

# Utilisation des séries temporelles d'image satellitaires pour étudier les écosystèmes lacustres



N. Reynaud (Inrae)

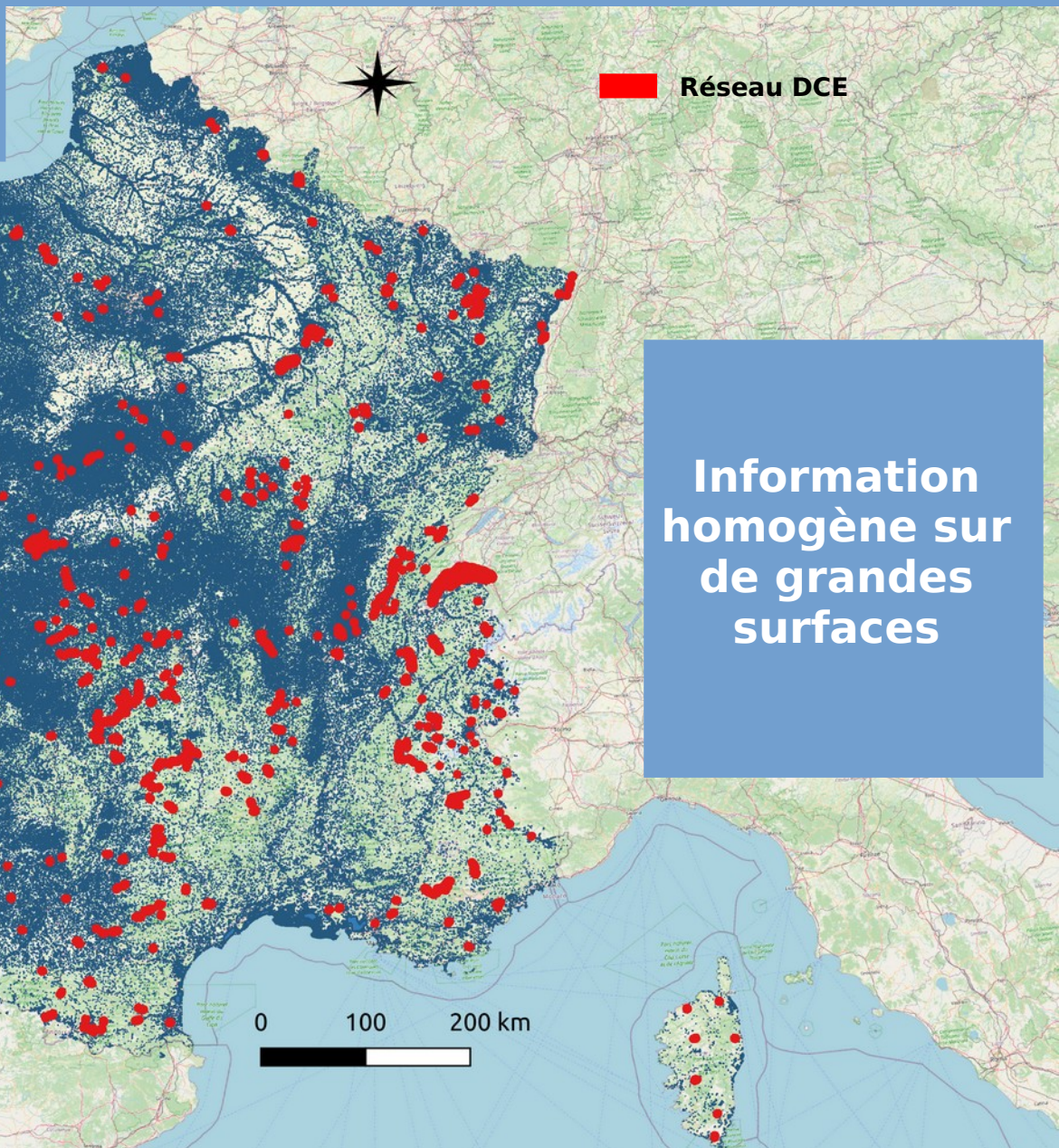


T. Tormos (OFB)

METAPROGRAMME BIOSEFAIR :  
Apports, intérêts, limites de la télédétection  
pour mieux connaître la biodiversité  
Castelnau-le-Lez, 14 novembre – 15 novembre

# INTÉRÊTS

≈ 13 600 km<sup>2</sup>  
(≈ 5600 métropole & ≈ 8300 DROM)

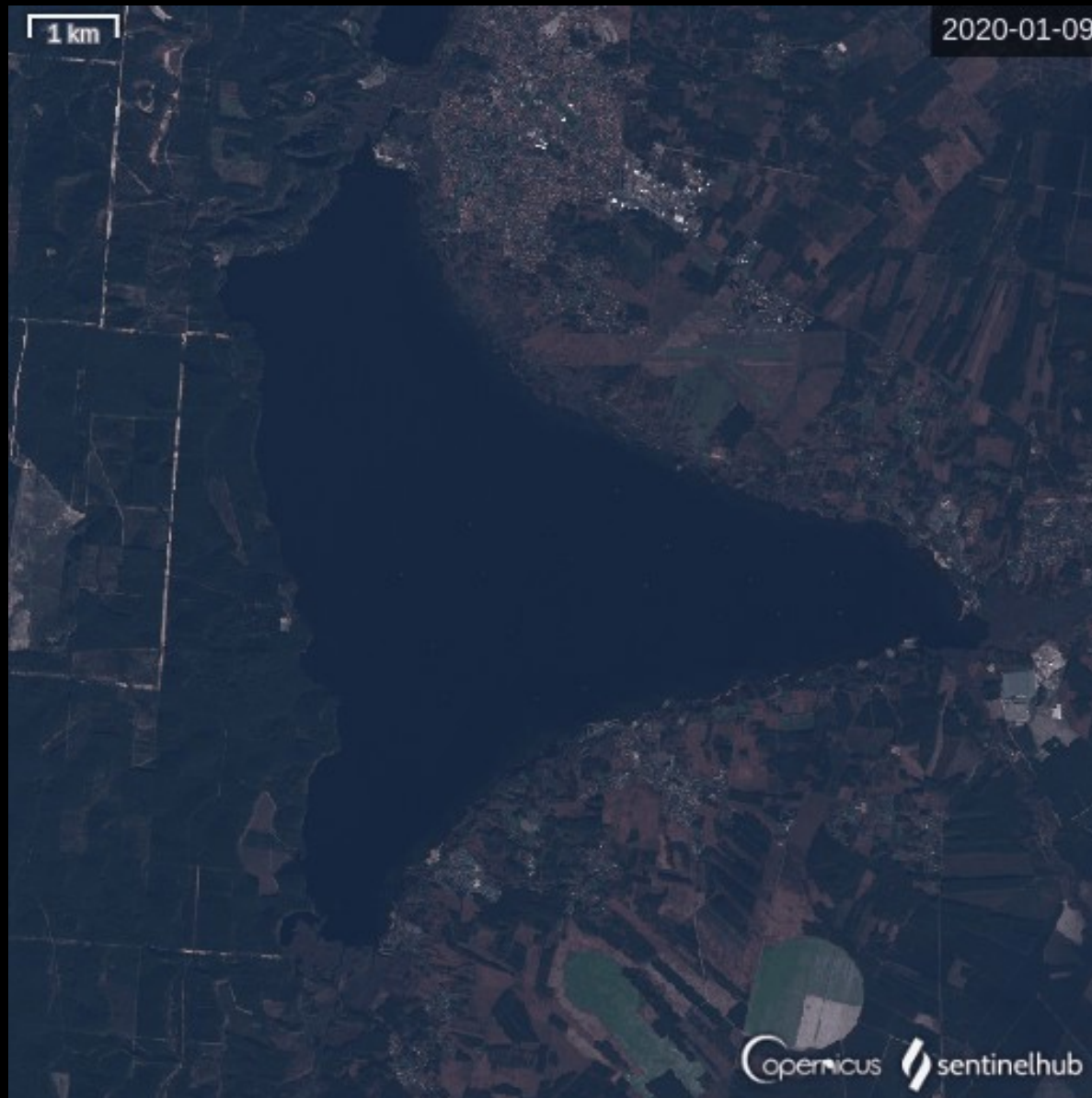


Information  
homogène sur  
de grandes  
surfaces





# INTÉRÊTS



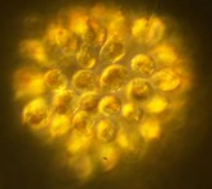
La fréquence  
de revisite



# INTÉRÊTS



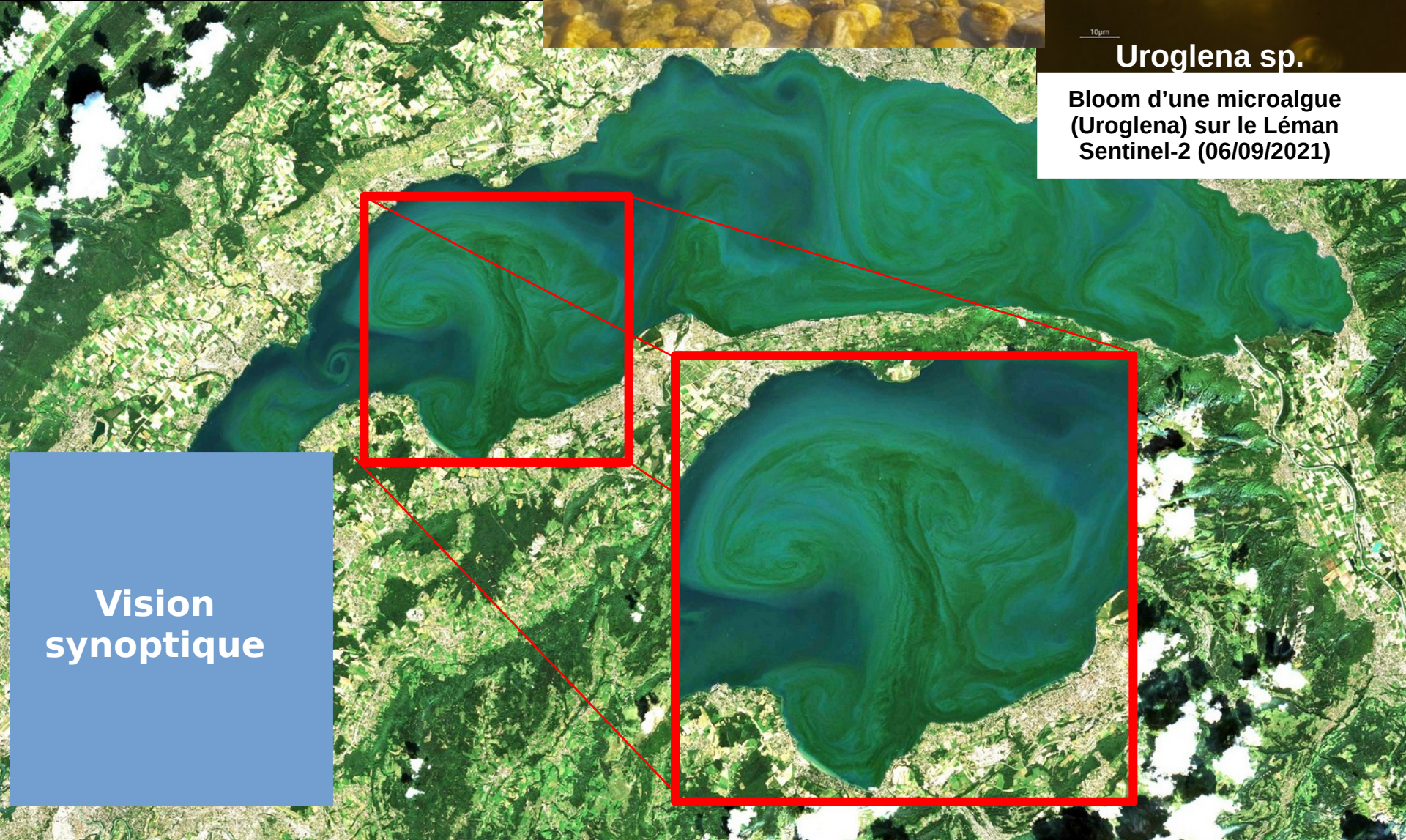
10µm



**Uroglena sp.**

**Bloom d'une microalgue  
(Uroglena) sur le Léman  
Sentinel-2 (06/09/2021)**

**Vision  
synoptique**



# Quels paramètres ?

Evolution  
OS, NDVI...

