

L'eau bleue, vue et suivie depuis les satellites

Herve YESOU

29 mars 2023

SERTIT

SERvice Regional de **Tra**itement d'Image et de **Té**lédétection

More than 35 years of **valorization and technological transfer**
in **Space Techniques and Earth Observation** applications

Technological Platform of ICube, Université de Strasbourg (2015)

Applications

- Land management and urban planning
- Natural resources and Environment monitoring
- Disaster / Risk management and security

Services

- Specific R&D studies
- Expertise, Assistance
- Geo-information production
- Operational Service 24/7: Rapid Mapping



France: Grand Est Region



<http://sertit.unistra.fr/>

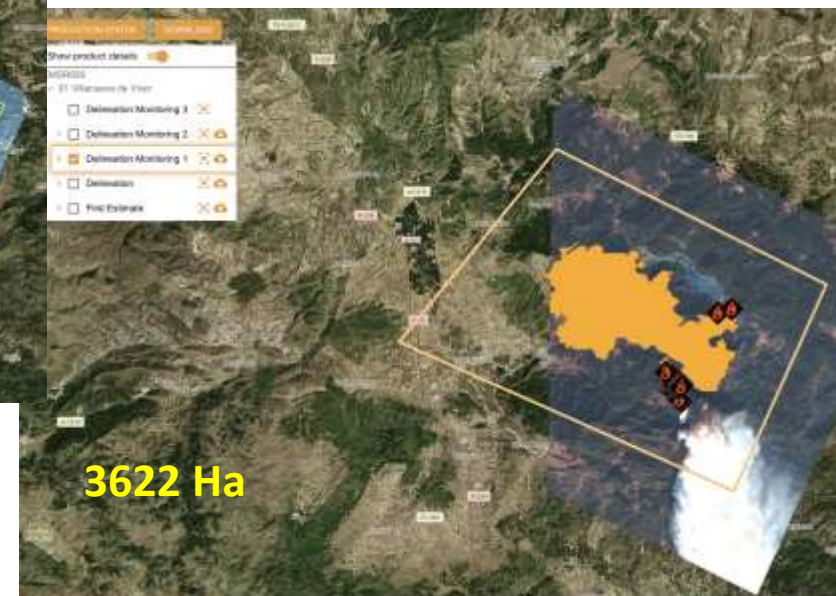
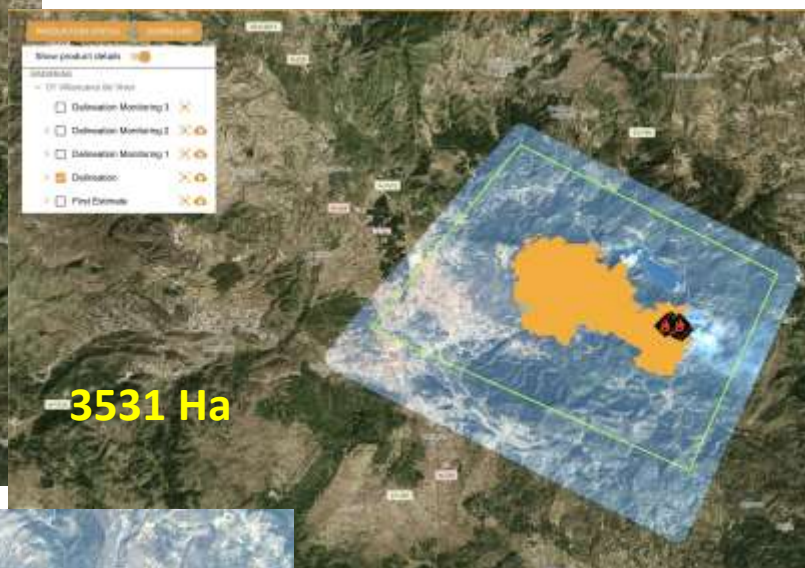


