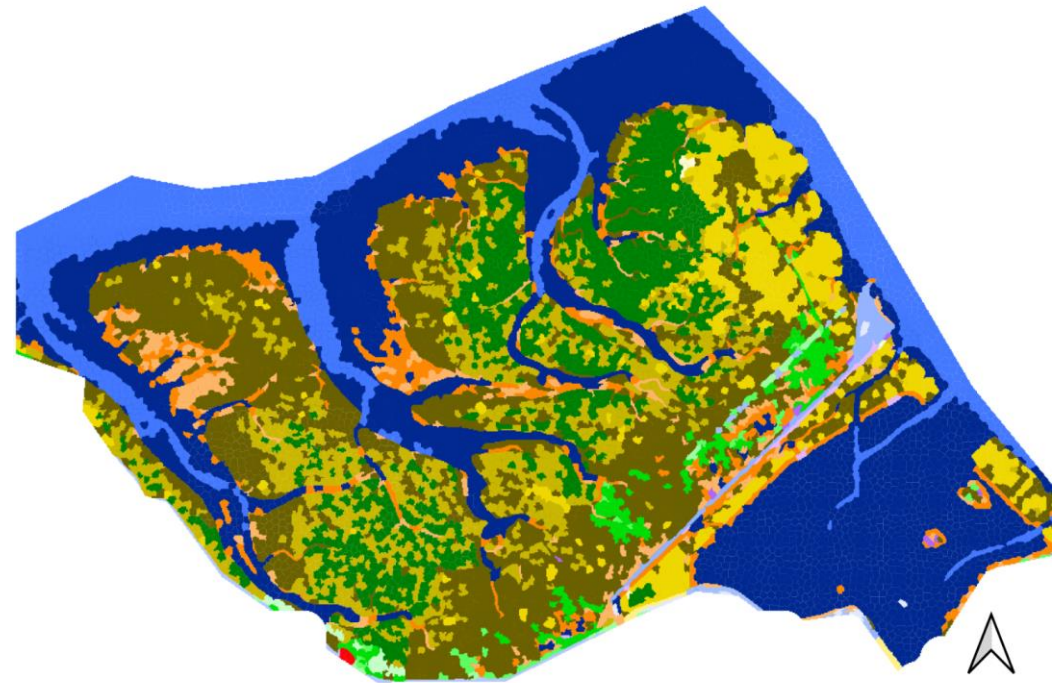
Analyse par ROI ou par classification non supervisée

Analyse de zones d'intérêt homogènes (ROI)

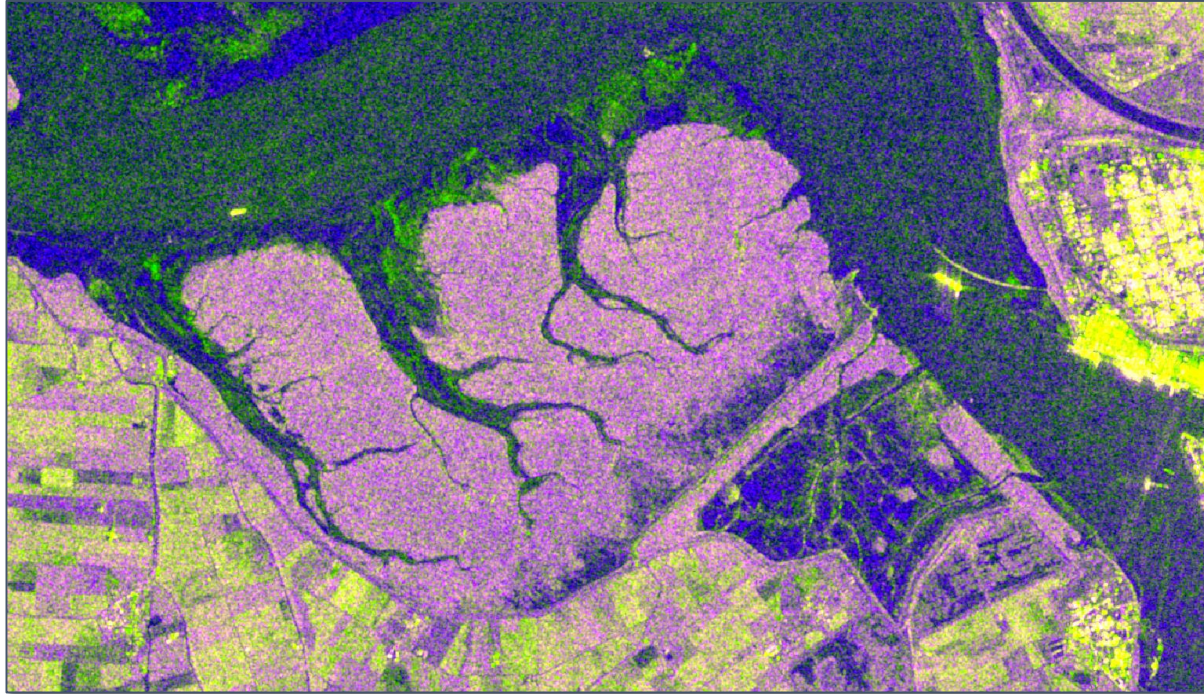


Regroupement des pixels selon leurs tendances spectro-temporelles
par clustering hiérarchique ascendant temporellement pondéré

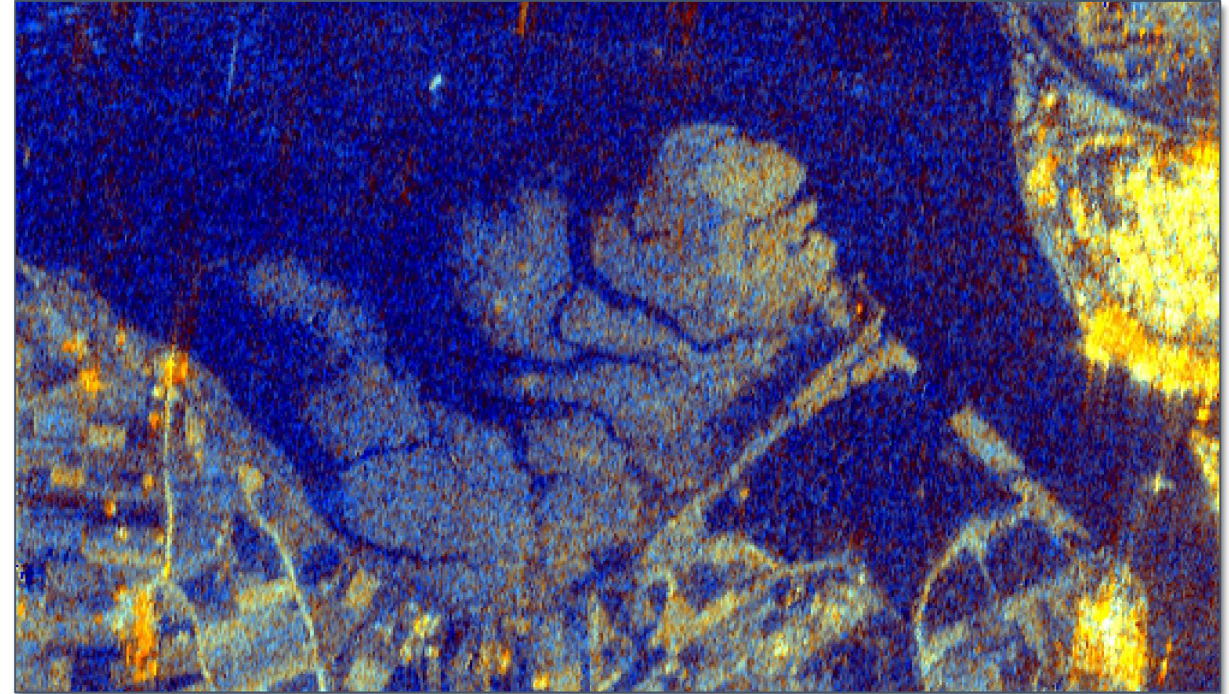
0 1 2 km



Images RaDAR



Sentinel-1 - bande C (10 m) - 25/12/2023
composition (VV, VH, VH/VV)