BV

CR

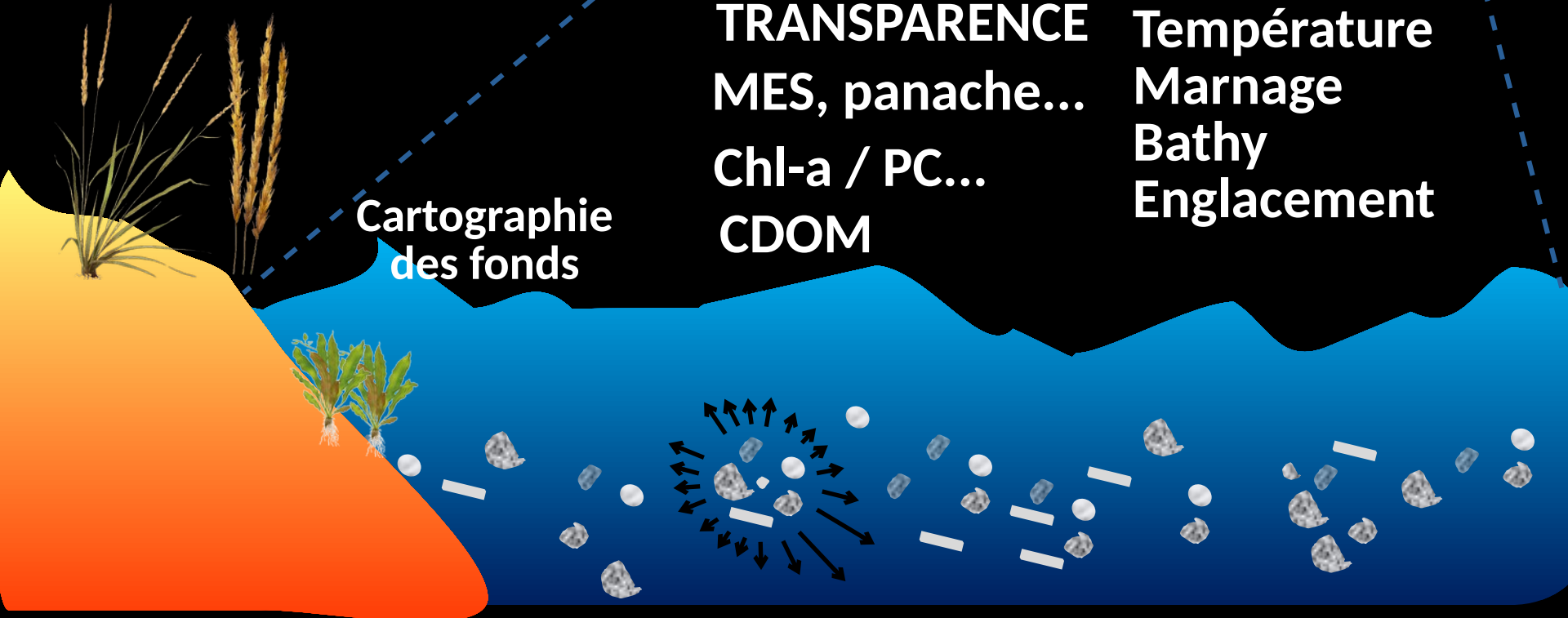
ME

Cartographie de la  
végétation rivulaire

Cartographie  
des fonds

TRANSPARENCE  
MES, panache...  
Chl-a / PC...  
CDOM

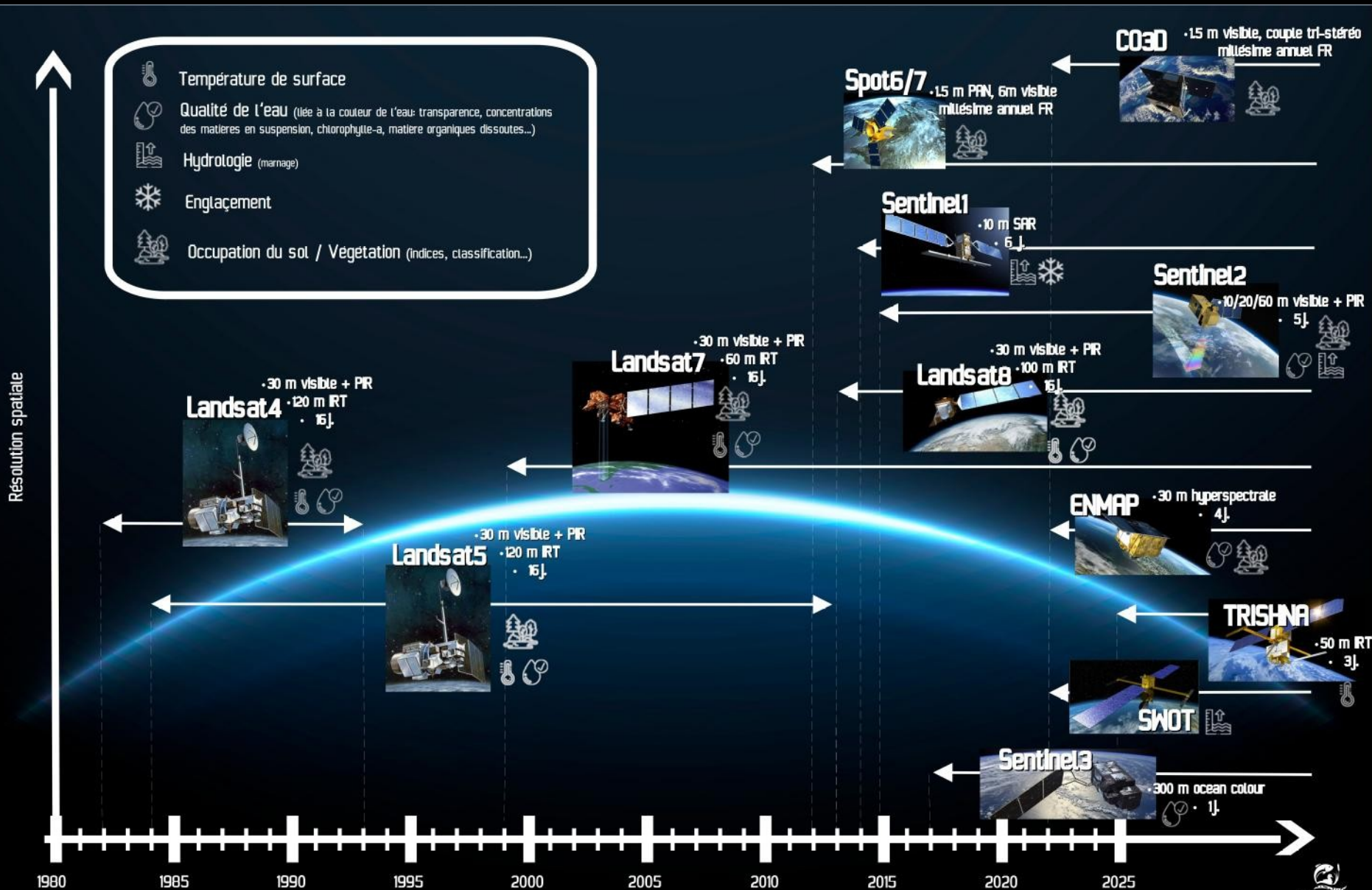
Température  
Marnage  
Bathy  
Englacement





# Quels capteurs ?

<https://data.ecla.inrae.fr/donnees/produits-de-teledetection>



# Quelle capacité d'observation ?

**Quelle taille de système ?**  
(dimension spatiale)

**Quelle fréquence /  
saisonnalité ?**  
(dimension temporelle)

**Quelle profondeur ?**  
(dimension verticale)

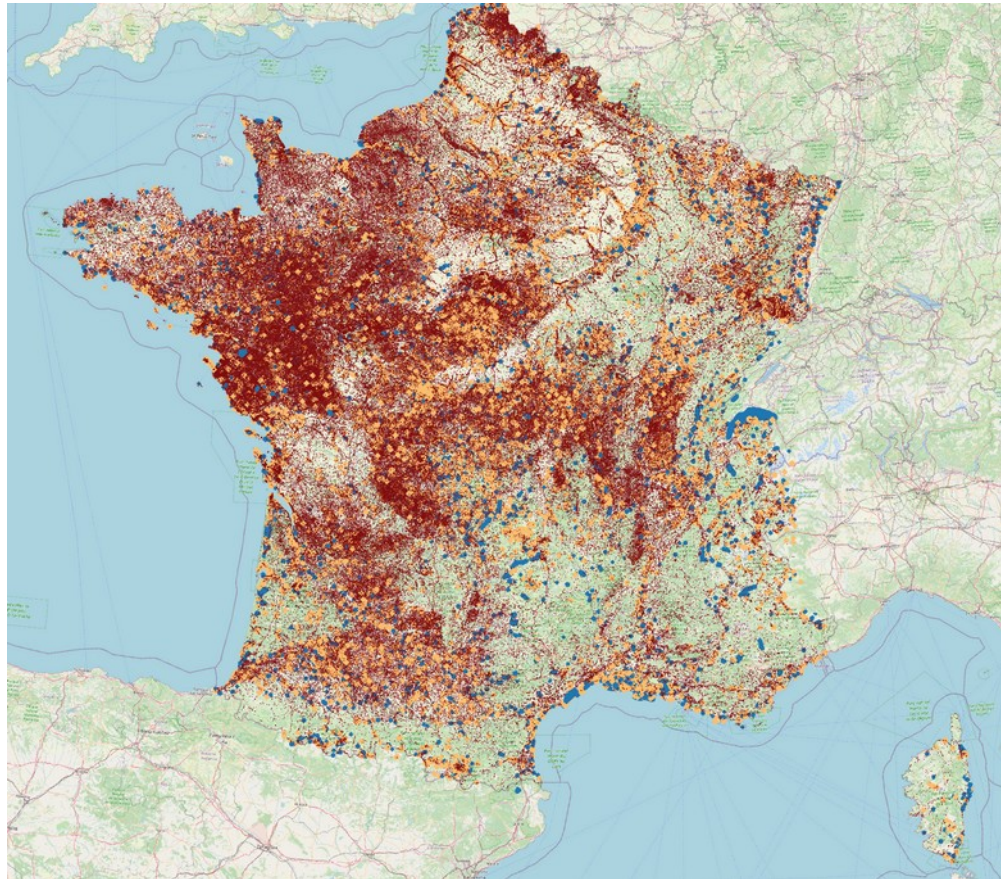
# Quelle capacité d'observation ?

**Quelle taille de système ?** > 3 ha ~ 18 000 plans d'eau selon l'inventaire  
(dimension spatiale)

> 10 ha ~ 5 000 plans d'eau selon l'inventaire

**Quelle fréquence /  
saisonnalité ?**  
(dimension temporelle)

**Quelle profondeur ?**  
(dimension verticale)

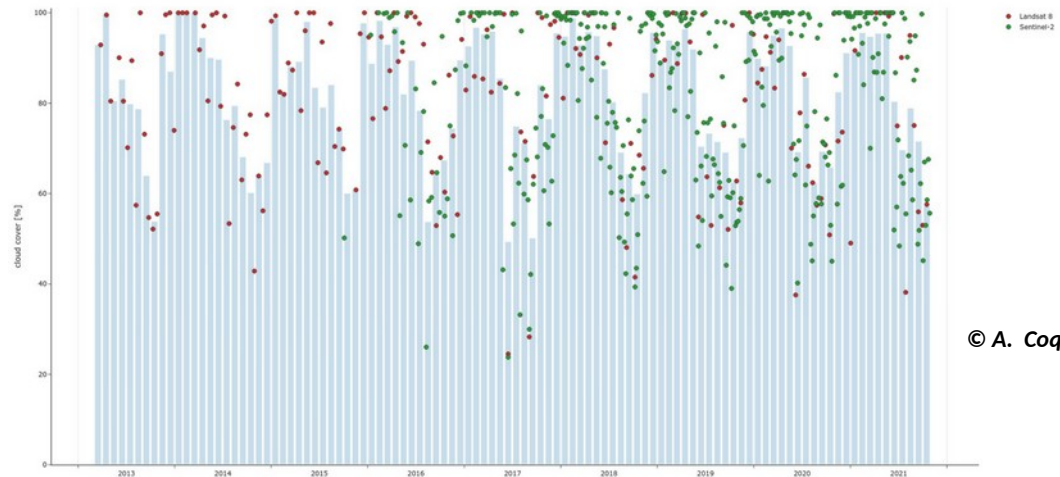




# Quelle capacité d'observation ?

**Quelle taille de système ?** > 3 ha ~ 18 000 plans d'eau selon l'inventaire  
(dimension spatiale) > 10 ha ~ 5 000 plans d'eau selon l'inventaire

**Quelle fréquence /  
saisonnalité ?**  
(dimension temporelle)



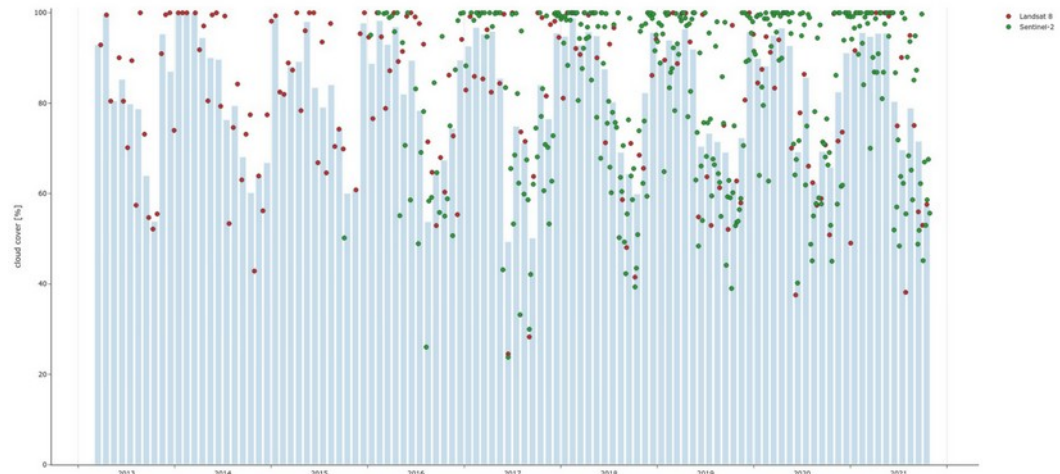
**Quelle profondeur ?**  
(dimension verticale)