Cartographie rapide : suivi des feux

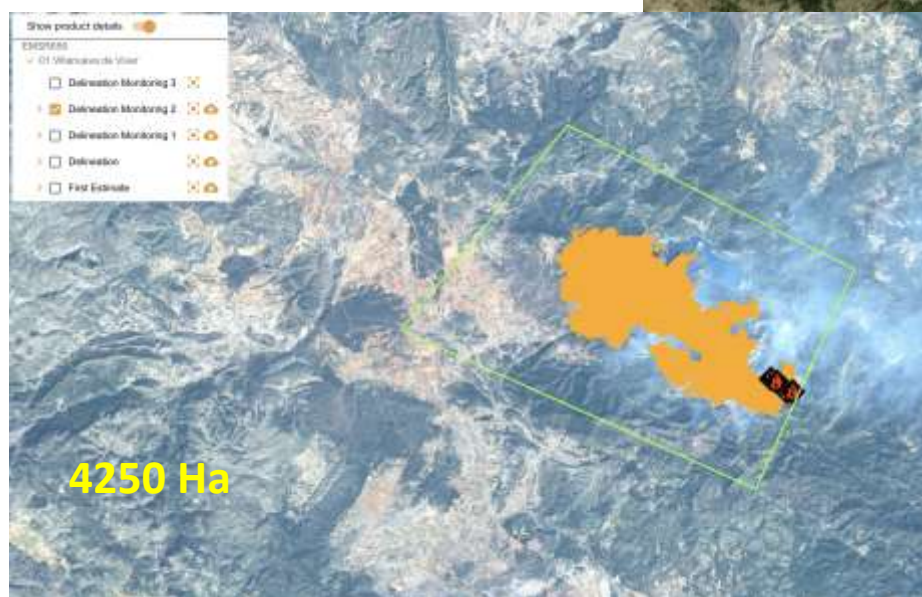
<https://rapidmapping.emergency.copernicus.eu/EMSR656>