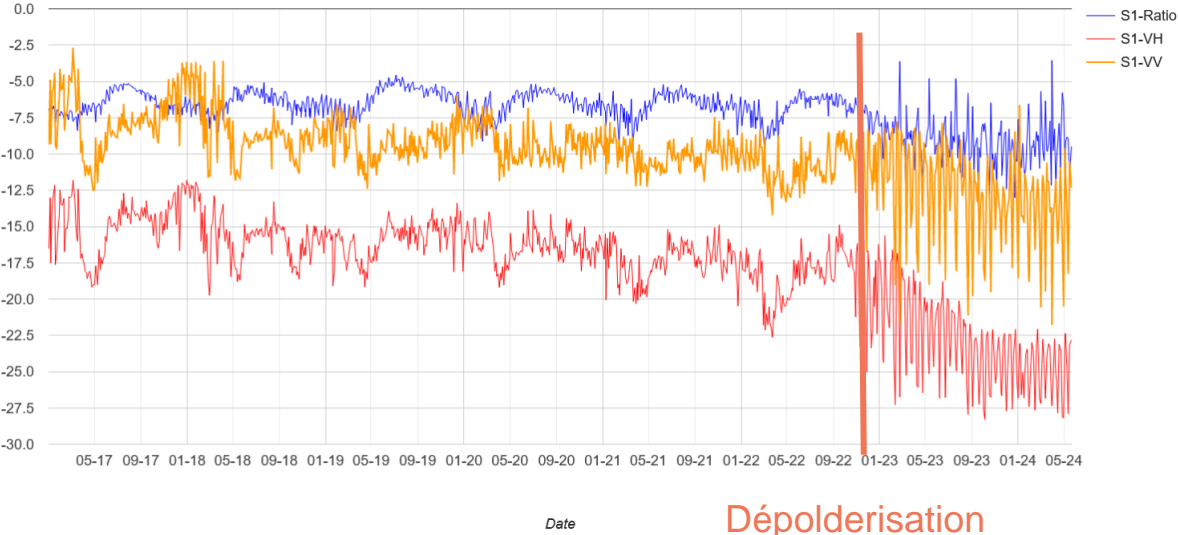
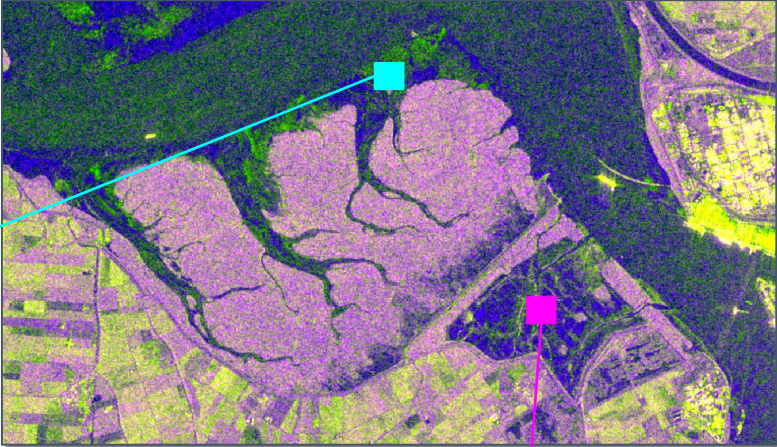
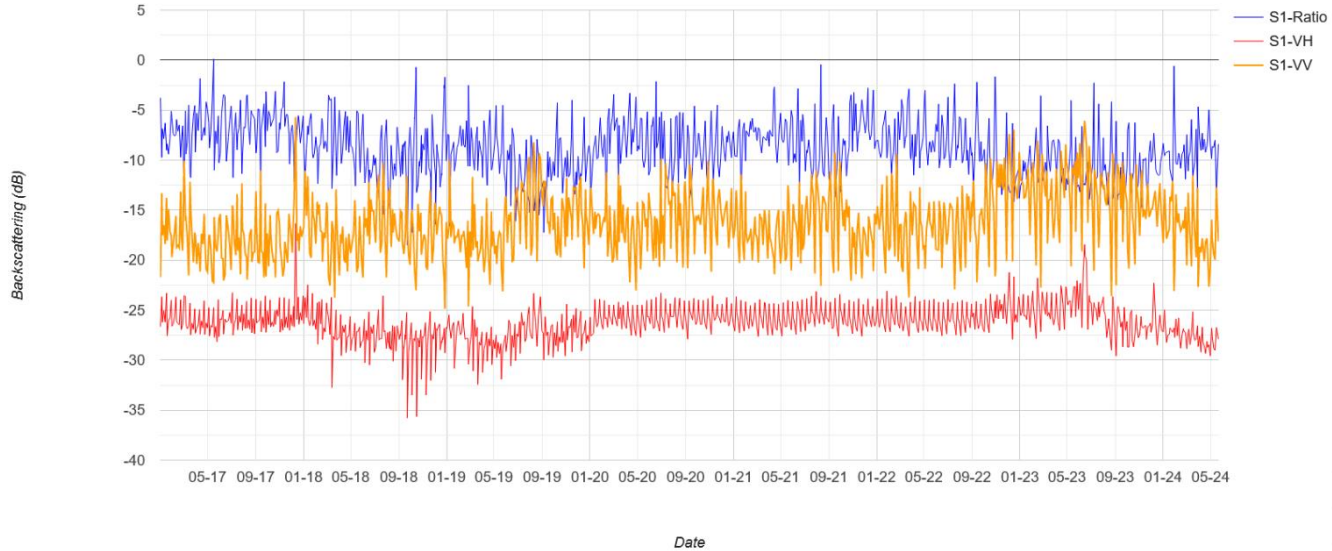


ALOS-2 - bande L (25 m) - 24/12/2023
composition (HH, HV, HV/HH)



Images RaDAR - séries temporelles

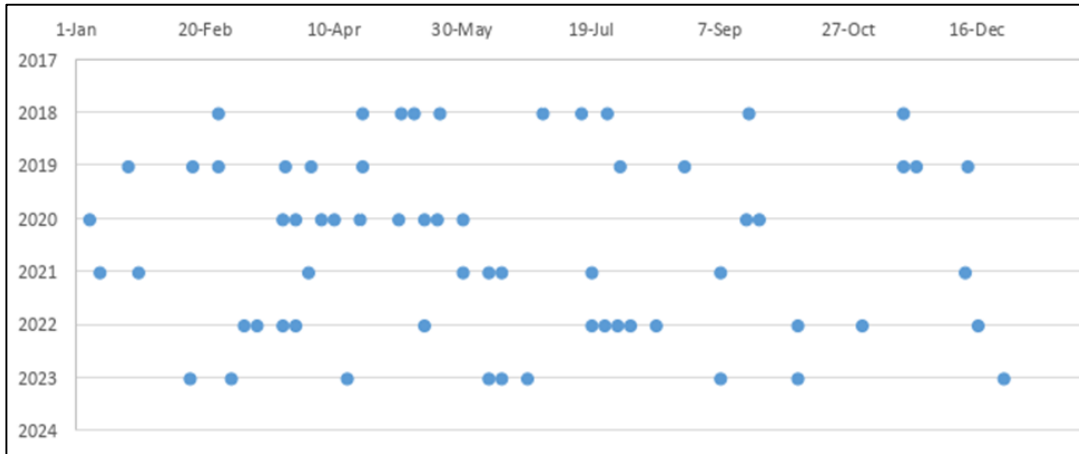
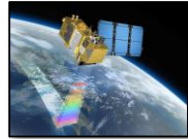
SAR Backscattering time series. Resolution: 20m.



Séries temporelles Sentinel-1 issues de SAR Watcher

Dépolderisation

Images optiques multispectrales



Série temporelle Sentinel-2 après sélection des dates sans nuages

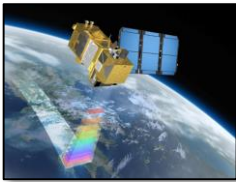
Indice	Acronyme	Formule	Formule S2	Référence
Normalized Difference Vegetation Index	NDVI	$\frac{NIR - R}{NIR + R}$	$\frac{B8 - B4}{B8 + B4}$	Rouse, 1974
Enhanced Vegetation Index	EVI	$G * \frac{NIR - R}{NIR + C_1 * R - C_2 * B + L}$	$2.5 * \frac{B8 - B4}{B8 + 6 * B4 - 7.5 * B2 + 1}$	Liu, 1996
Moisture Stress Index	MSI	$\frac{SWIR1}{NIR}$	$\frac{B11}{B8}$	Hunt Jr., 1989
Normalized Difference Moisture Index	NDMI	$\frac{NIR - SWIR1}{NIR + SWIR1}$	$\frac{B8 - B11}{B8 + B11}$	Gao, 1996
Normalized Difference Water Index	NDWI	$\frac{NIR - SWIR2}{NIR + SWIR2}$	$\frac{B8 - B12}{B8 + B12}$	Gao, 1996
Normalized Difference Water Index 2	NDWI2	$\frac{G - NIR}{G + NIR}$	$\frac{B3 - B8}{B3 + B8}$	McFeeters, 1996
Modified Normalized Difference Water Index	mNDWI	$\frac{G - SWIR2}{G + SWIR2}$	$\frac{B3 - B12}{B3 + B12}$	Xu, 2006
Bare Soil Index	BSI	$\frac{(SWIR1 + R) - (NIR + B)}{(SWIR1 + R) + (NIR + B)}$	$\frac{(B11 + B4) - (B8 + B2)}{(B11 + B4) + (B8 + B2)}$	Nguyen, 2021
Brightness Index	BI	$\sqrt{\frac{R^2 + G^2}{2}}$	$\sqrt{\frac{B4^2 + B3^2}{2}}$	Escadafal, 1989
Brightness index 2	BI2	$\sqrt{\frac{R^2 + G^2 + NIR^2}{3}}$	$\sqrt{\frac{B4^2 + B3^2 + B8^2}{3}}$	Escadafal, 1989