# Quelle capacité d'observation ?

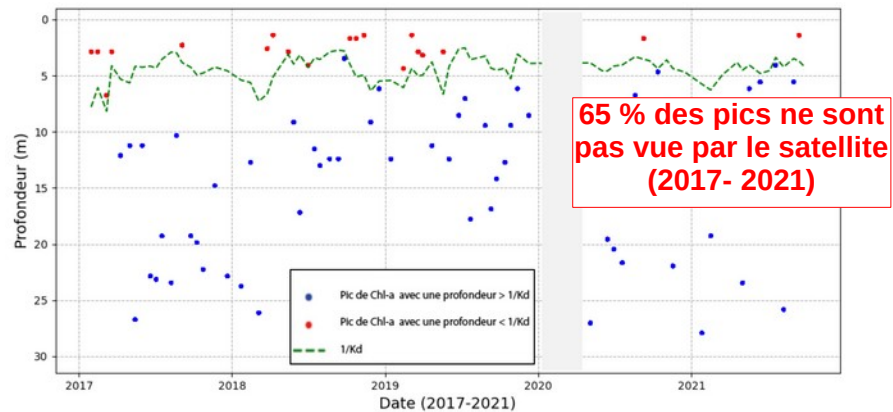
Quelle taille de système ?  
(dimension spatiale)

- > 3 ha ~ 18 000 plans d'eau selon l'inventaire
- > 10 ha ~ 5 000 plans d'eau selon l'inventaire

Quelle fréquence /  
saisonnalité ?  
(dimension temporelle)



Quelle profondeur ?  
(dimension verticale)





# Opérationnalité ?

Recherche  
fondamentale

Recherche appliquée  
(prototypage)

Opérationnel



Cyanos  
(couleur de l'eau)



Chlorophylle-a  
(couleur de l'eau)

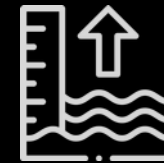
Température



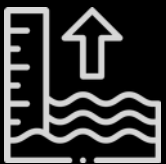
Cartographie des  
fonds + rivulaire



Transparence  
Turbidité  
(couleur de l'eau)



Marnage / Détection  
surface en eau



Bathymétrie



Dynamique paysage  
BV

# On est pas tout seul

## Production / Diffusion



## Prototype (R&D)

### CENTRES D'EXPERTISE SCIENTIFIQUE

Produits à valeur ajoutée



## Financiers



## Utilisateurs

(décideur / gestionnaires/ scientifiques)



## Partenaires scientifiques





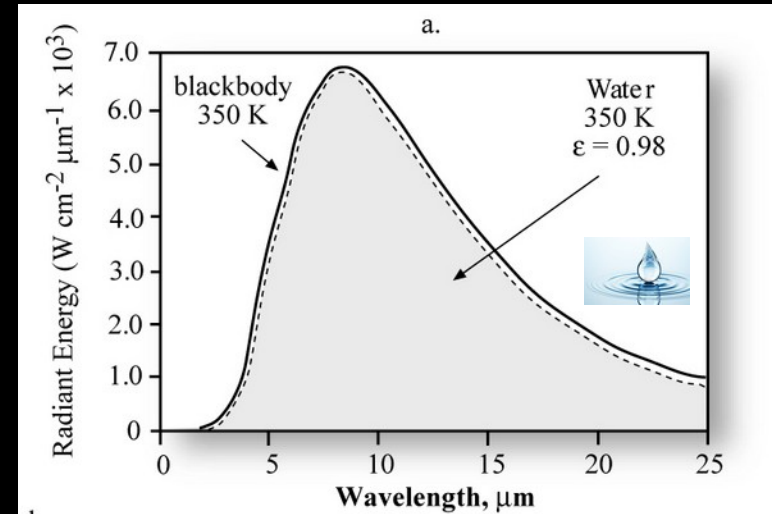
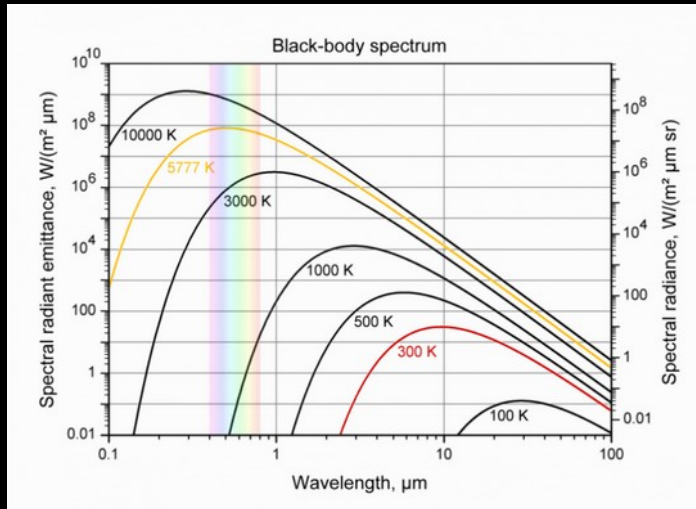
# Température

opérationnel



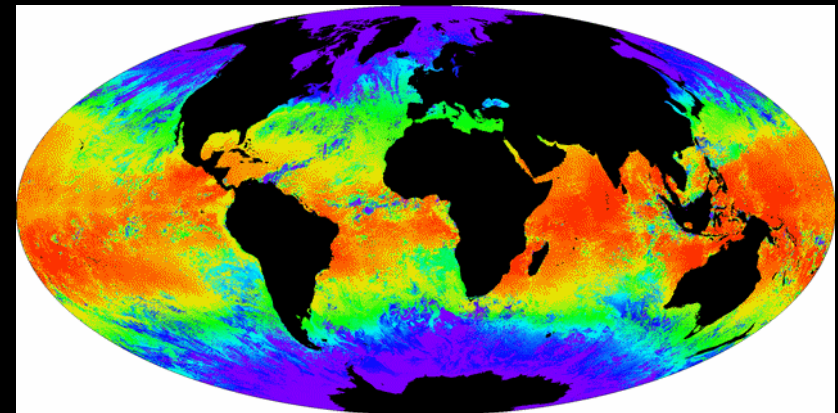
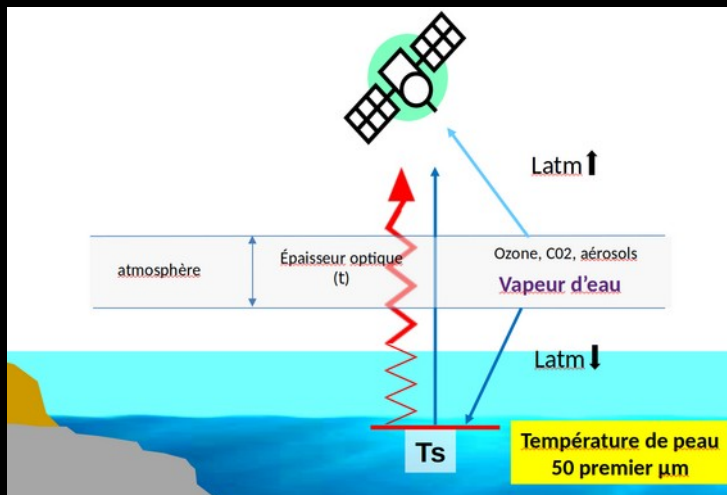
On connaît très bien la relation  
 $L=f(T_{\text{corpnoir}})$

$$T_{\text{eau}} = 0.98 \cdot T_{\text{corpnoir}}$$



## Corrections atmosphériques

## Pas un verrou scientifique



# Température

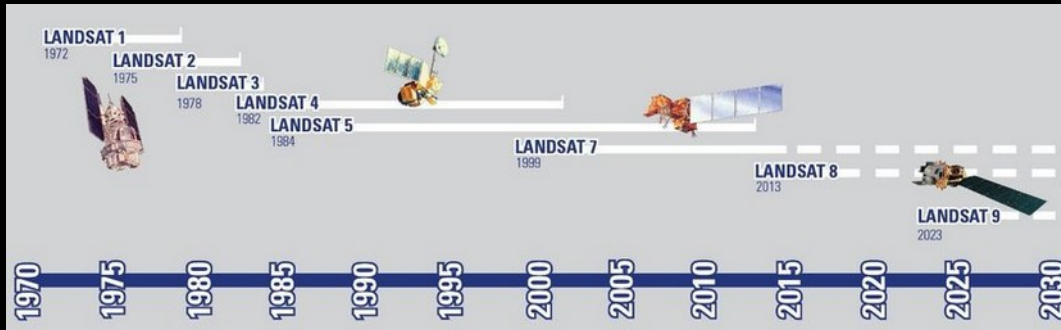
opérationnel



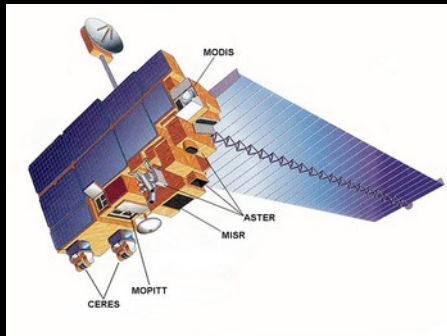
**Aujourd'hui**  
**60-120 m**  
**1 img/16j**

**Demain**  
**50-60 m**  
**1 img/3j**

## Landsat (40 ans d'archive)



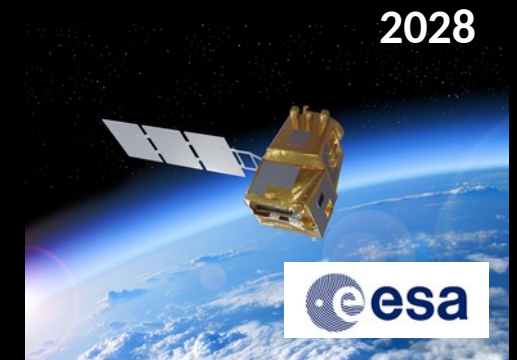
## ASTER (20 ans)



## TRISHNA



## LSTM





# Température

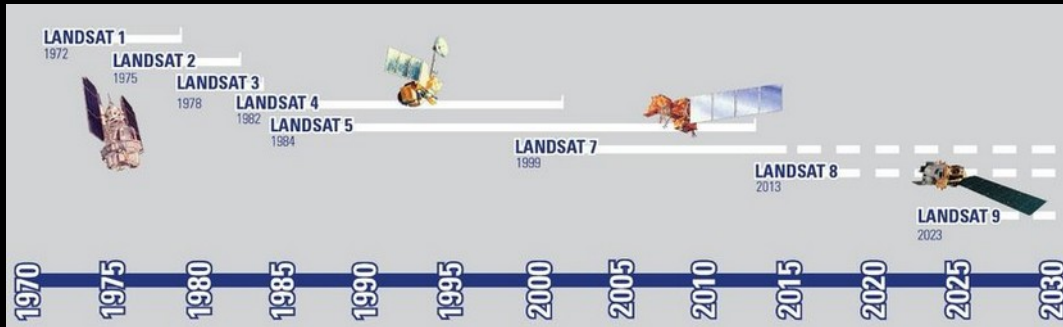
opérationnel



**Aujourd'hui**  
**60-120 m**  
**1 img/16j**

**Demain**  
**50-60 m**  
**1 img/3j**

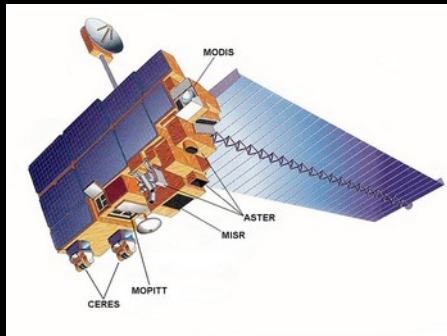
## Landsat (40 ans d'archive)