3531 Ha



3622 Ha

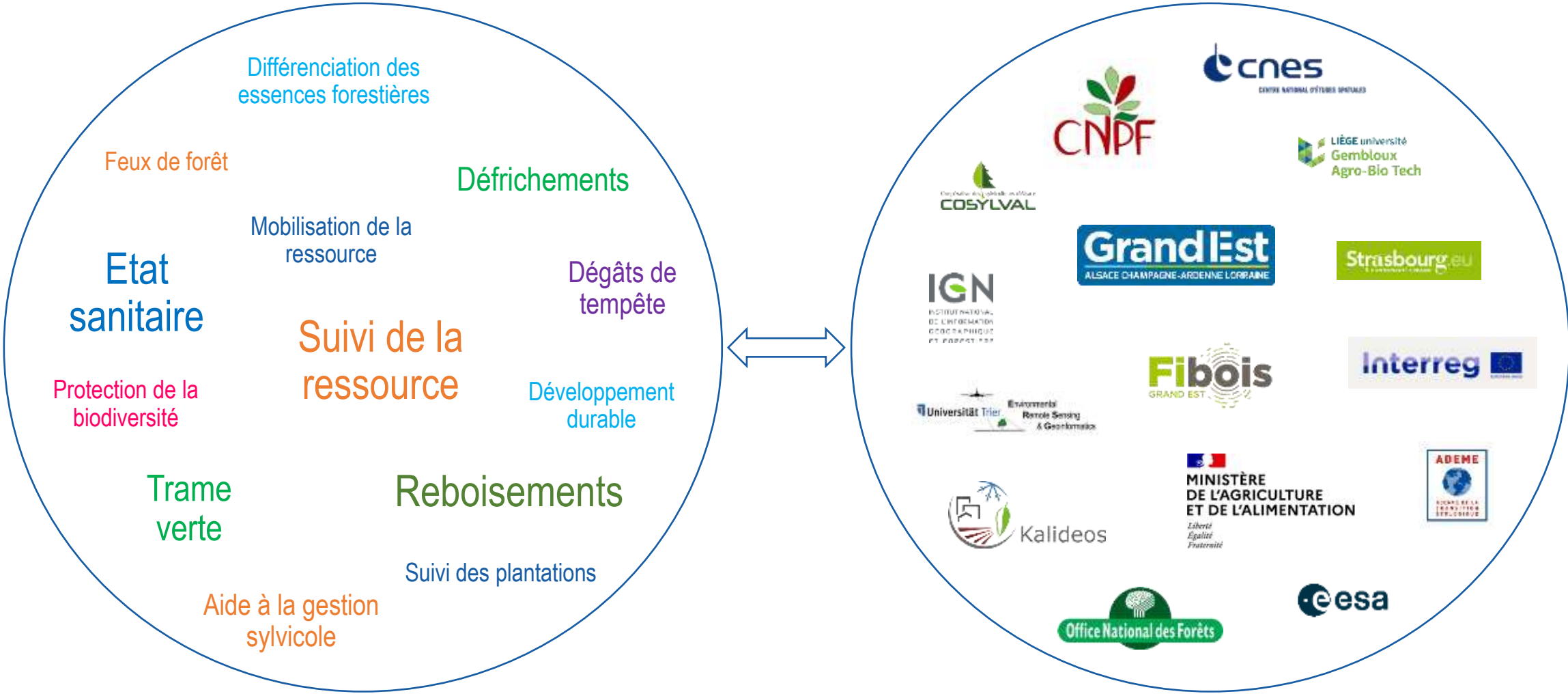


4250 Ha

En Espagne, un premier grand incendie de l'année précoce, sur fond de sécheresse prolongée