Végétation

Eau

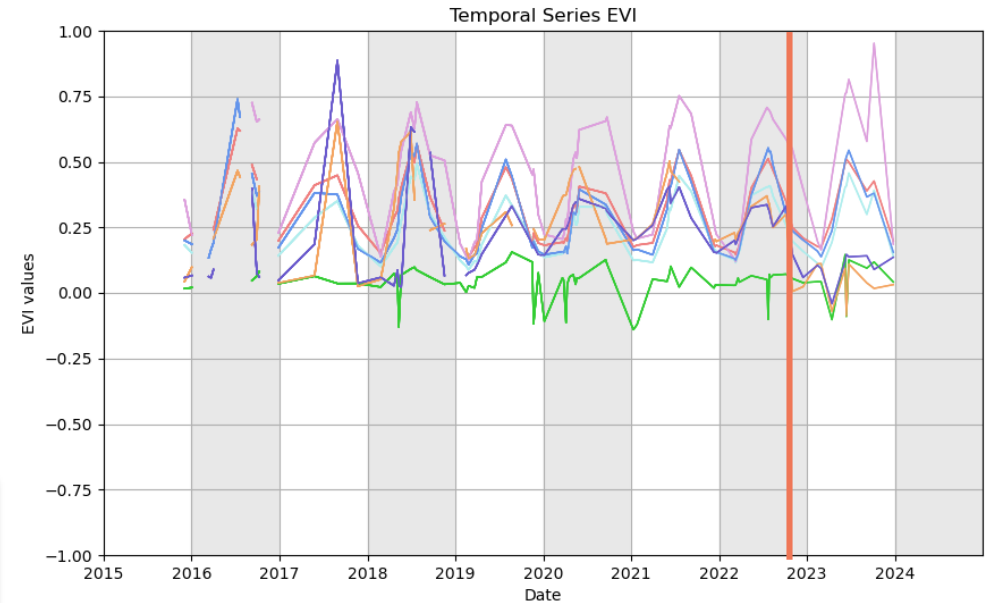
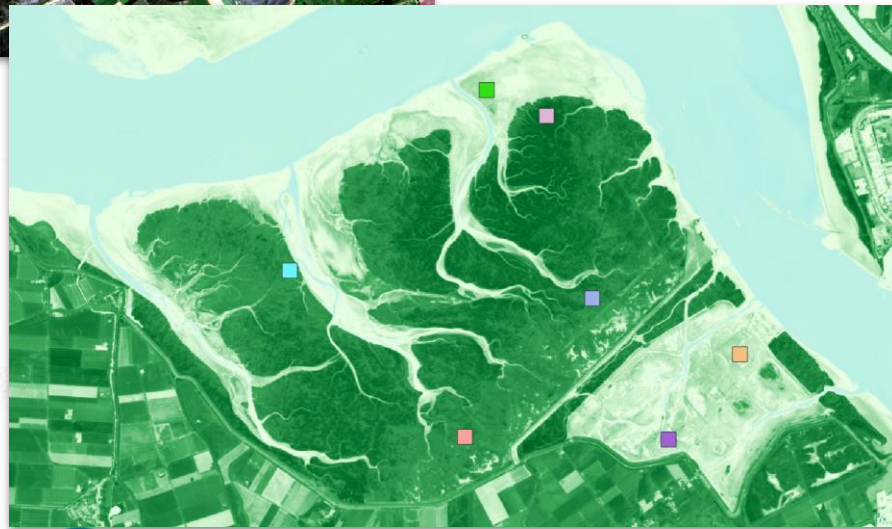
Sol

Images optiques multispectrales



Composition RGB à partir d'une image **Sentinel-2 (24/06/2023)**

Indice de végétation (**Enhanced Vegetation Index**) correspondant

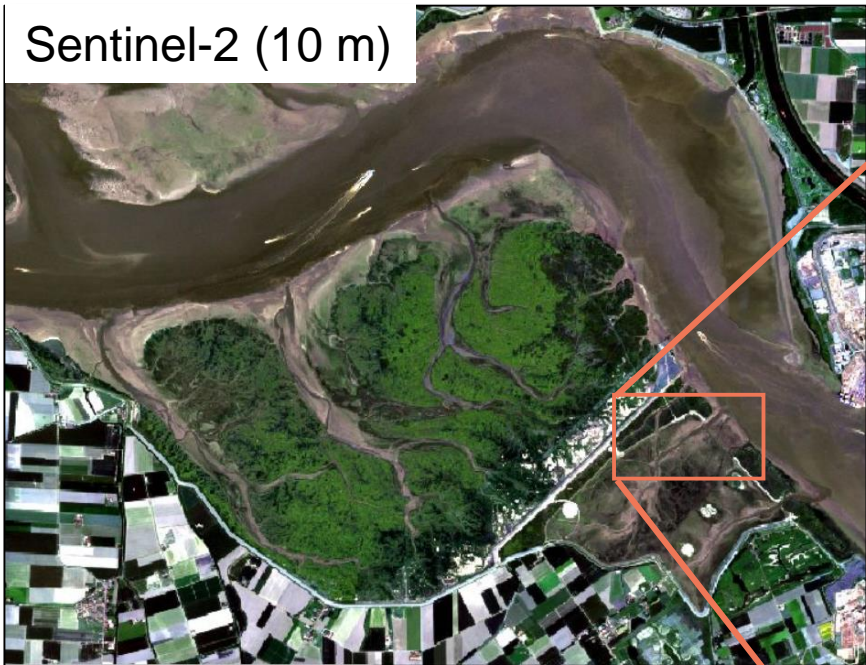


Dépolderisation

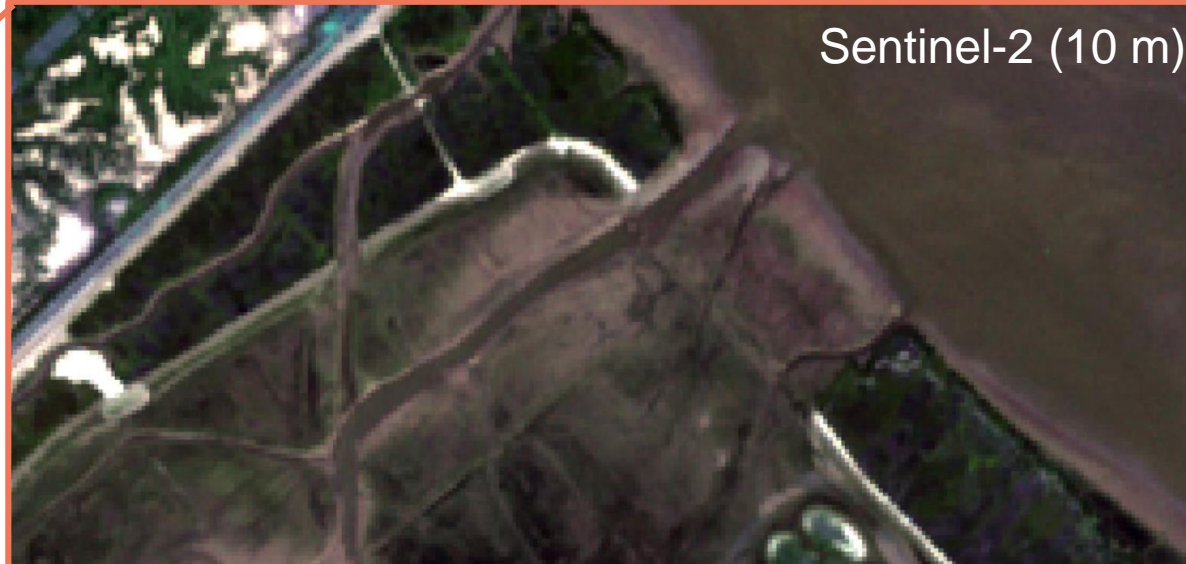
Images *Pléiades* stéréoscopiques (Visible and MNS)



Sentinel-2 (10 m)



Sentinel-2 (10 m)



Pléiades (50 cm)



Images *Pléiades* stéréoscopiques (Visible and MNS)



2022-08-11



2024-02-27



2023-06-06



Acquisition d'une 4ème image durant l'été 2024

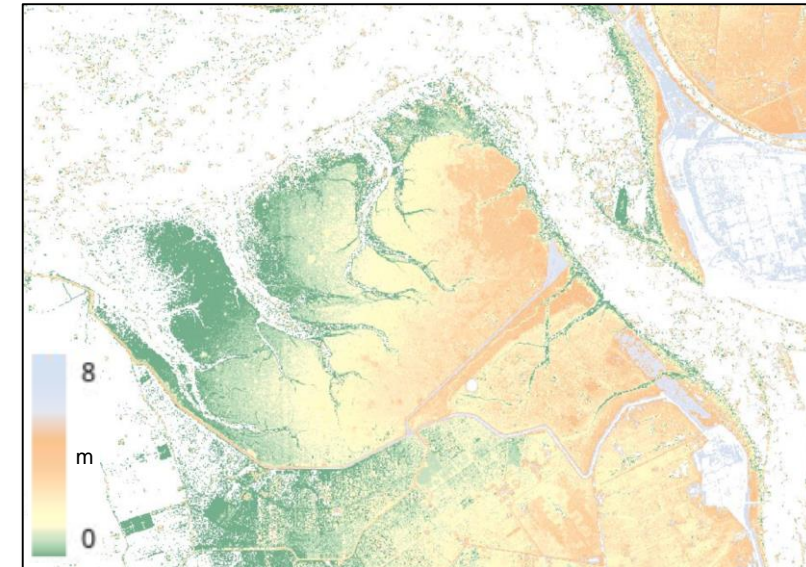
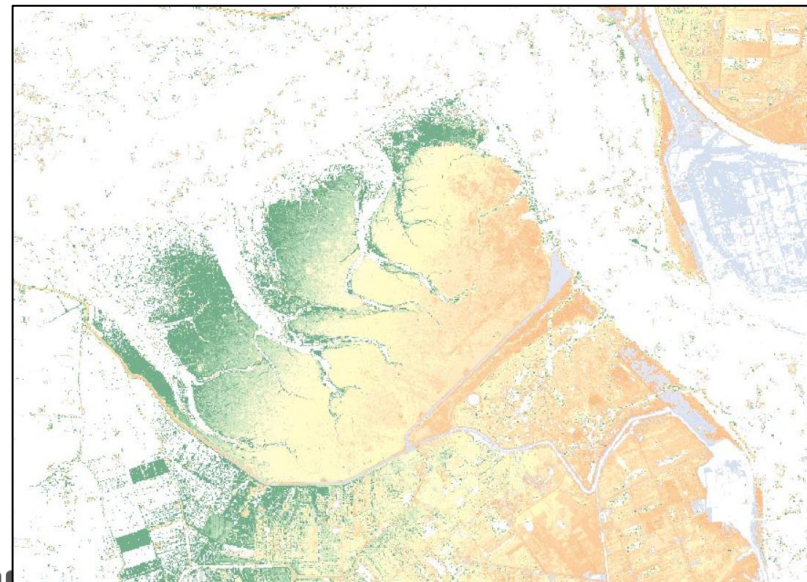
Images *Pléiades* stéréoscopiques (Visible and MNS)