## TRISHNA



## ASTER (20 ans)



## LSTM

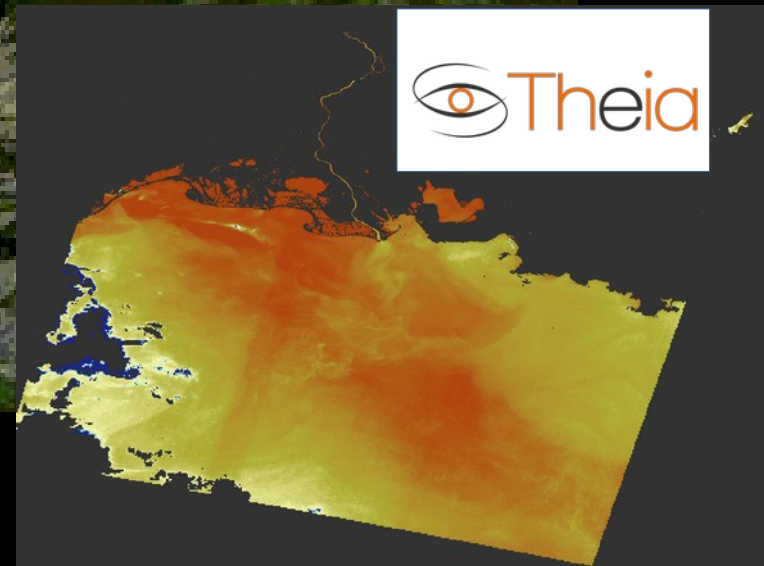
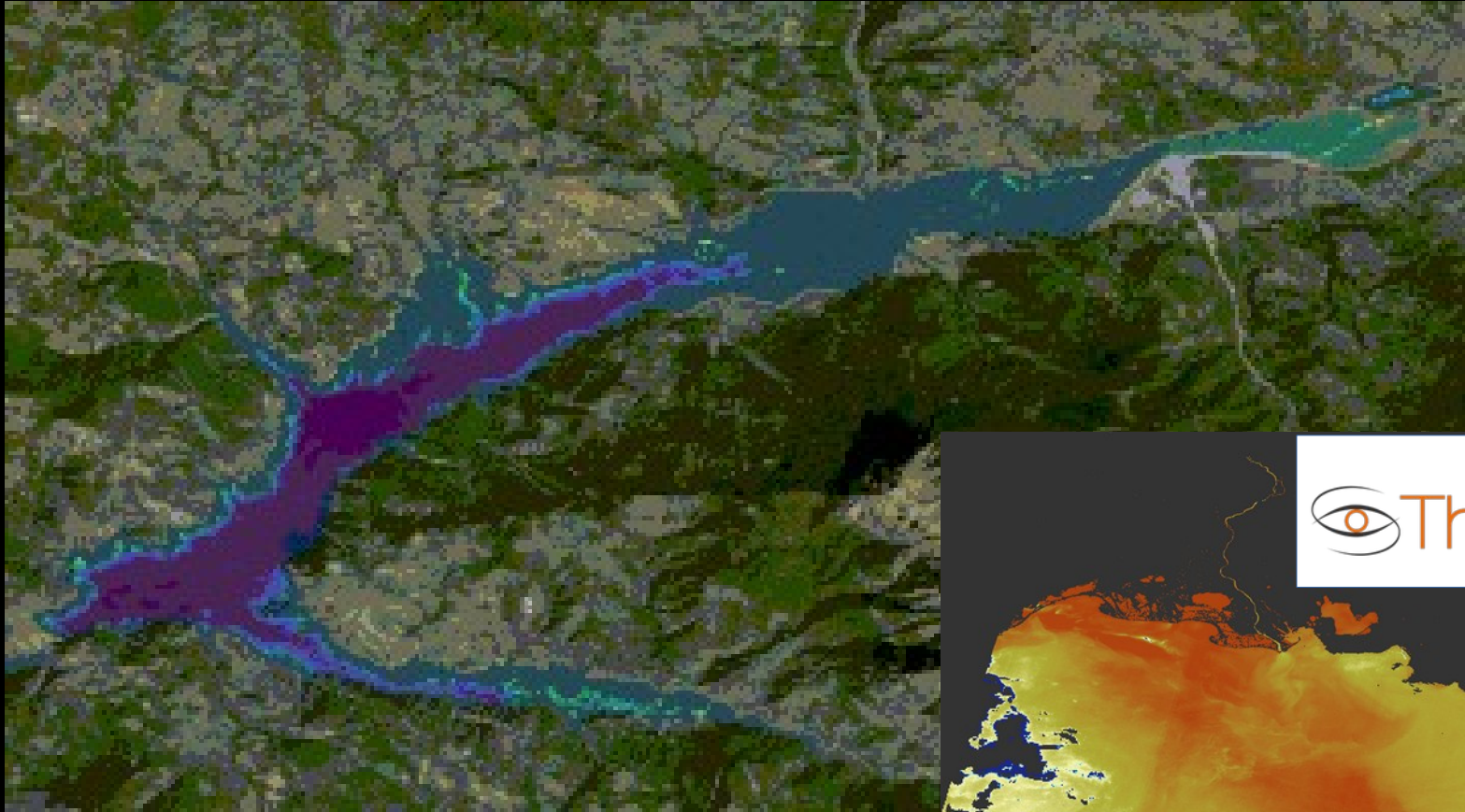
2028



# Température

Erreur : +/- 1 à 2 °C  
Pixel eau de chaque dalle

Archives LANDSAT  
MAJ annuelle



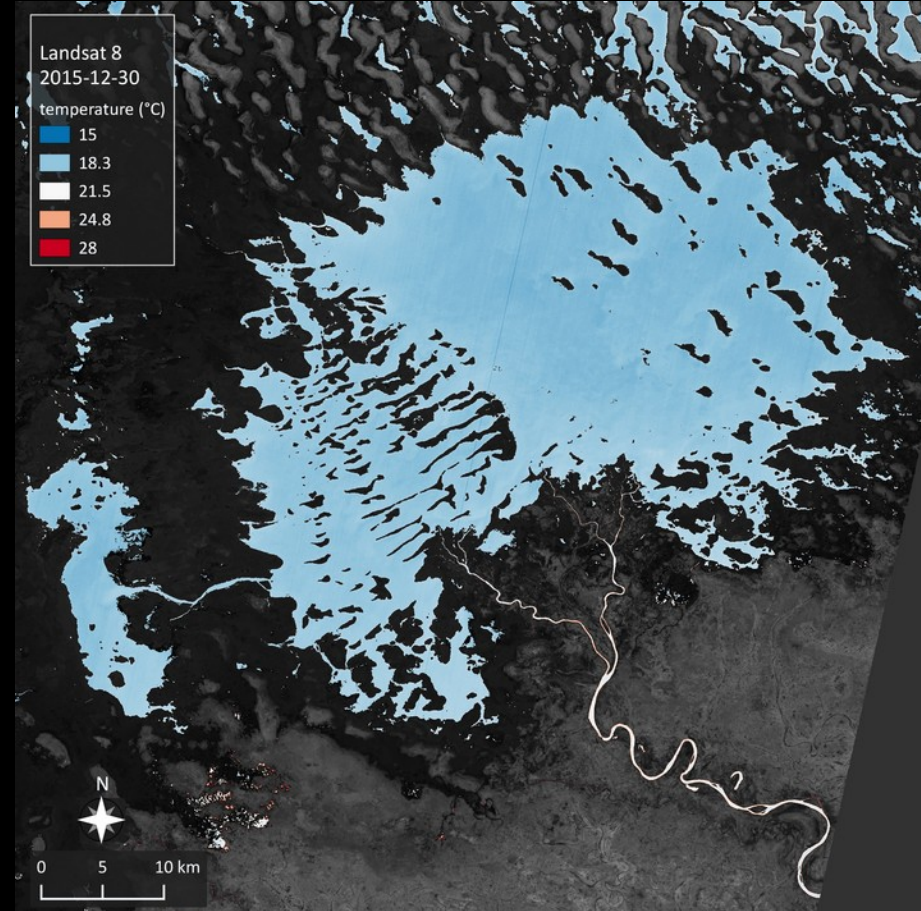
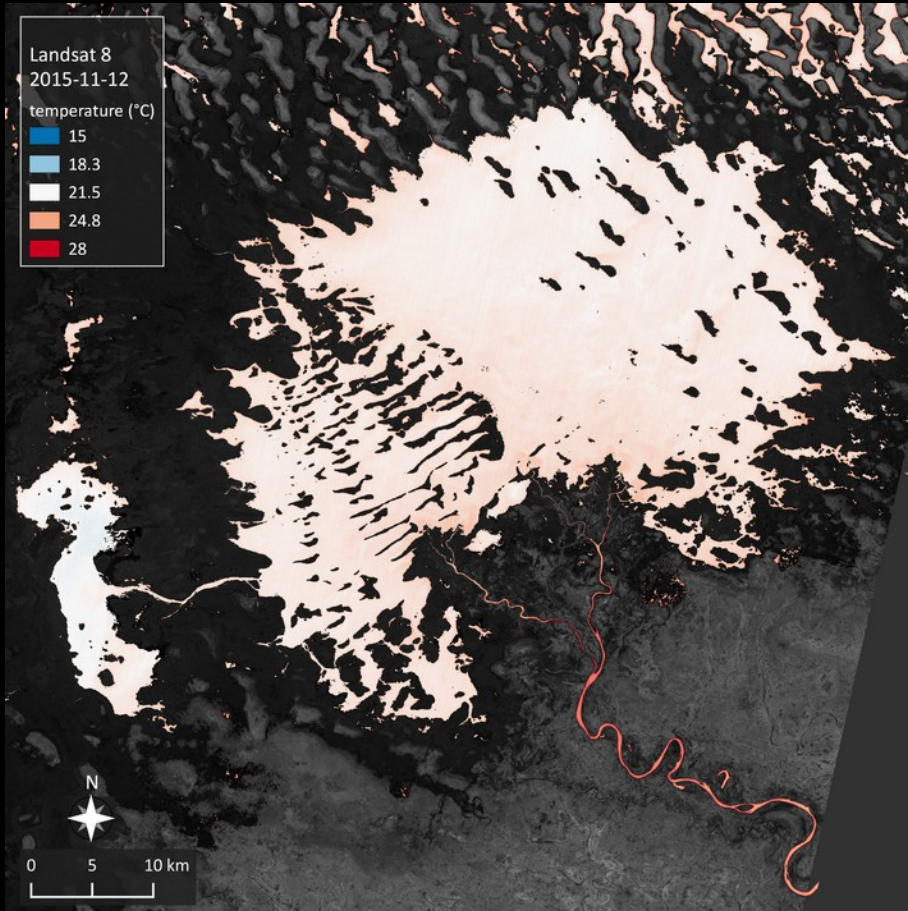
Simon 2014 ; Prats, 2016



# Température

Erreur : +/- 1 à 2 °C

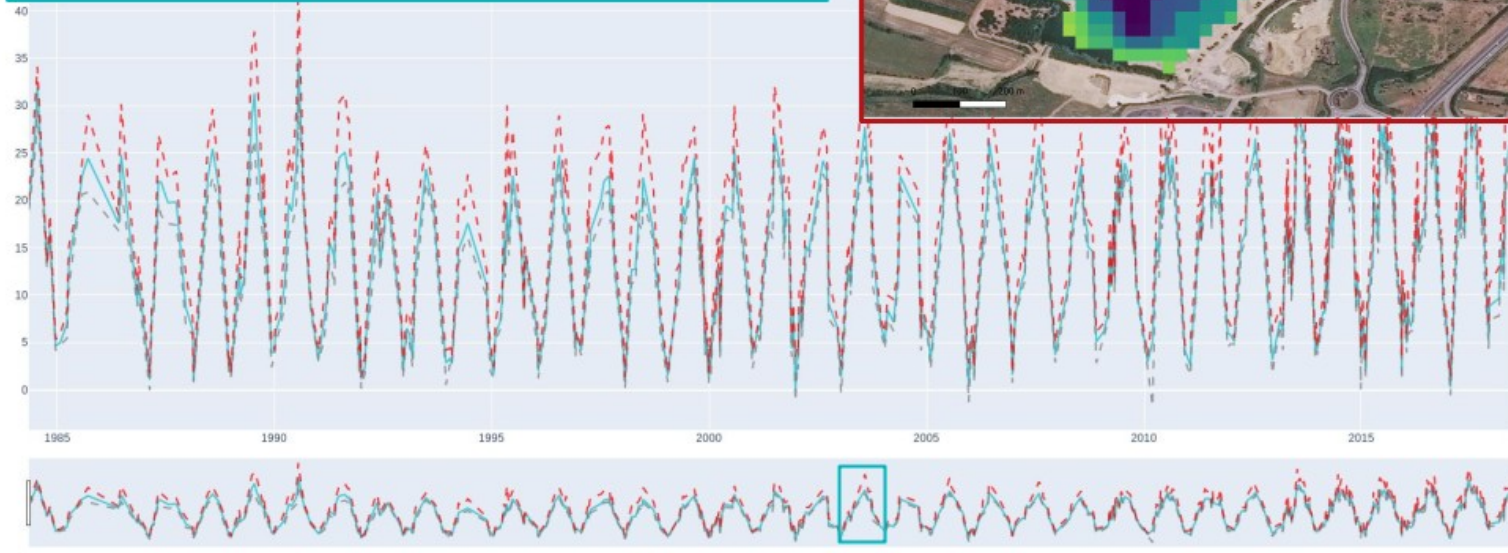
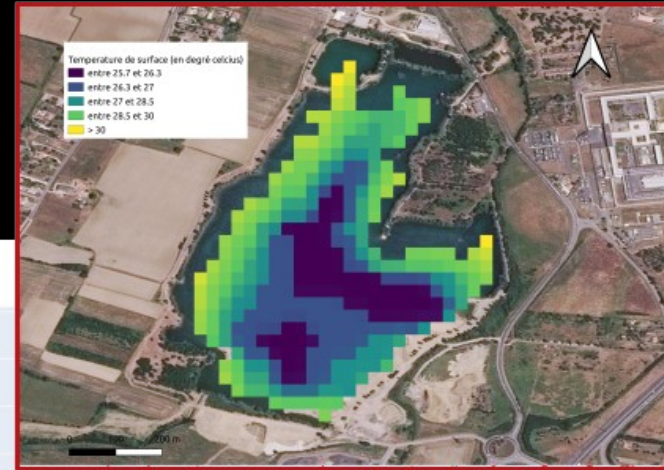
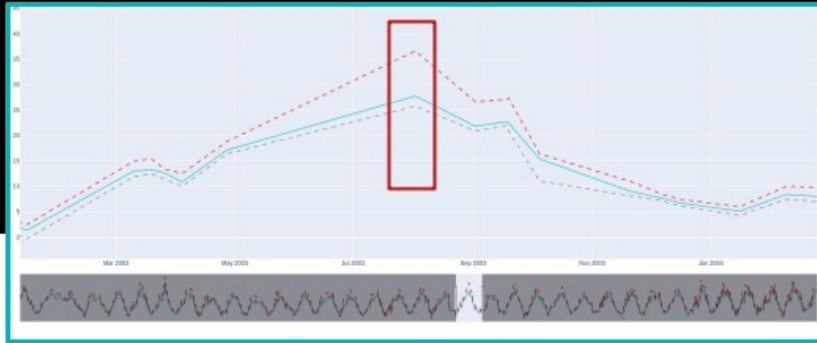
Pixel eau de chaque dalle