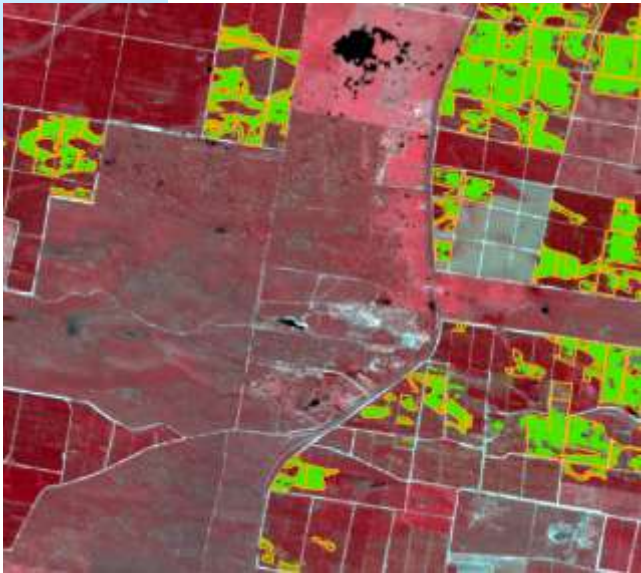
Le Monde

Forêt & Végétation : une thématique importante au SERTIT



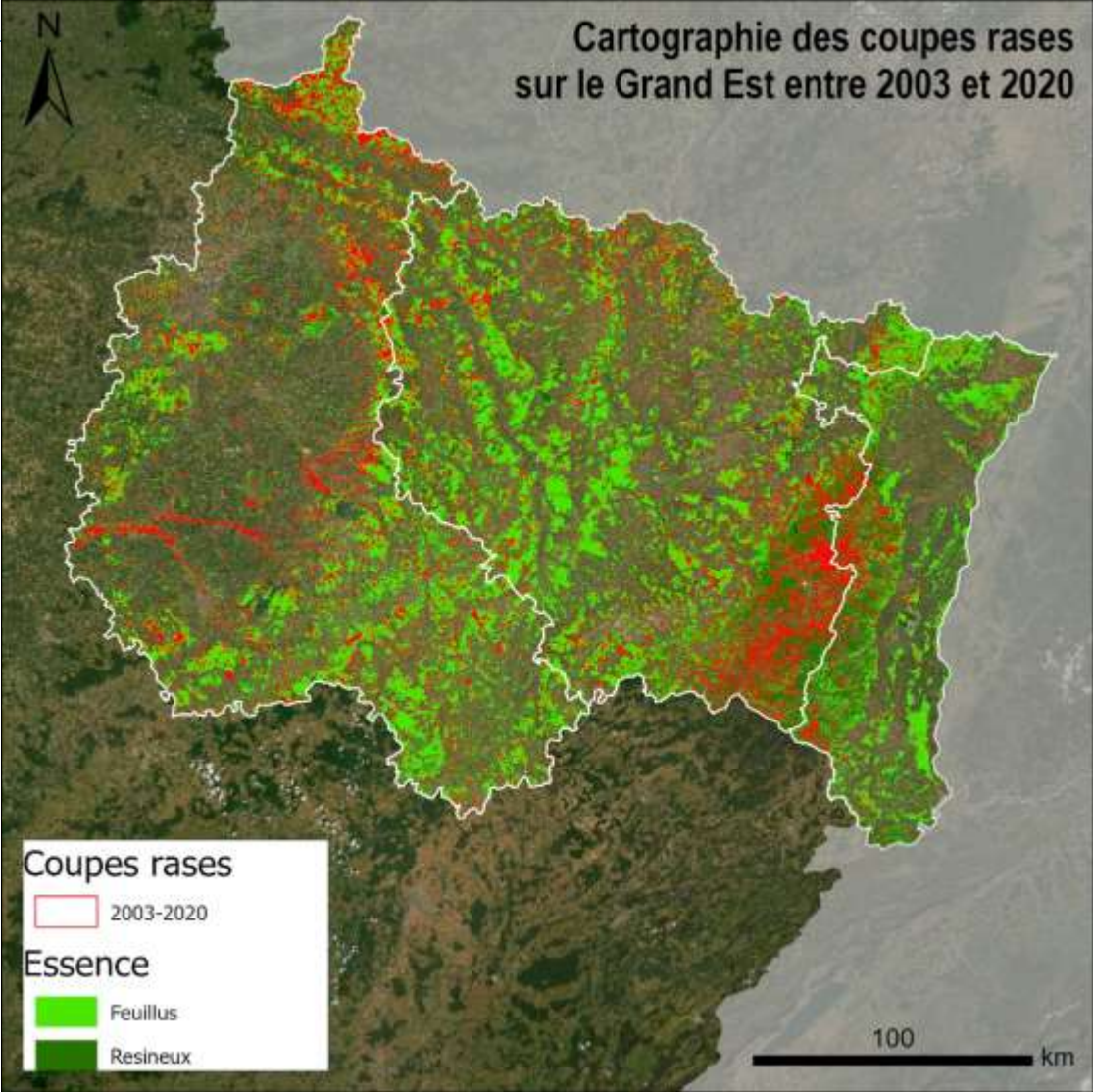
Henri GIRAUD

Forêt & Végétation : une thématique importante au SERTIT

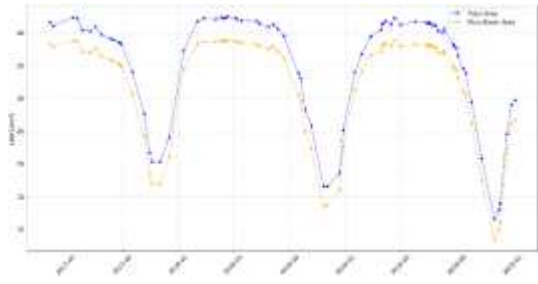


Dégâts de tempête survenus en juin & octobre 2021

Henri GIRAUD



Water surfaces studies based on EO data



- Methodology aspects
- Validation purposes
- Lakes/reservoirs water surfaces monitoring
- Height/volume monitoring
- Rivers slopes
- Water temperature

• CNES projects

- SWOT
- Surfwater/ SCO Stockwater
- Trishna
- Tosca / LMI Viebeleaux

• Esa projects

- St3TART
- CCI Lakes I + II
- Dragon I to V



Hydrologie

SWOT

- Membre Science Definition Team SWOT (2013-2016) puis de la SWOT Science Team (2016- 2020)
- Membre de l'Algorithm Definition Team SWOT, ADT SWOT, (Mars 2017-)
- Soutient mission: Mise en place BD à priori pour traitements des data
- Campagne validation (Rhin Tier Site 1+ soutient sites Brésil, Tchad)

Sentinel 3/Sentinel 6 : mise en place FRM pour validation des data (calibration après chaque cycle)