2022-08-11

2024-02-27

2023-06-06



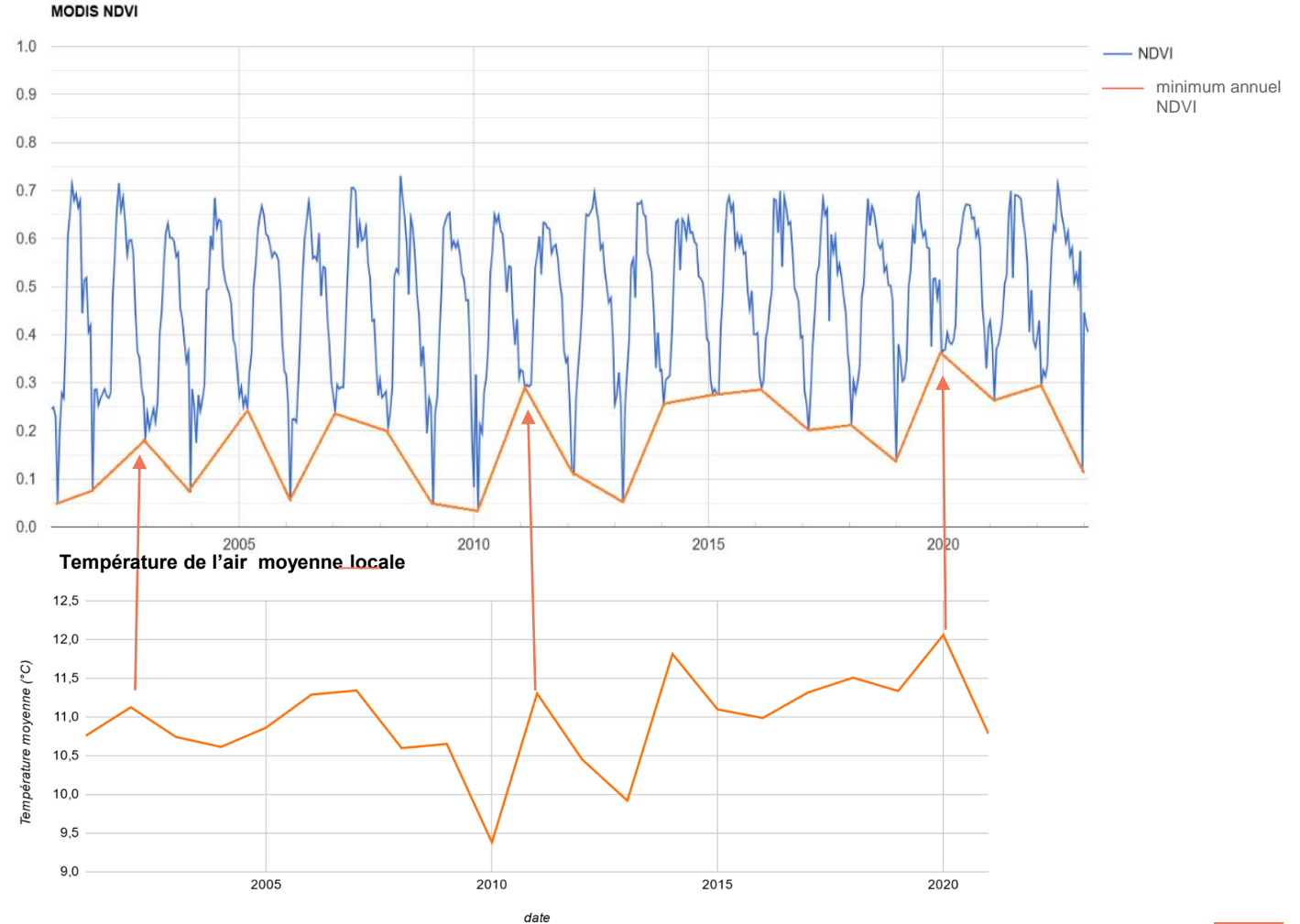
Suivi sur le long-terme

Évolution de la végétation



NDVI

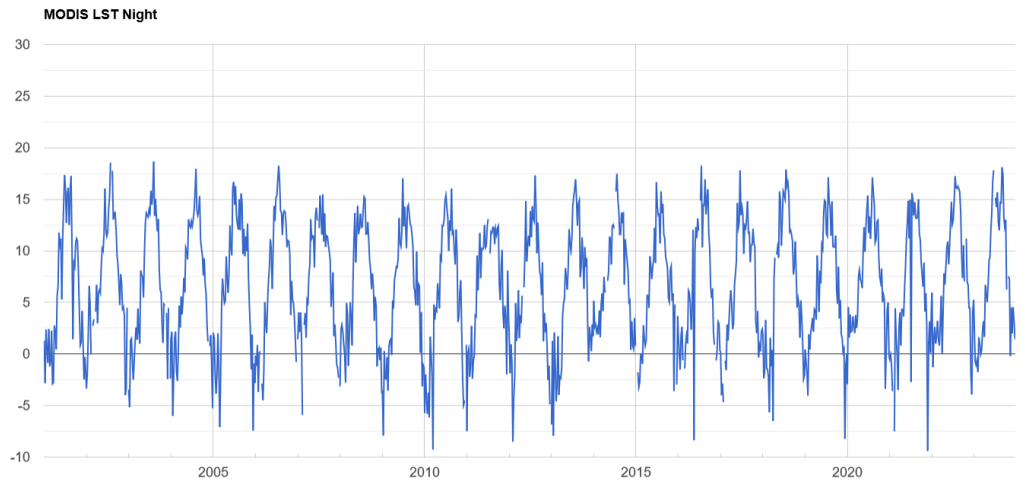
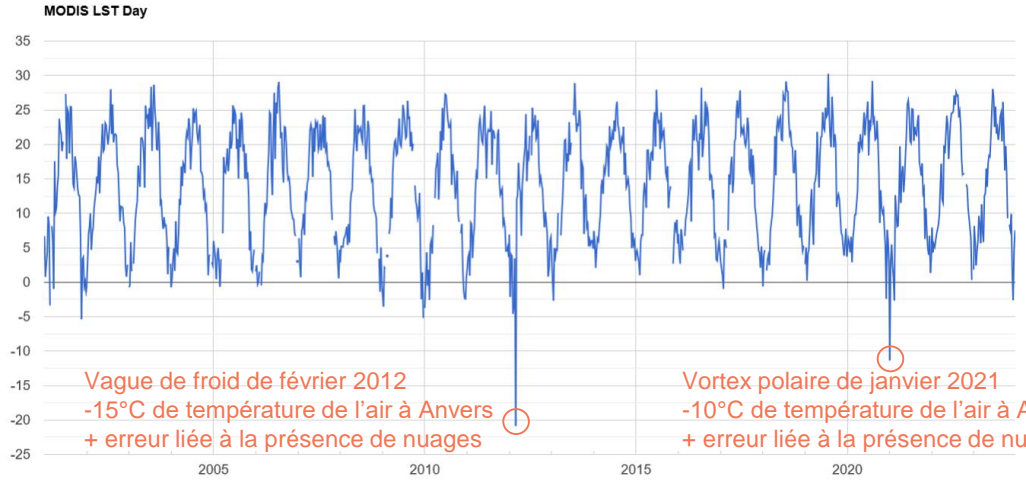
Augmentation des valeurs minimales annuelles de NDVI avec le changement climatique ?



Images infrarouge thermique



Température de surface (°C)