# Température

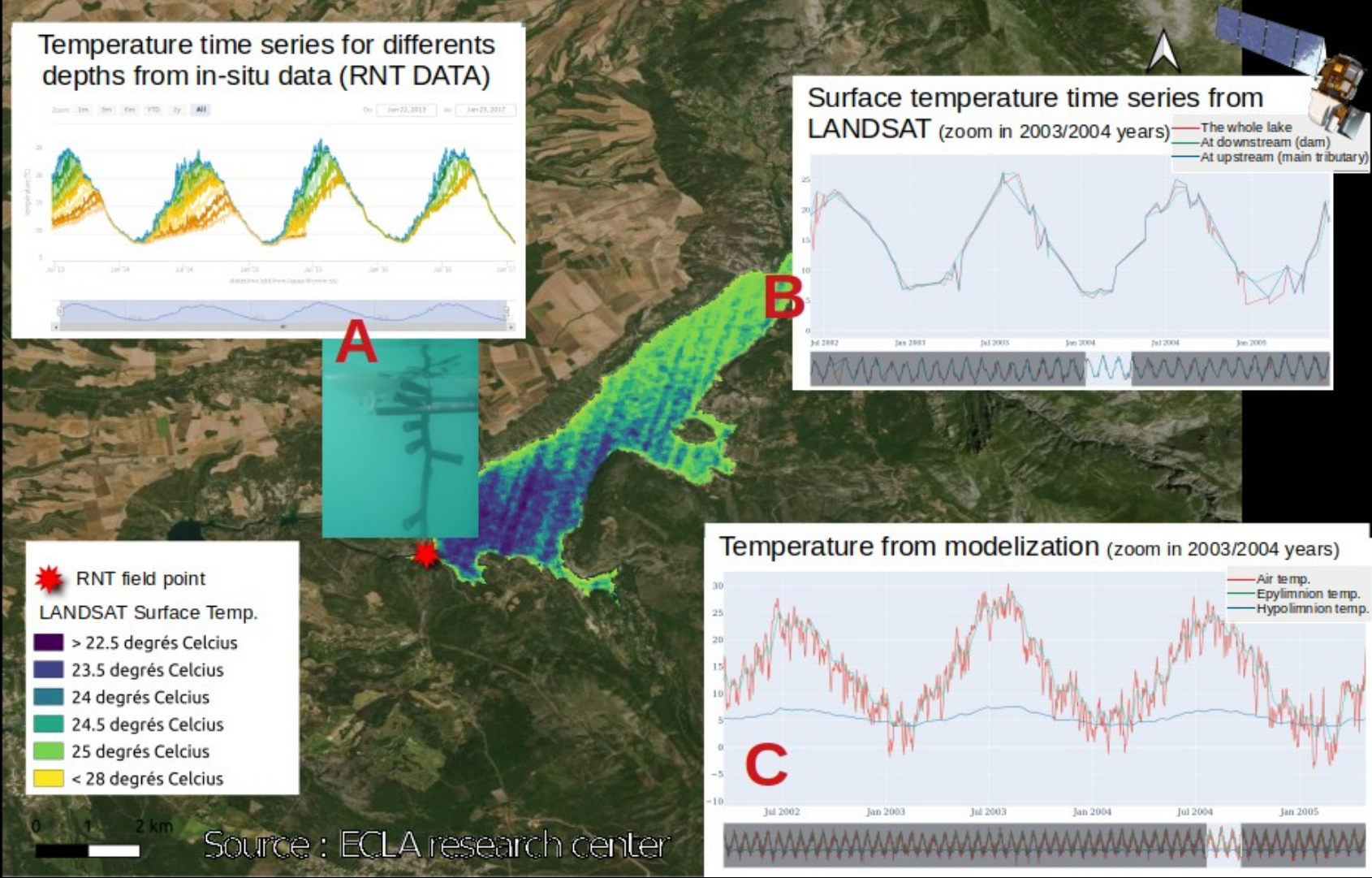
Erreur : +/- 1 à 2 °C  
Pixel eau de chaque dalle

Archives LANDSAT  
MAJ (t -2 mois)





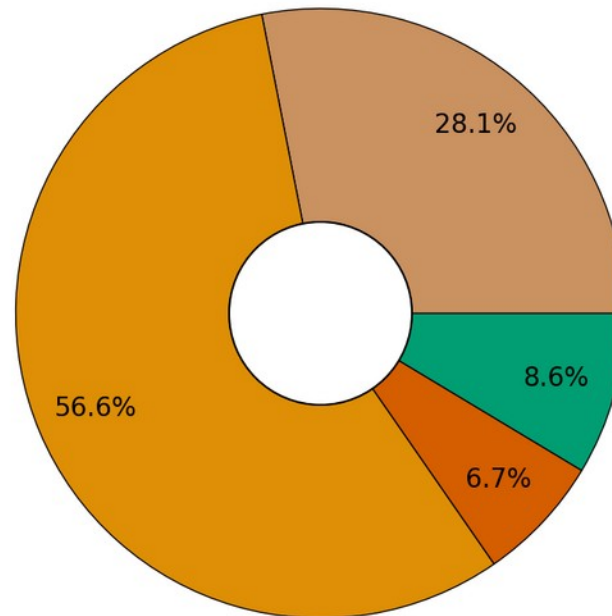
# Température





# Température

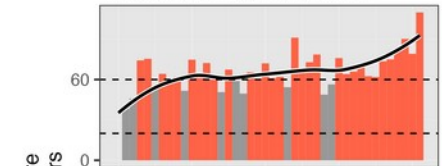
Tendances des températures moyennes annuelles de surface de 267 lacs en France (1980-2019)



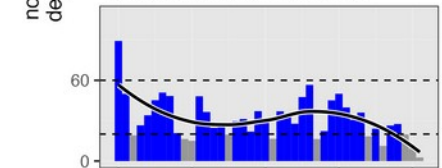
■ Pas de tendance  
■ Tendance croissante < 1 °C  
■ 1 °C ≤ Tendance croissante < 2 °C  
■ Tendance croissante ≥ 2 °C

Nombre de jours avec...

Température de l'épilimnion ≥ 20°C



Température de l'épilimnion ≤ 4°C



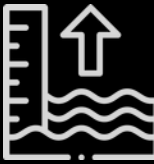
Années avec...

■ Au moins 60 jours à plus de 20°C  
■ Au moins 20 jours à moins de 4°C  
■ Autre

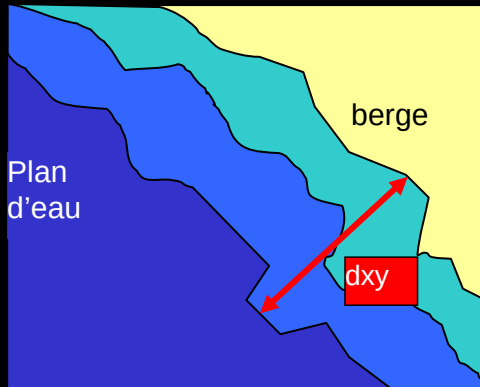


# Hydrologie

Industrialisation /  
opérationnel

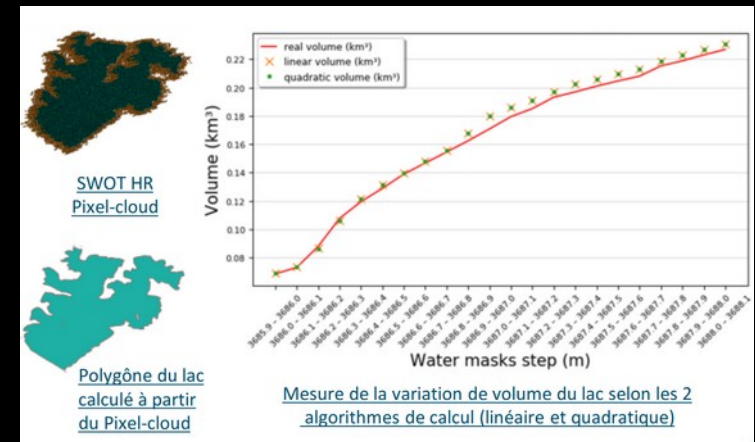
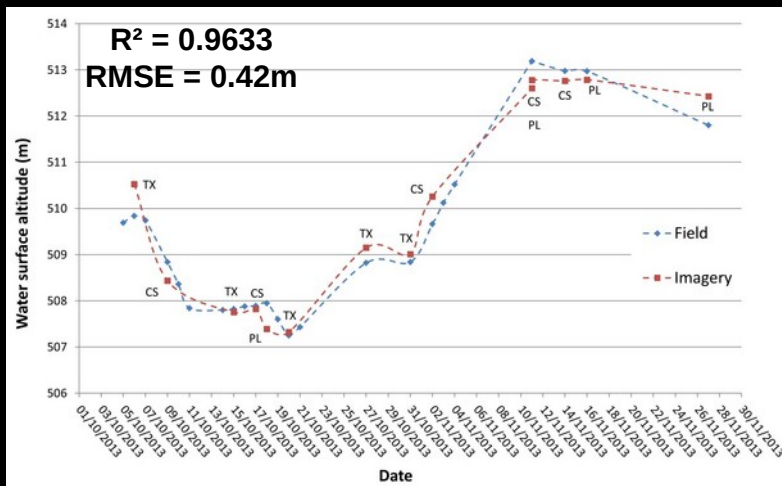
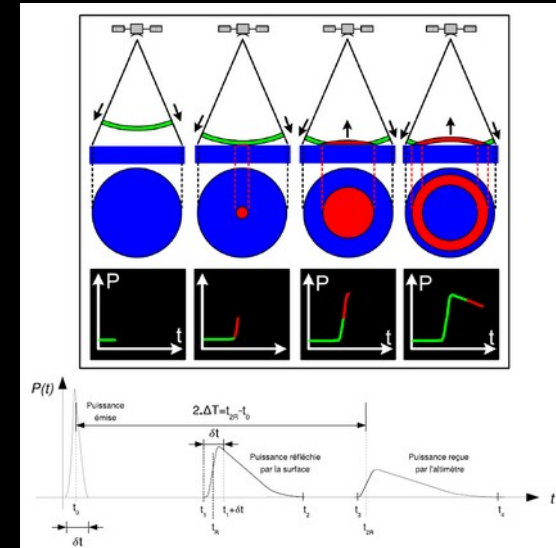


## Suivi des superficies (+ bathy)



$dxy$  relié à  $dz$  en fonction de morphologie de la cuvette (pente de la berge)