Phase 0/ A : réflexion sur Sentinel NG

Groupe mission WiSA (Wide Swath Altimetry), 2018-2019

Groupe mission SMASH (Small Satellite for Hydrology) 2018-2021

3D + TIR

3D +THR – Phase 0 du CNES

- Groupe mission Memphis: définition besoins et treshold
- Groupe Mission CO3D: cahier des charges acquisitions, définitions produits, mise en place atelier 3D PACA sur thèmes feux et tremblements de terre
- ARGC: CNES-Thales, constellation départ de feux et cartographie zones brûlées (2019)
- Groupe mission Sentinel HR: définition besoins cartographie rapide et surfaces en eau (2021-2022)
- GEO HR Thales (09-2021)

Trishna: 2020-

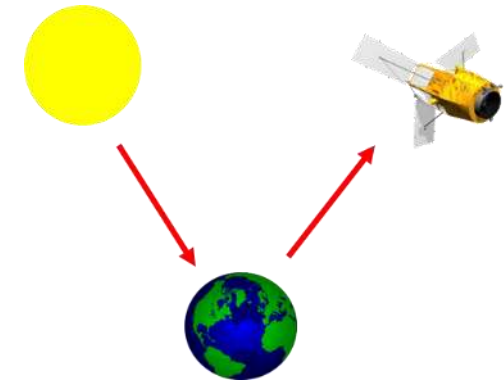
- Groupe mission « urbain »
 - Groupe mission « surfaces en eaux »
- => Réflexion Algo / produits/ validation/mise en place de démonstrateur sur territoire national