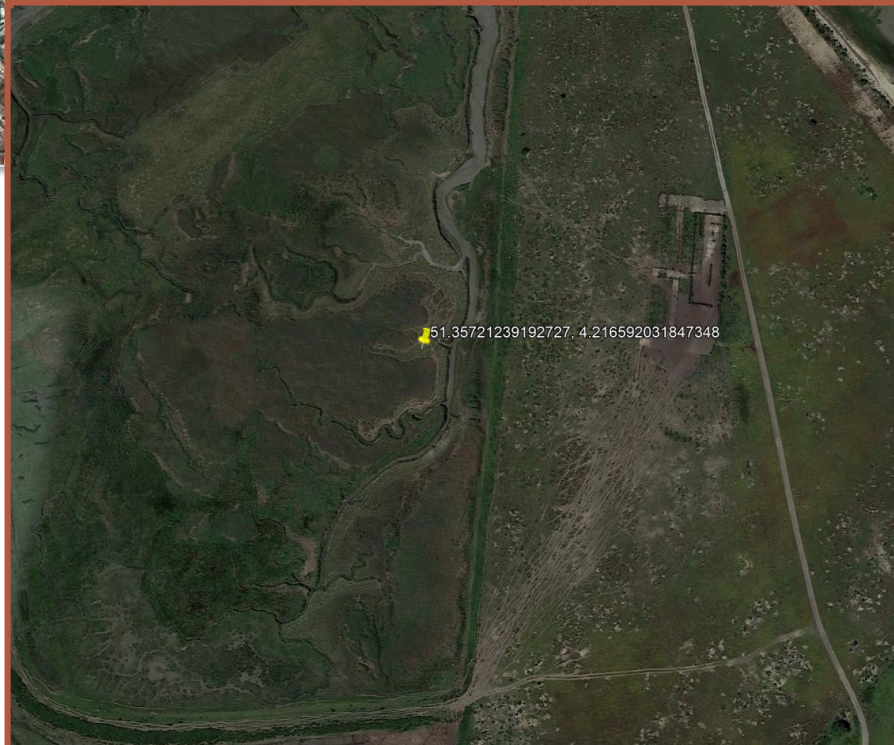
date

Mesures *in situ* - sonde terrestre

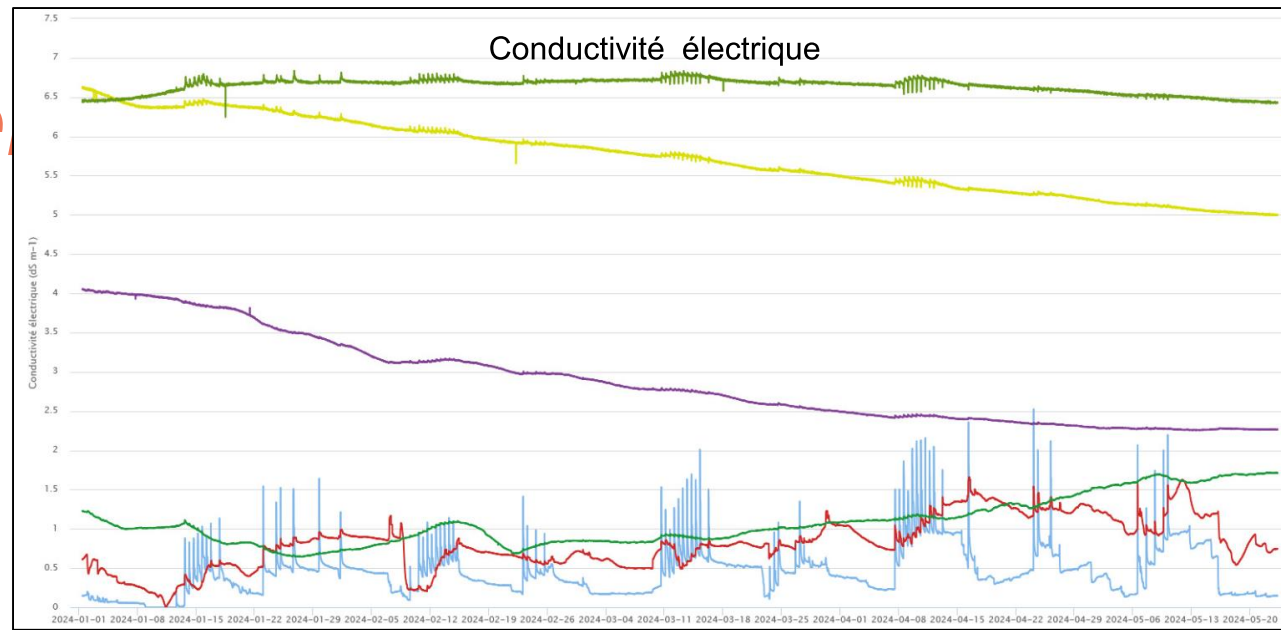
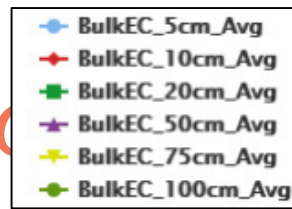


Sonde SoilVUE installée en novembre 2023.

Mesures tous les 10 cm en moyenne de la surface à 1m de profondeur.

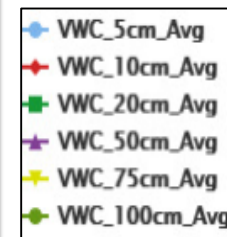
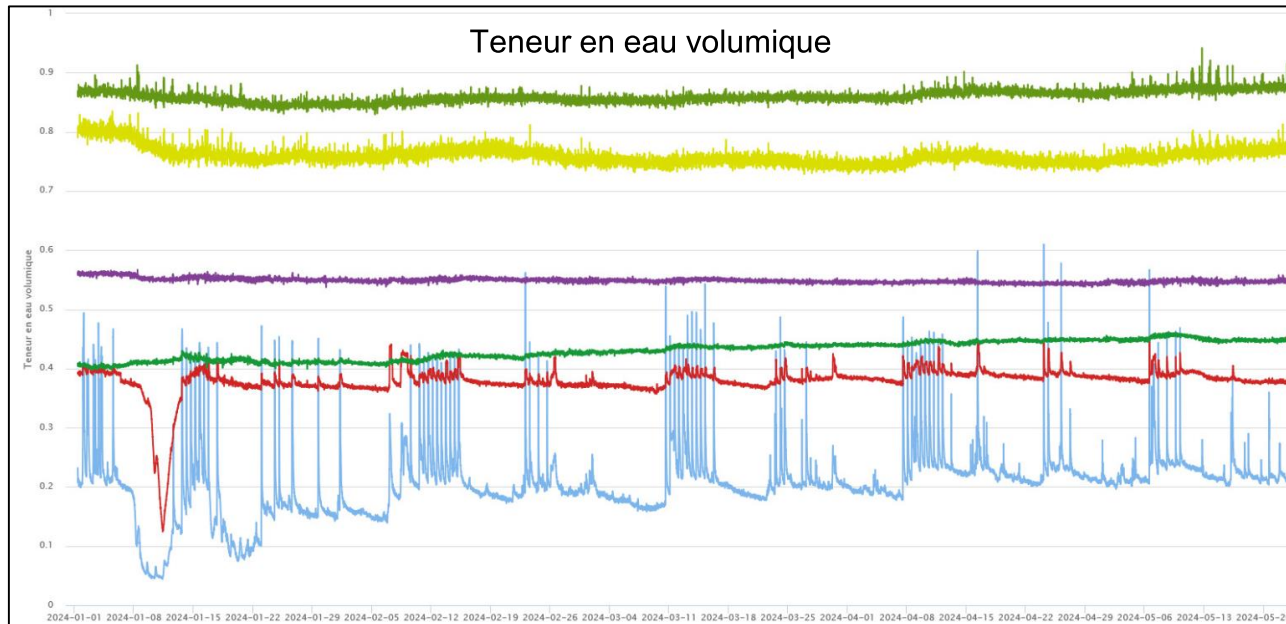


Mesures *in situ* - s

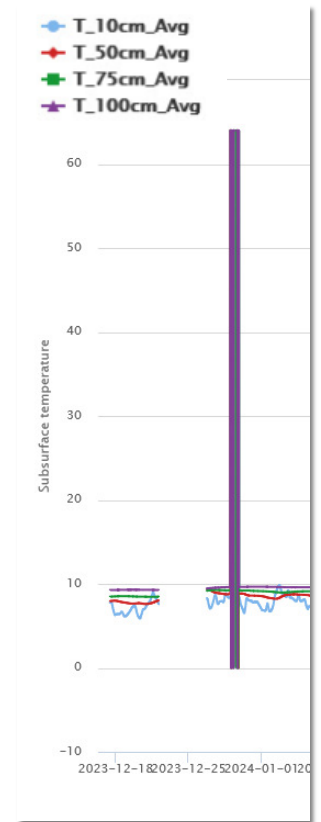
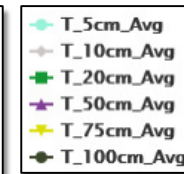
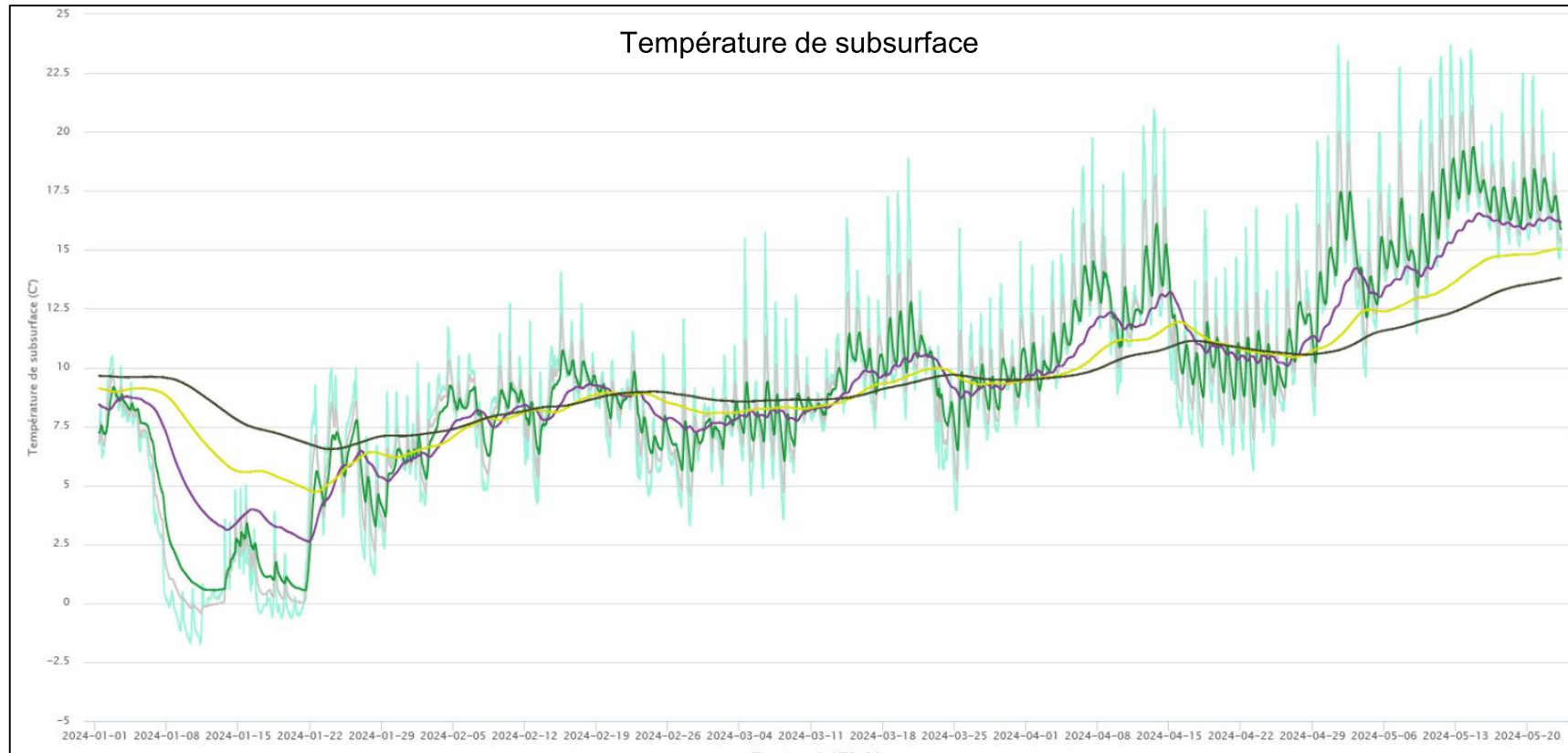