## Altimétrie radar

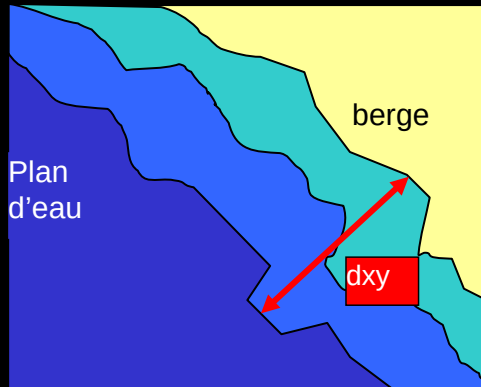


# Hydrologie

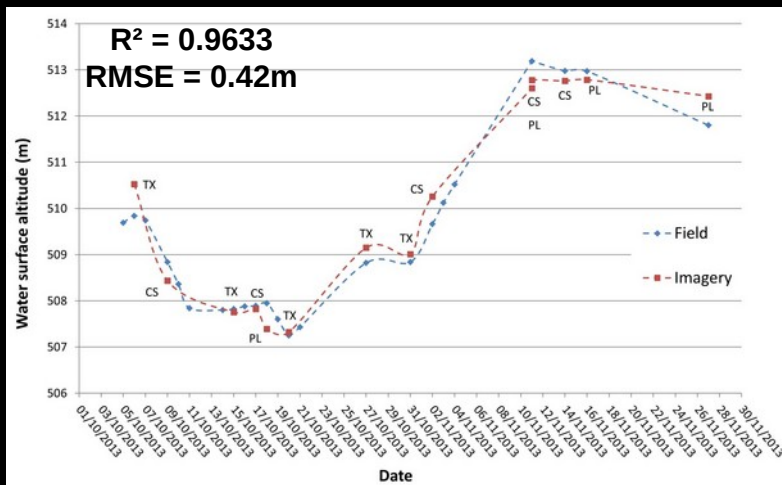
Industrialisation /  
opérationnel



## Suivi des superficies (+ bathy)

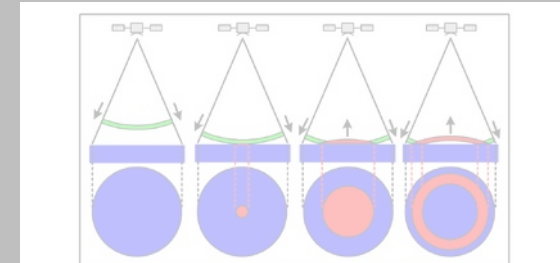


$dxy$  relié à  $dz$  en fonction de morphologie de la cuvette (pente de la berge)



Simon et al. 2013

## Altimétrie radar



$\lambda$  Elévation des surfaces en eau, surfaces mouillées, largeur, pente, débit de fleuve, volume de lacs



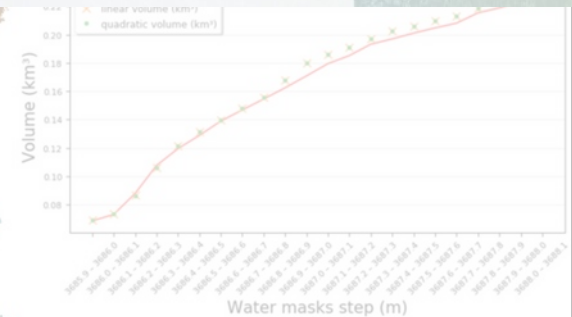
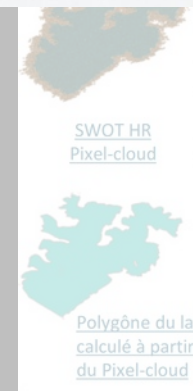
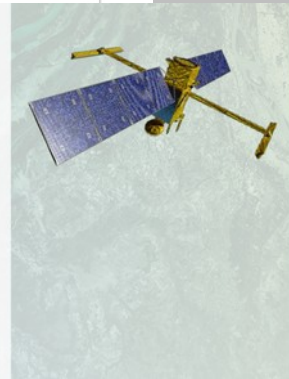
SWOT



Fleuves > 100m  
Lacs > 5ha



3-à-21 jours suivant les cibles



Mesure de la variation de volume du lac selon les 2 algorithmes de calcul (linéaire et quadratique)

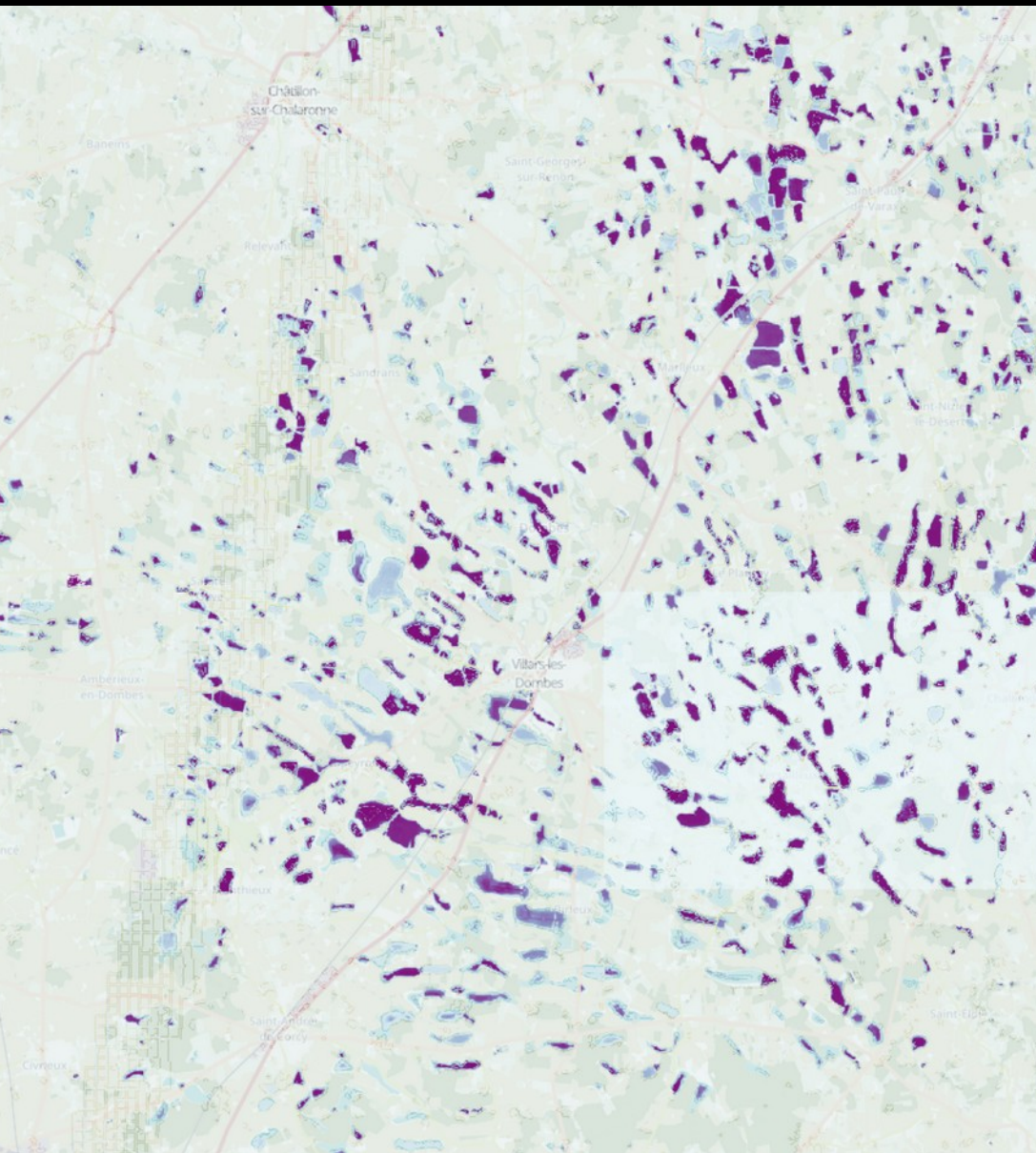
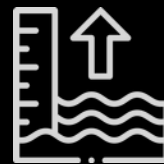
Larnier, K. et al. 2021



# Hydrologie

CES Cartographie et suivi  
des surfaces en eaux

© S. Pena Luque



Couverture d'eau



Masque terre/eau



Sentinel-2\MSI



10 mètres

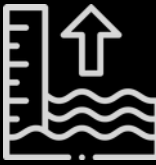


5 jours

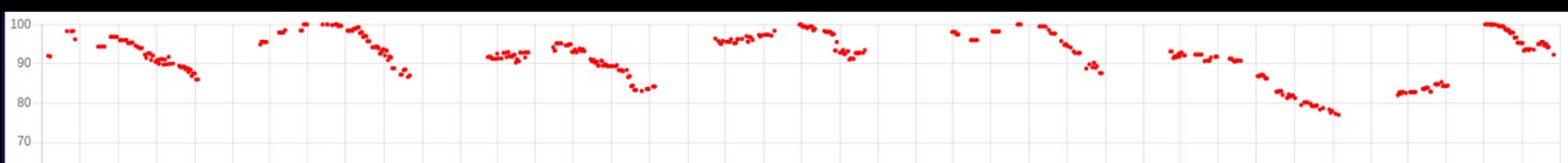
# Hydrologie

CES Cartographie et suivi  
des surfaces en eaux

© S. Pena Luque



la précision est de l'ordre de 15% sur les taux  
de remplissage



# Qualité de l'eau

(couleur de l'eau)

Industrialisation

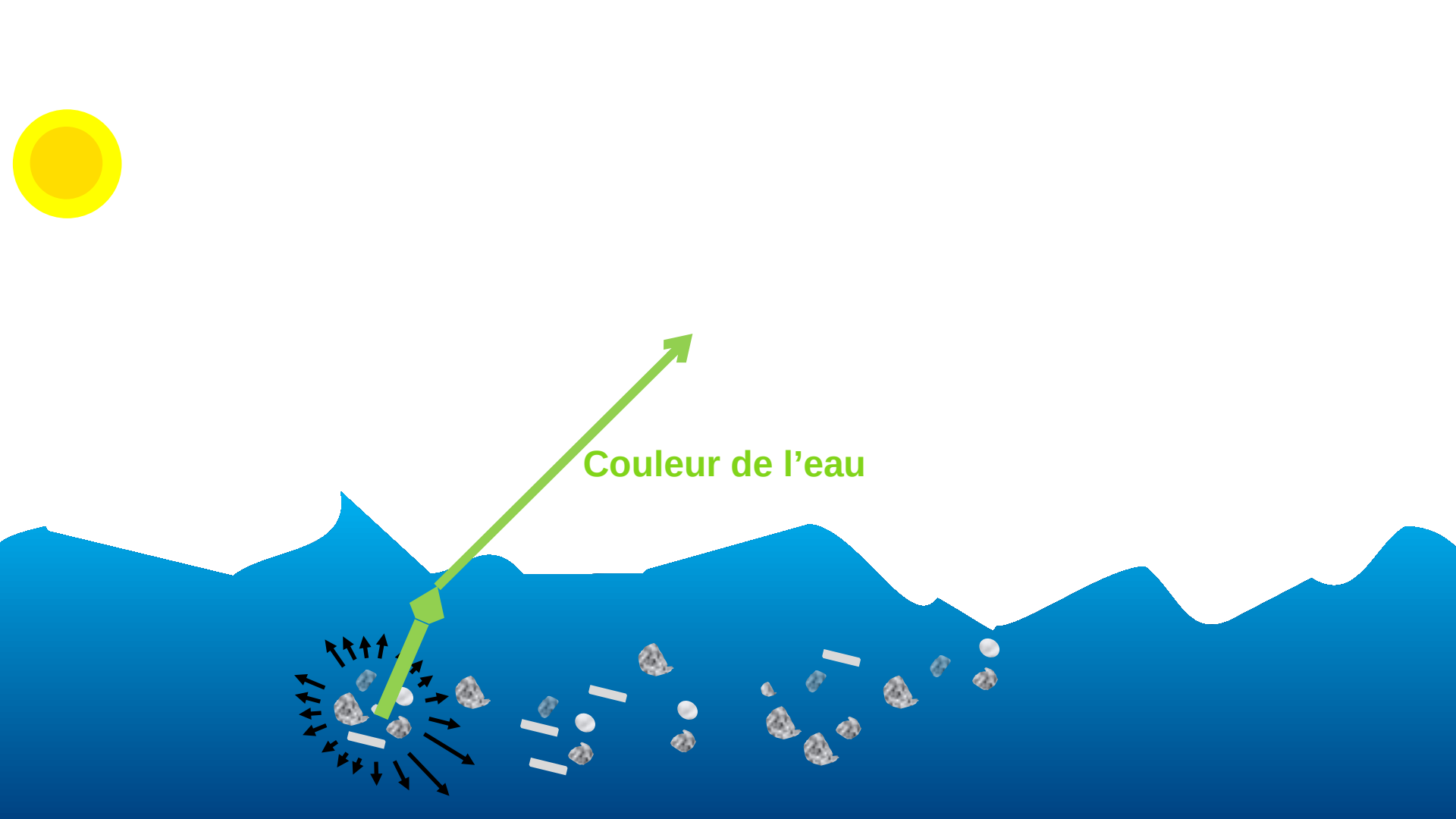


TRANSPARENCE

MES, panache...

Chl-a / PC...

CDOM





# Qualité de l'eau

(couleur de l'eau)

Industrialisation

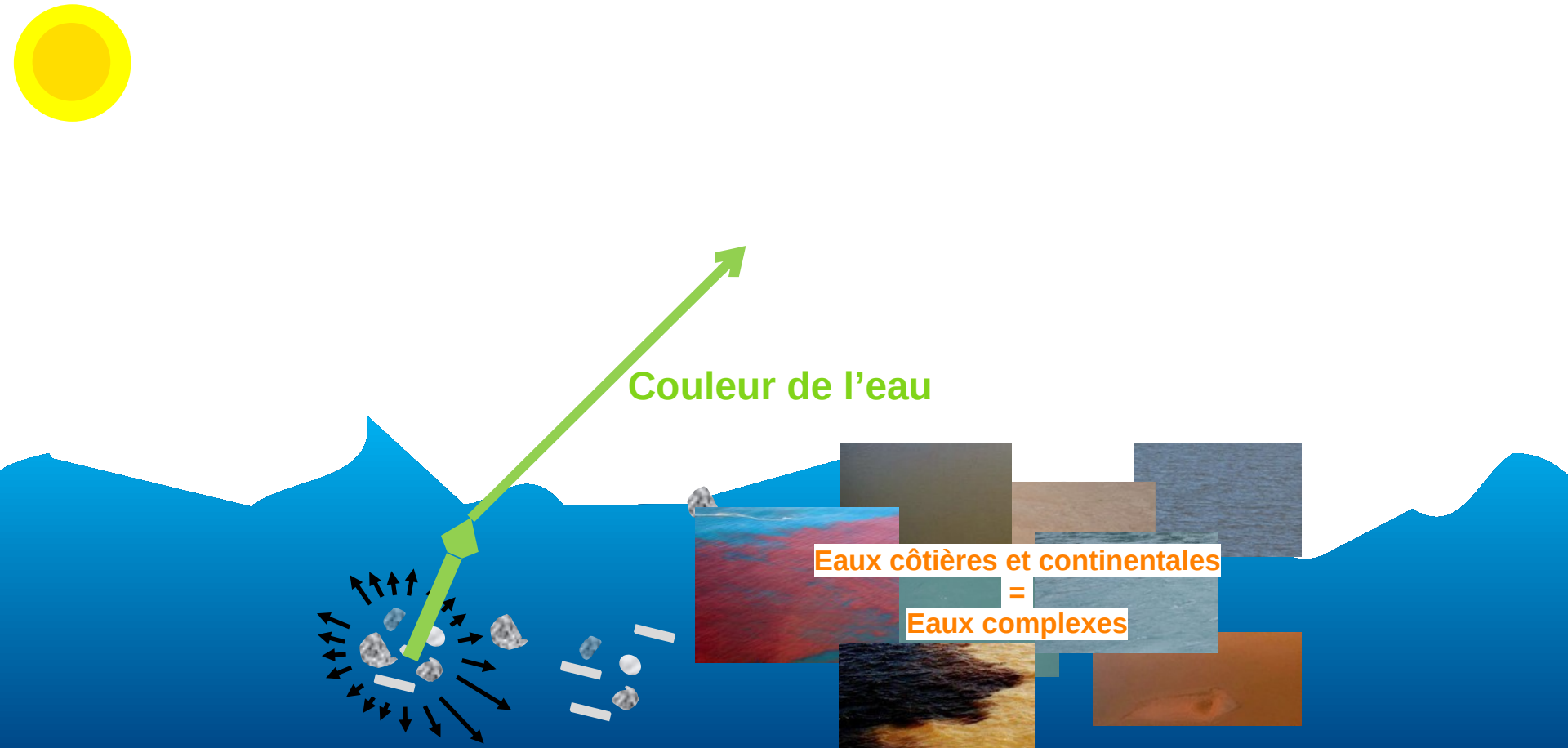


TRANSPARENCE

MES, panache...

Chl-a / PC...

CDOM

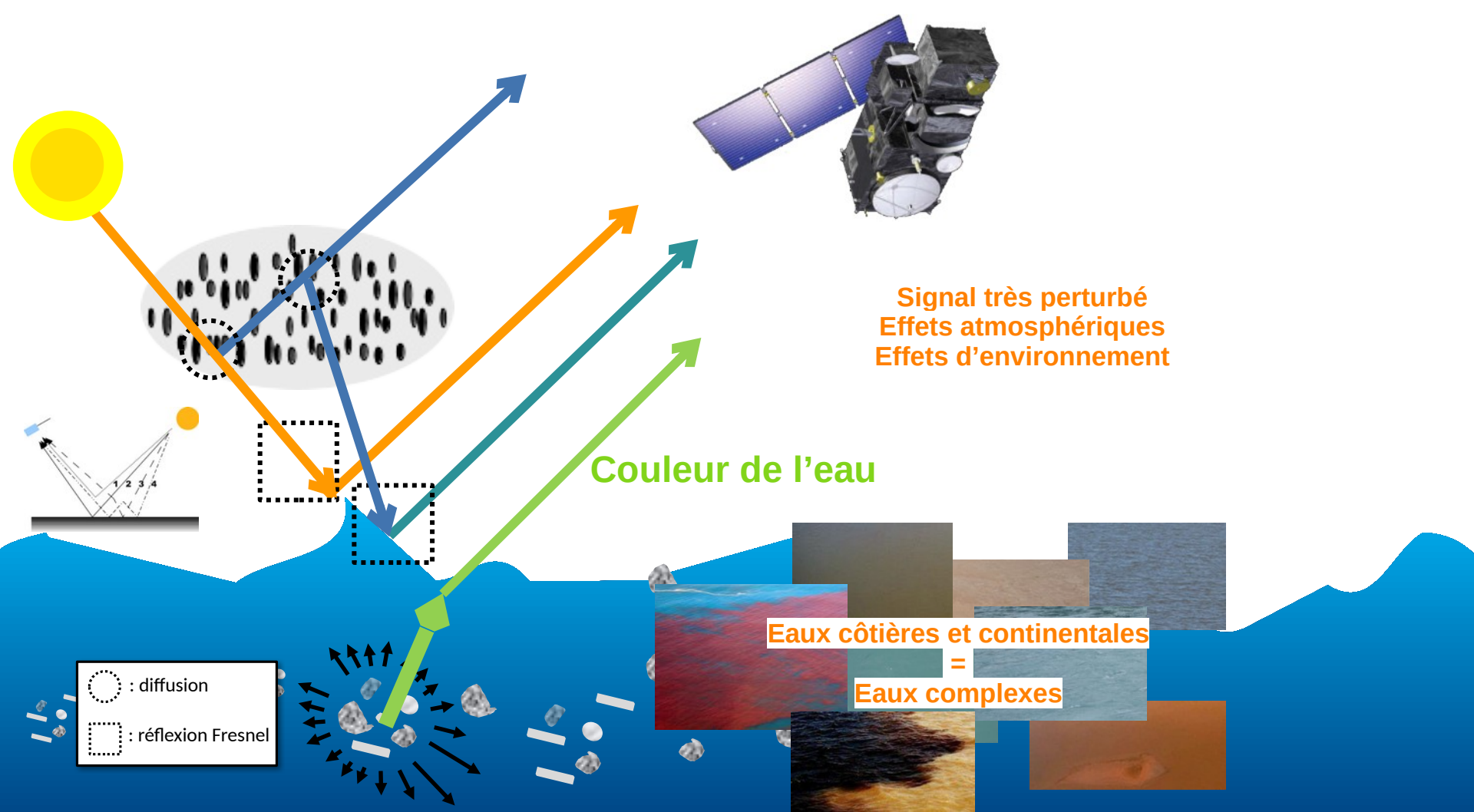


# Qualité de l'eau

Industrialisation



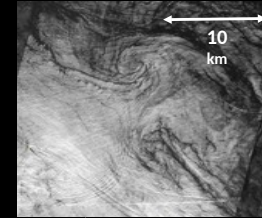
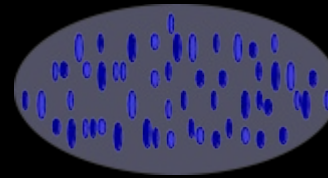
## (couleur de l'eau)