Paramètres physiques mesurées :

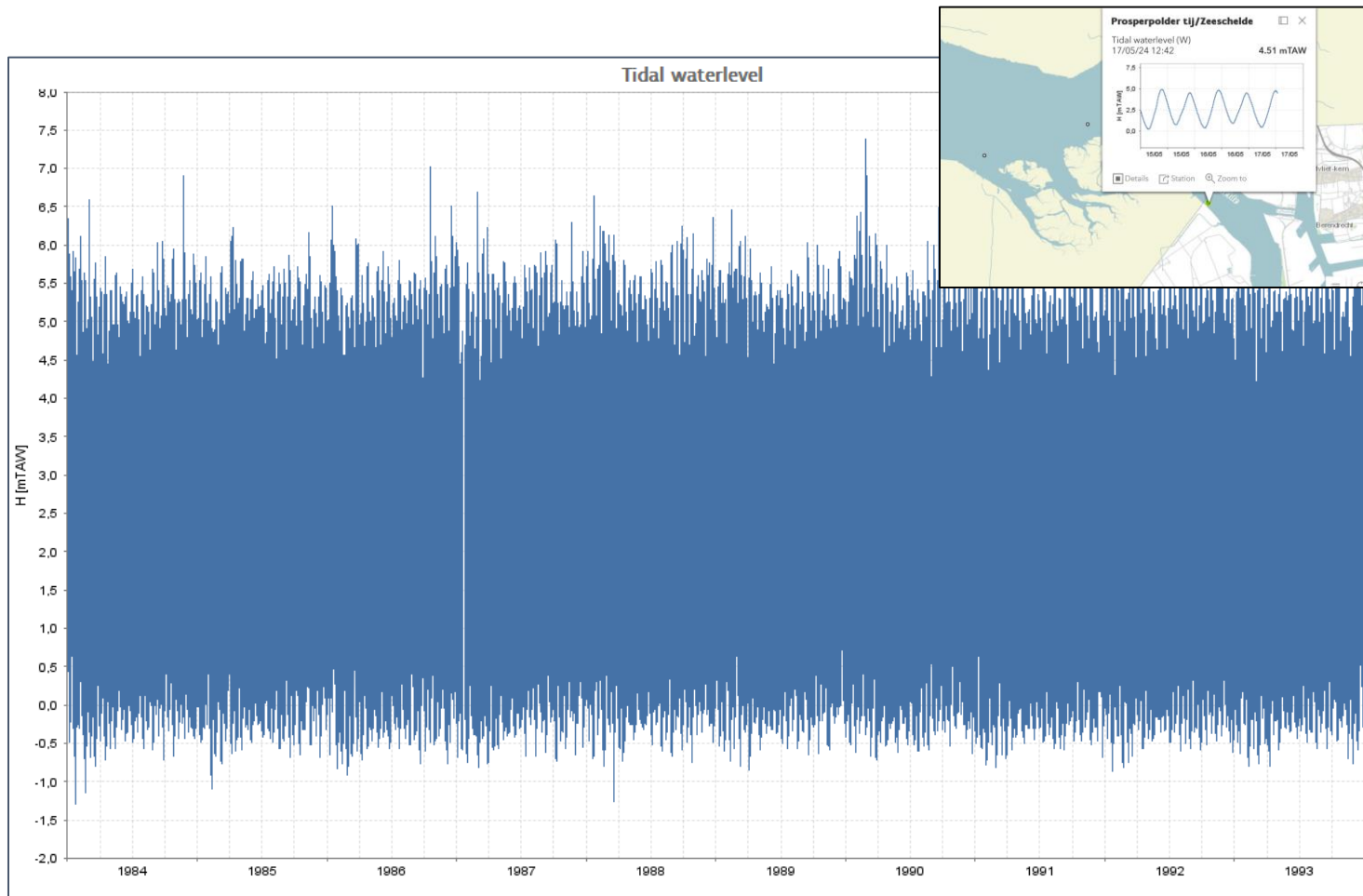
- Teneur en eau volumique,
- Conductivité électrique (dS/m),
- Température en subsurface (°C),
- Permittivité.



Mesures *in situ* - sonde terrestre



Mesures *in situ* - sonde aquatique



Données s'étendant sur l'ensemble de la série temporelle (1984 - aujourd'hui)

Heure et hauteur marées hautes

Heure et hauteur marées basses

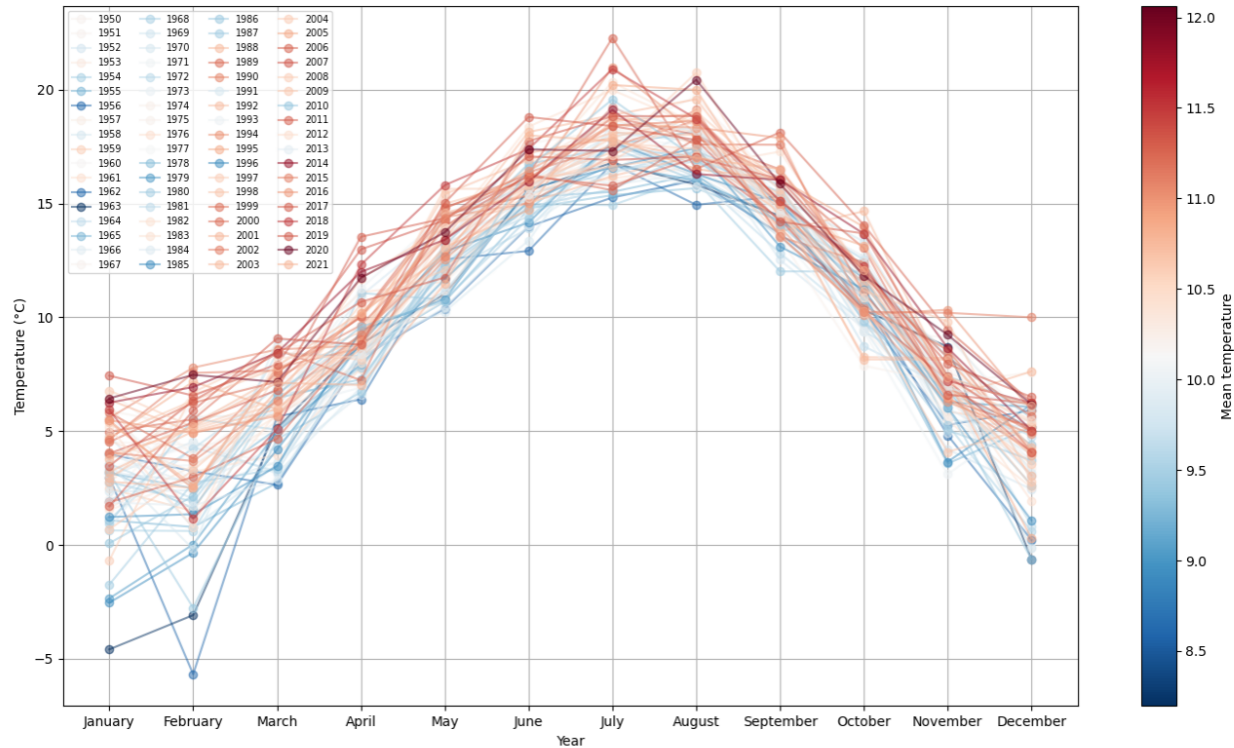
Autres indicateurs :

- Conductivité,
- Salinité,
- Température de l'eau.

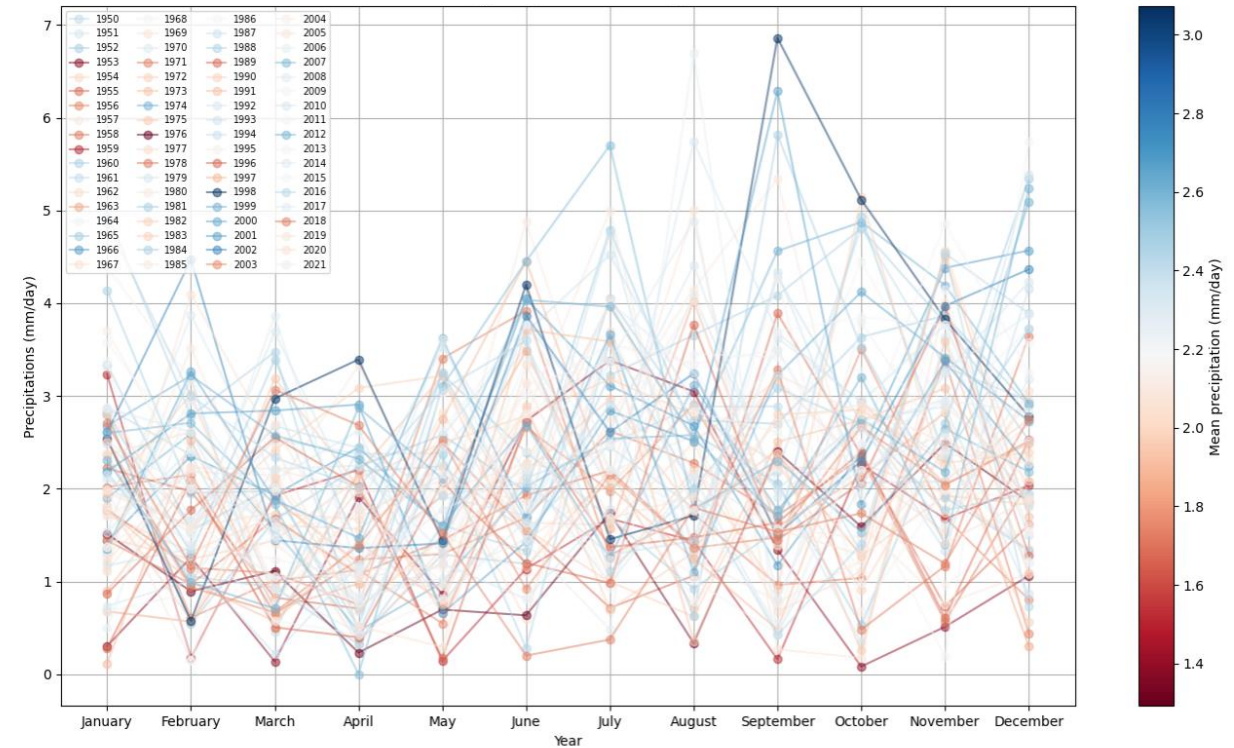
Fournisseur des données : MOW-HIC
Récupérées via <https://www.waterinfo.be/>

Données climatiques locales

Températures d'air mensuelles par année (1950-2021)



Précipitations mensuelles par année (1950-2021)



Données localement extraites de Copernicus C3S E-OBS

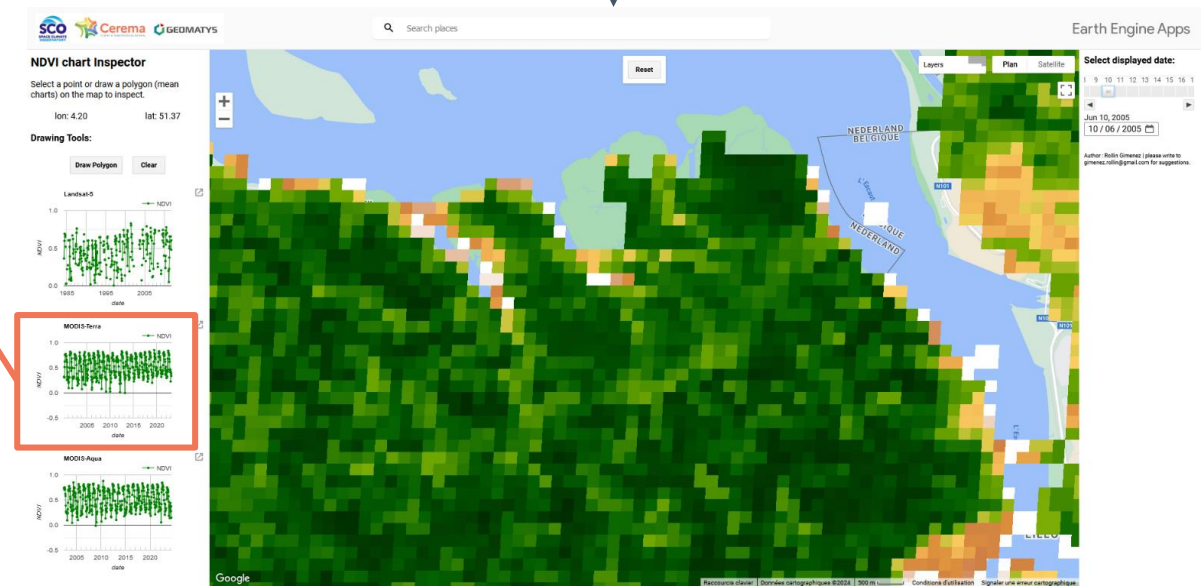
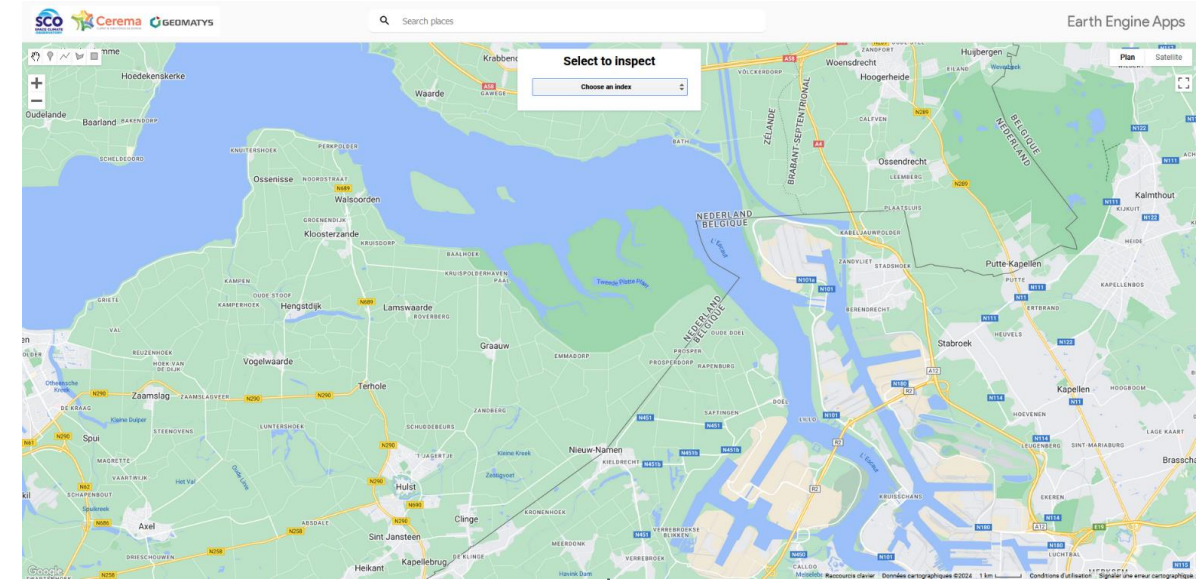
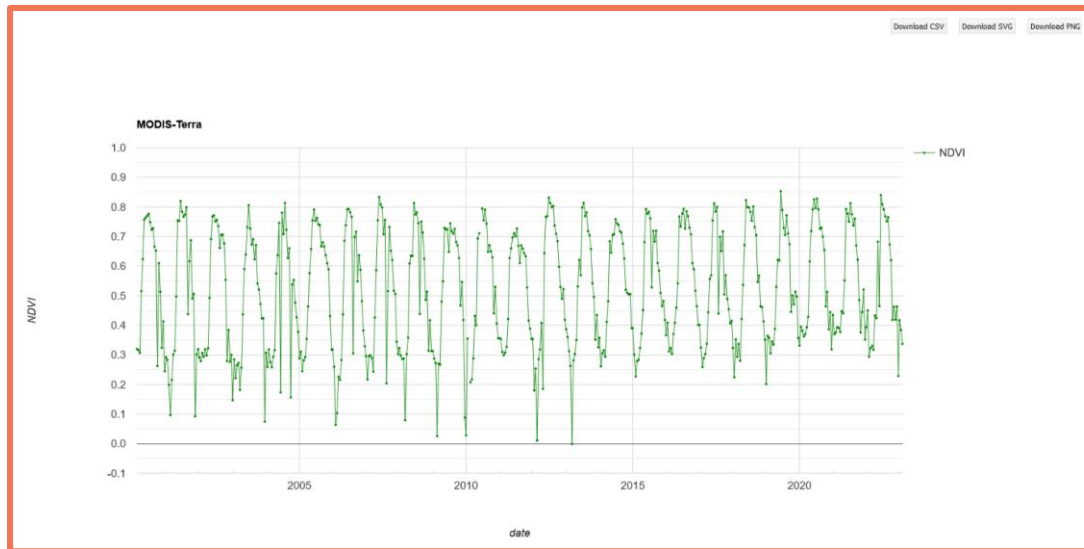


Outil de visualisation

Visualisation

Prototype - Earth Engine Apps

- Tracé et visualisation de variables spectrales
- Pour MODIS/Landsat/Sentinel-1/2