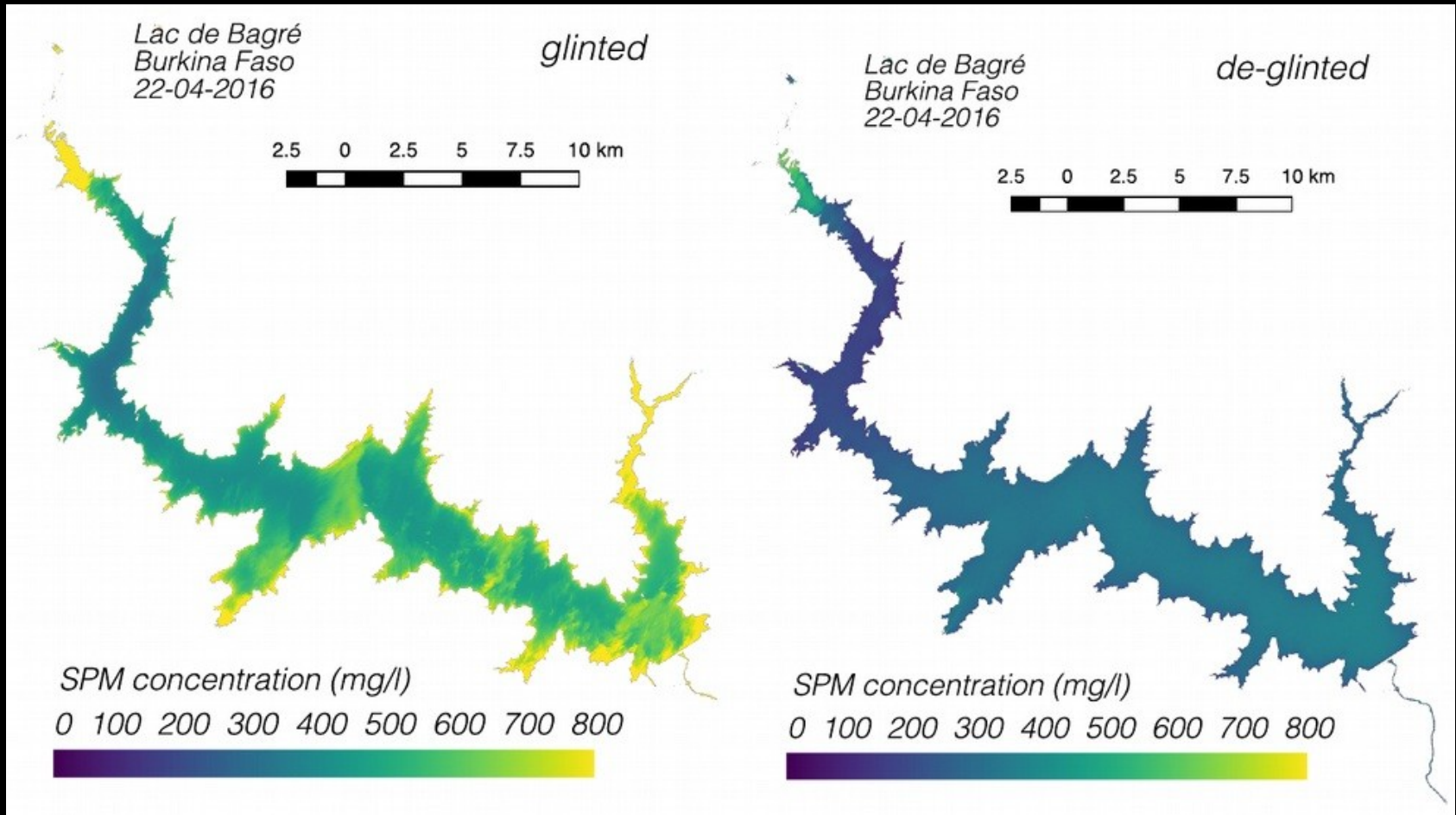
# Qualité de l'eau

Molécules & aérosols  
atmosphériques

Sunglint

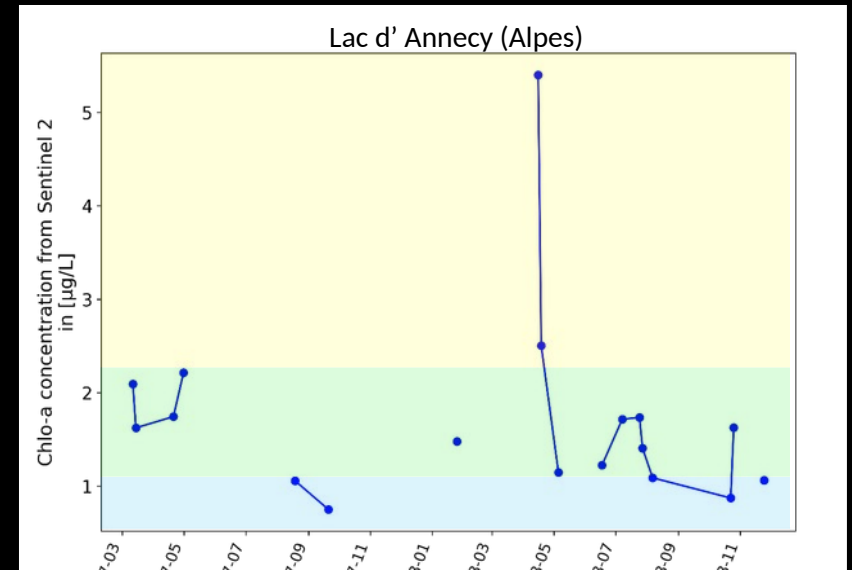
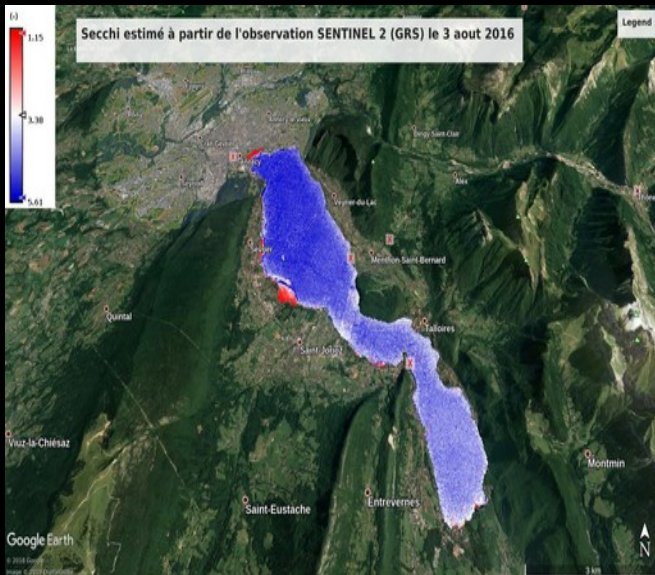
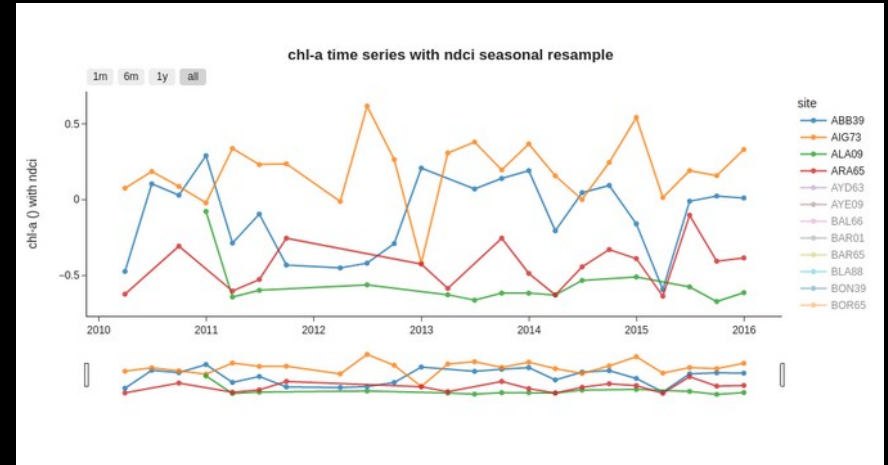
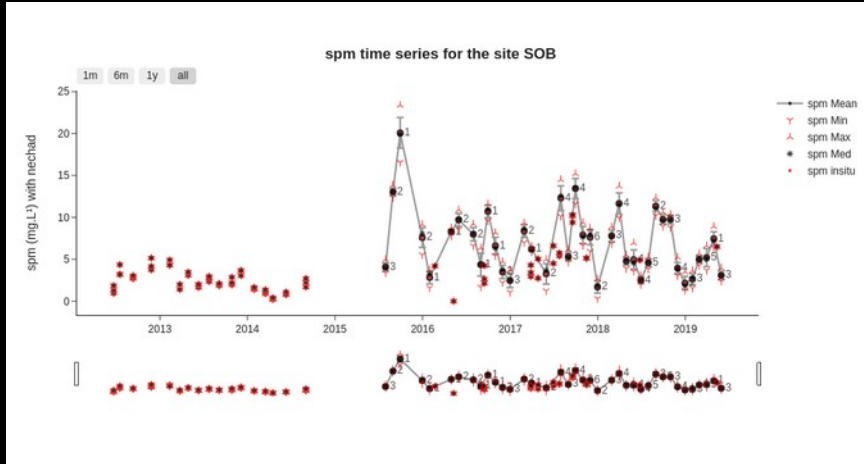


Avancées : exemple de GRS (Harmel et al. 2018)





# Qualité de l'eau

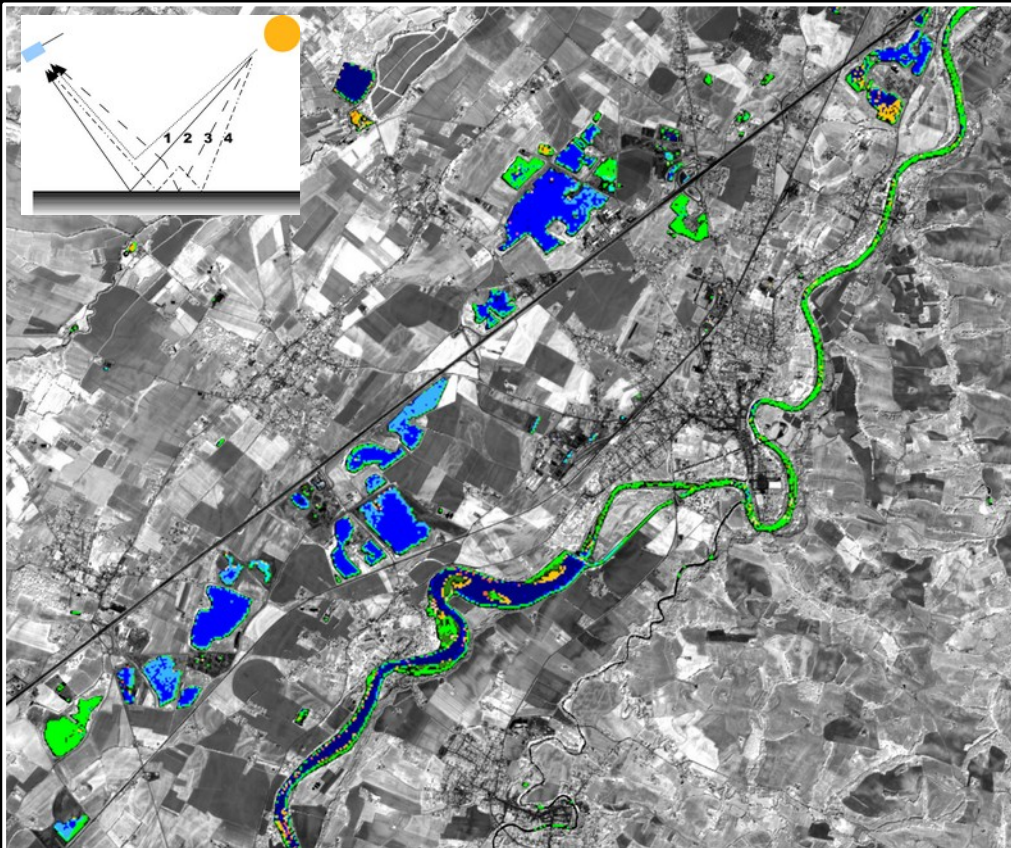


# Qualité de l'eau



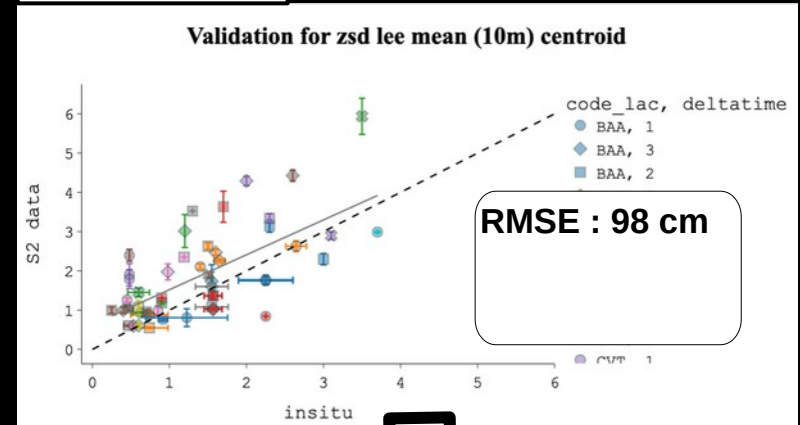
## Encore des verrous...

Effets d'environnement



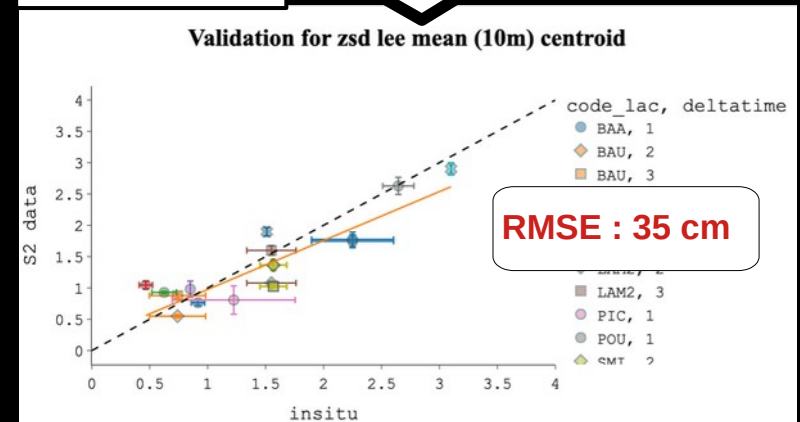
© G. Morin

All match-ups



No clouds  
images

© S. Bouletreau

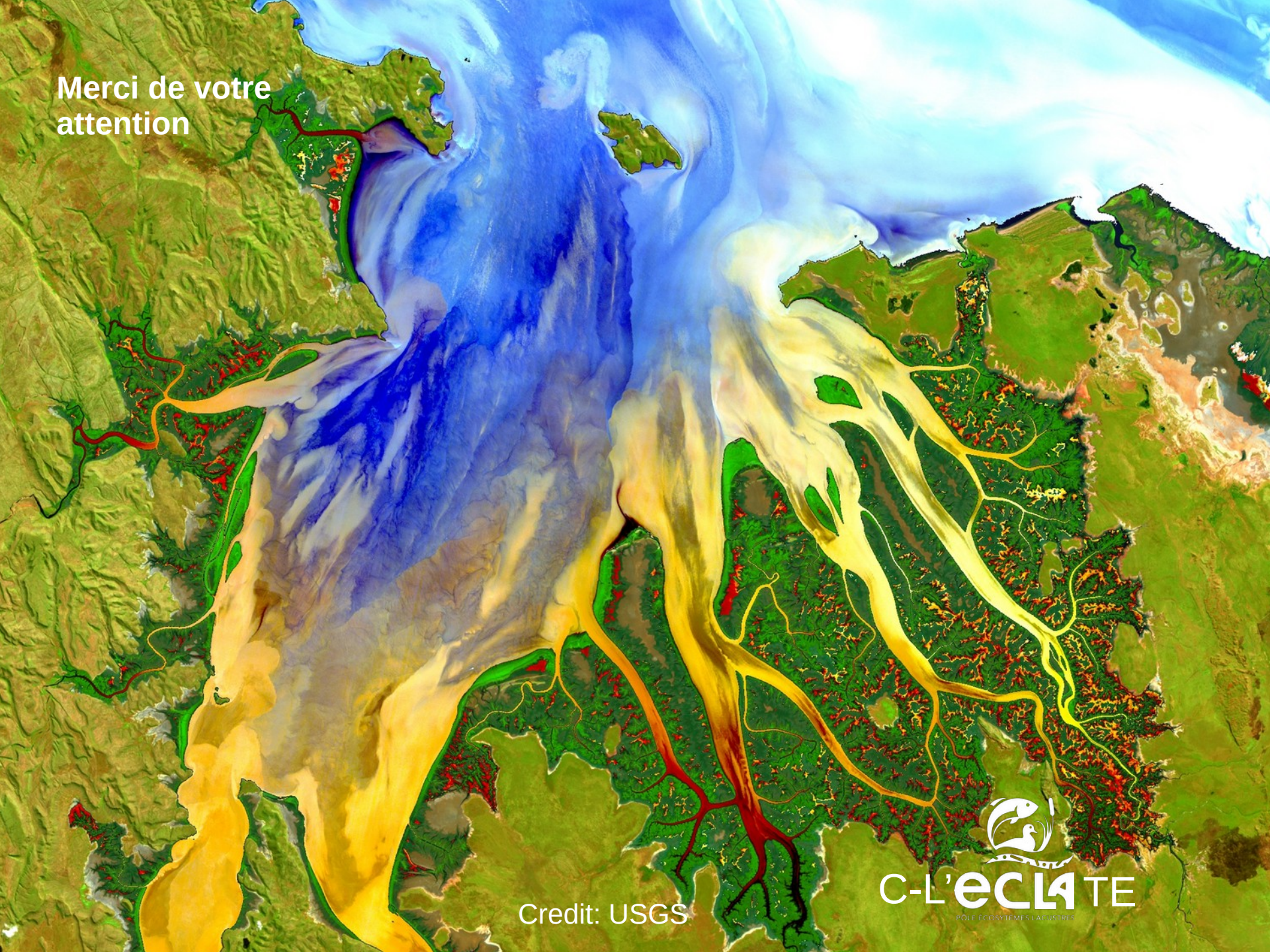








Merci de votre  
attention



Credit: USGS



**C-L'ECLATE**  
POLE ECOSYSTEMES LACUSTRES