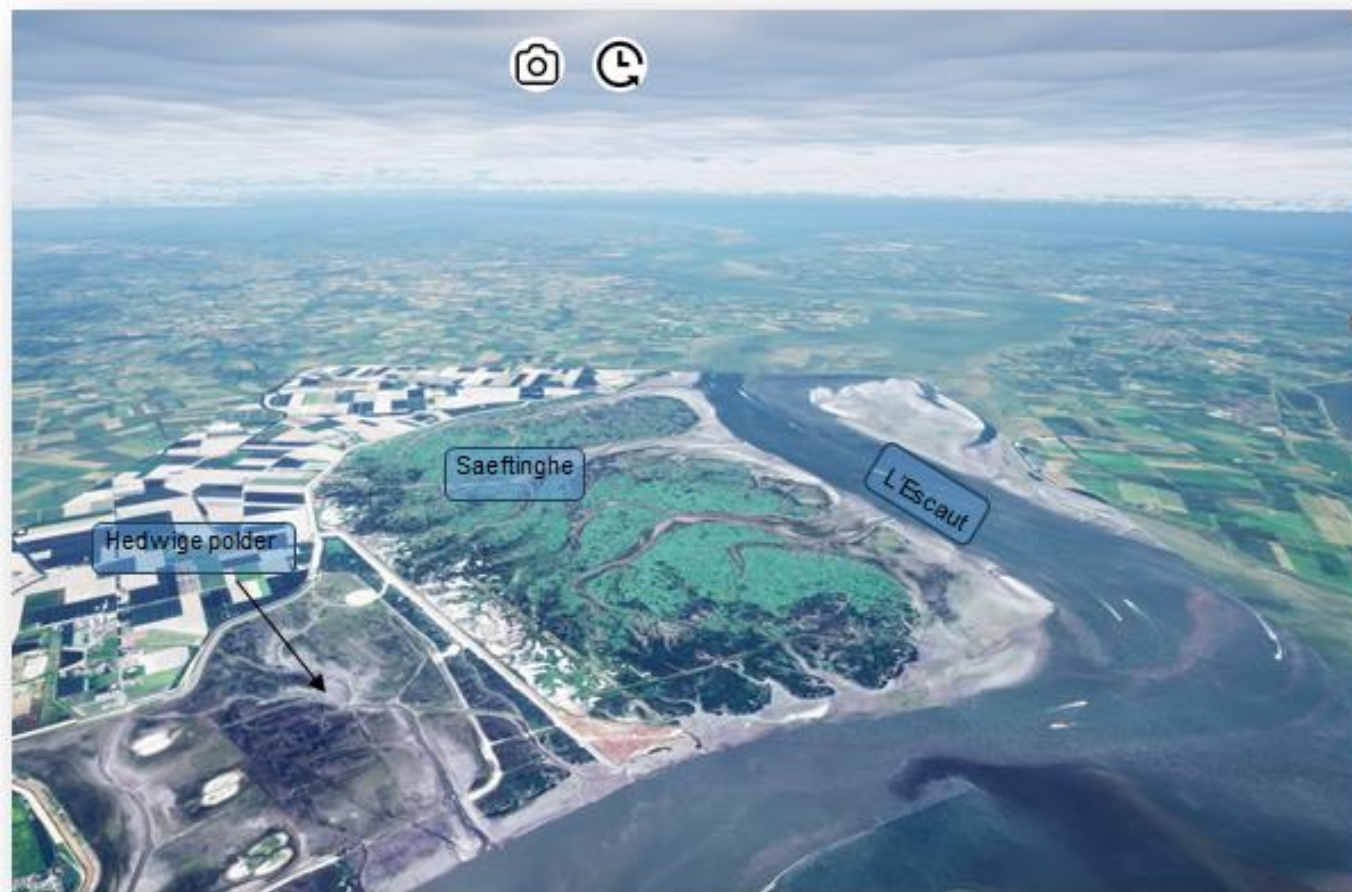
Jumeau numérique

Outil de surveillance du site en développement permettant :

- La visualisation et le téléchargement de données in situ et satellitaires pour les utilisateurs.

Bac-à-sable pour la télédétection spatiale et le suivi des zones humides:

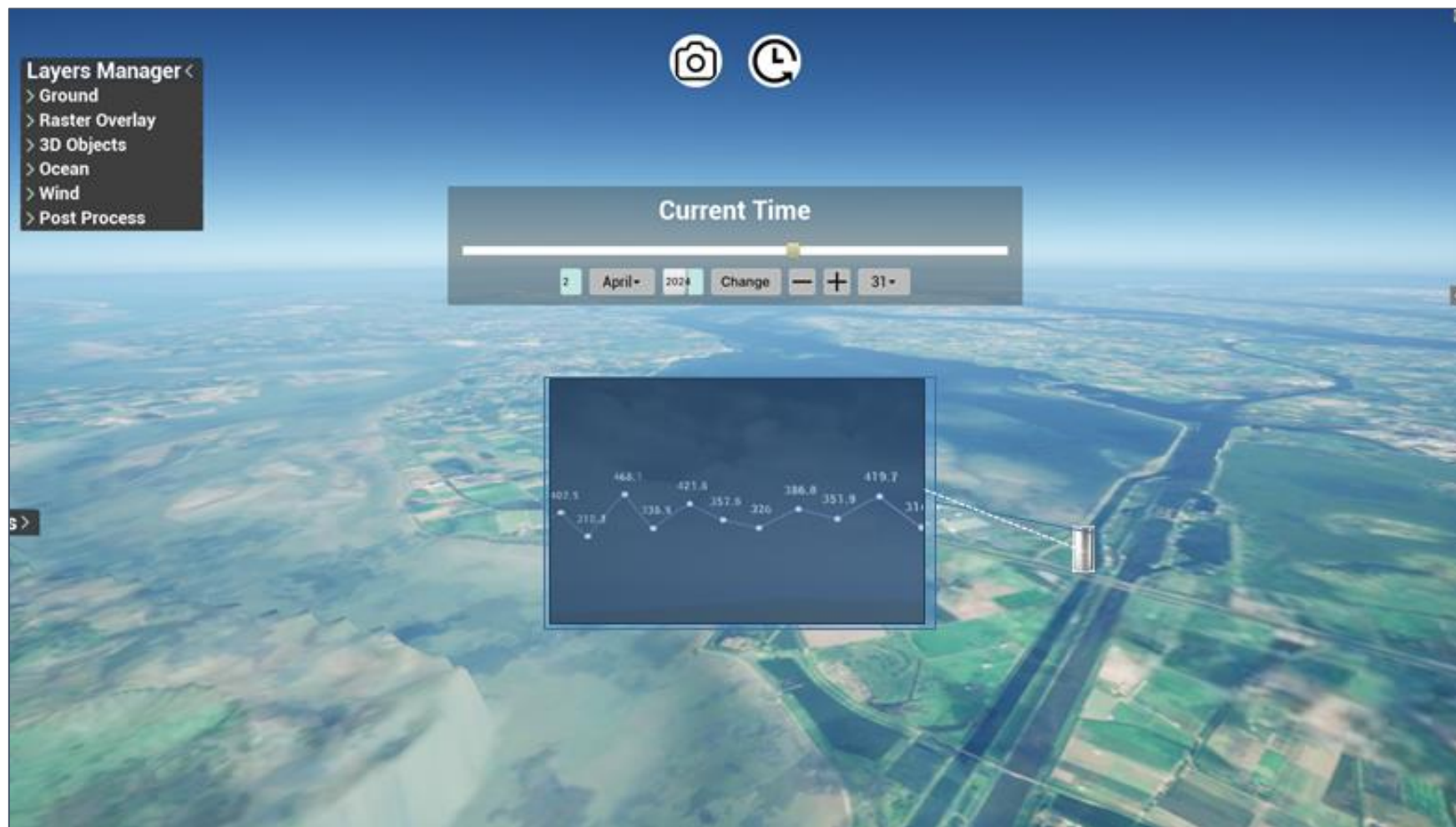
- Suivi de la réponse climatique
- Suivi d'une dépolderisation



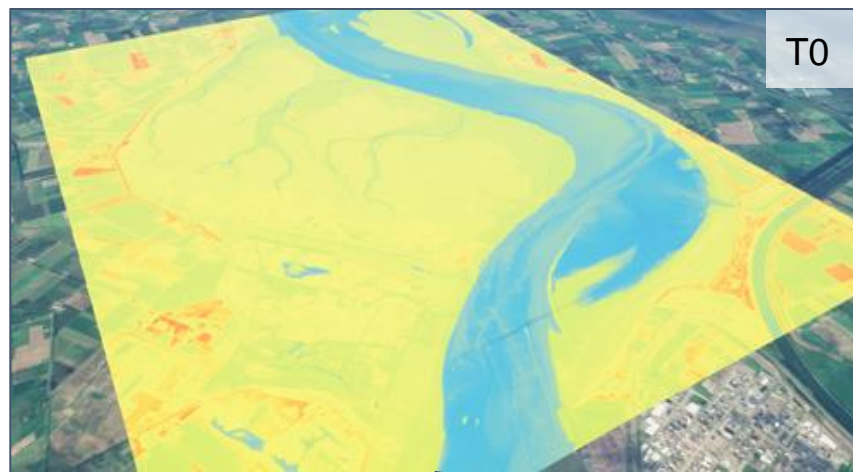
LiDAR data integration with no scale factor / Pléiades

Jumeau numérique

Intégration en cours des mesures de la sonde SoilVue



Jumeau numérique



Détection de changement
entre 2 dates

Perpectives

Court-terme

- Calibration des indices en fonction des satellites pour le long-terme.
- Suivi de la propagation du front d'eau avant-après dépoldérisation.
- Meilleure prise en compte des marées ?
- Continuer le développement du jumeau numérique.
- Calibration des T°surf satellitaire avec celle de la sonde.

Long-terme

- Détection automatique des événements extrêmes.
- Influence des événements extrêmes sur la zone de référence et dans l'ancien polder
- Meilleure prise en compte de l'influence des marées
- Information sur la dynamique sédimentaire dans l'ancien polder

Sources :

[IPCC CLIMATE CHANGE 2023 Synthesis Report](#)

[IPCC Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change](#)

<https://juandb.users.earthengine.app/view/sar-watcher>

[Fiche projet SCO](#)

[Présentation du projet Cerema](#)

Centre de ressources dédié aux utilisateurs de données satellitaires

Communauté dédiée aux utilisateurs de données satellitaires




An aerial photograph of a dense, intricate river network, likely a delta or a large wetland area. The water channels are dark brown and meander across a green, vegetated landscape. A semi-transparent white rectangular box is centered in the lower half of the image, containing the text "Merci de votre attention".

Merci de votre attention

teodolina.lopez@cerema.fr
cyrille.fauchard@cerema.fr