Téledétection dans le domaine optique

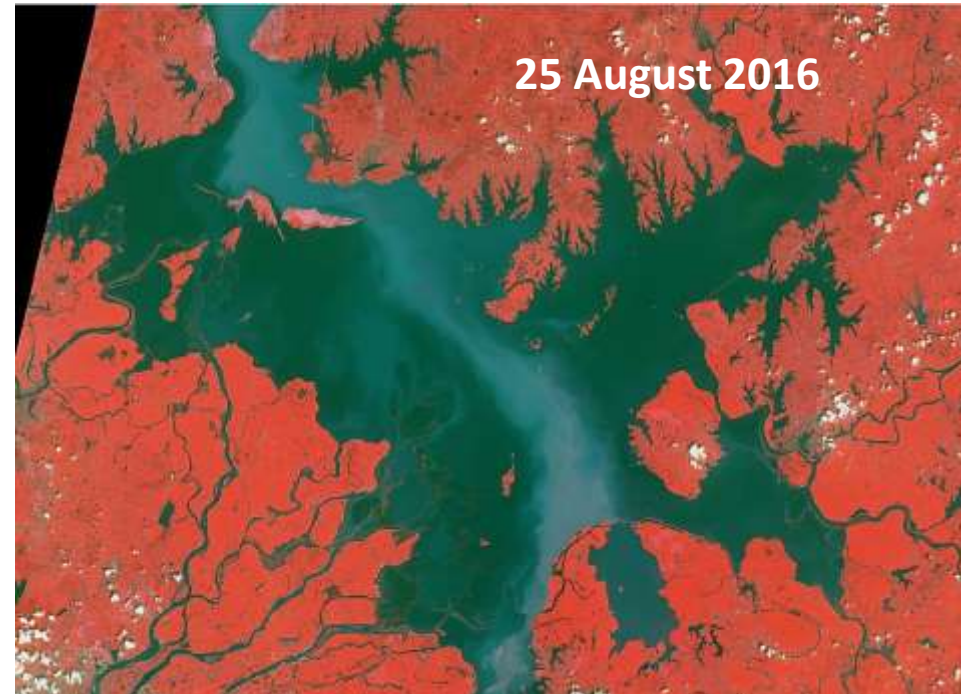


Clear sky, Sunny weather

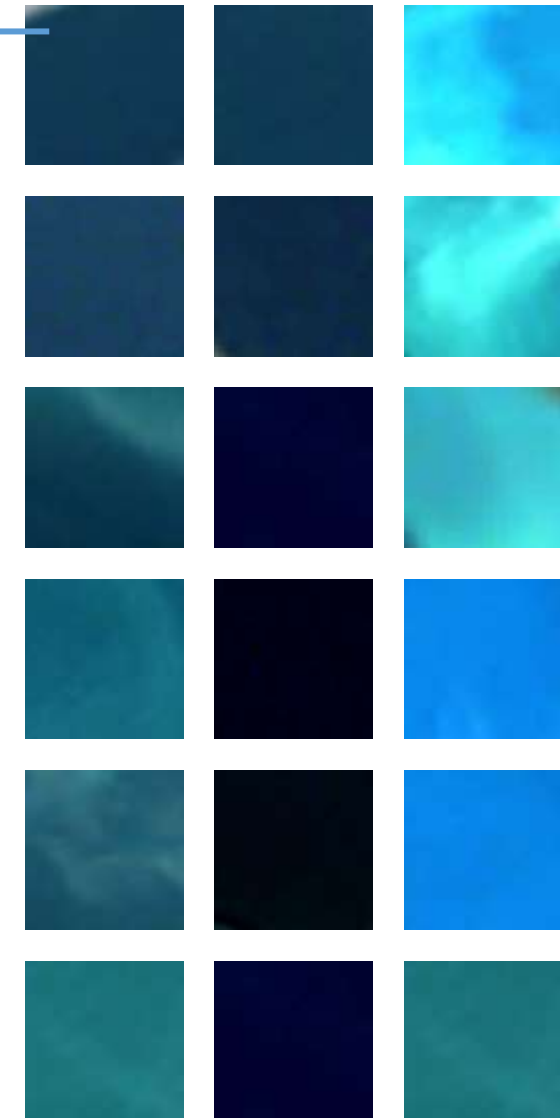
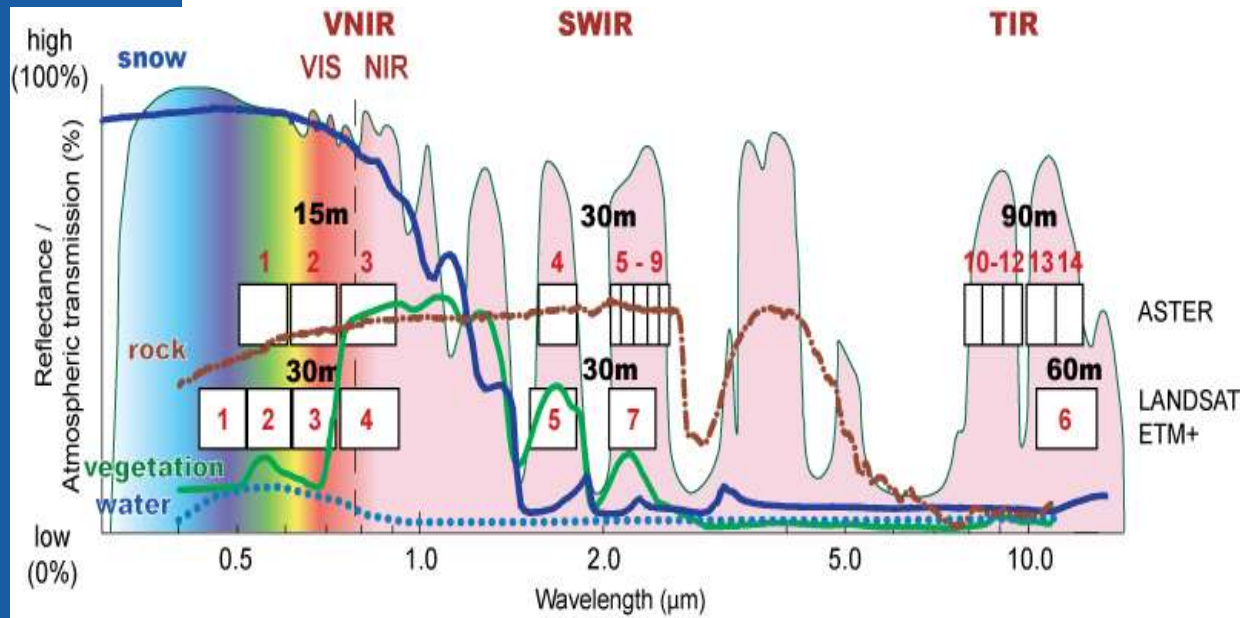
- ⇒ Sentinel 2
- ⇒ SPOT 6-7
- ⇒ Landsat 8-9
- ⇒ Pléiades HR
- ⇒ Pleiades NEO



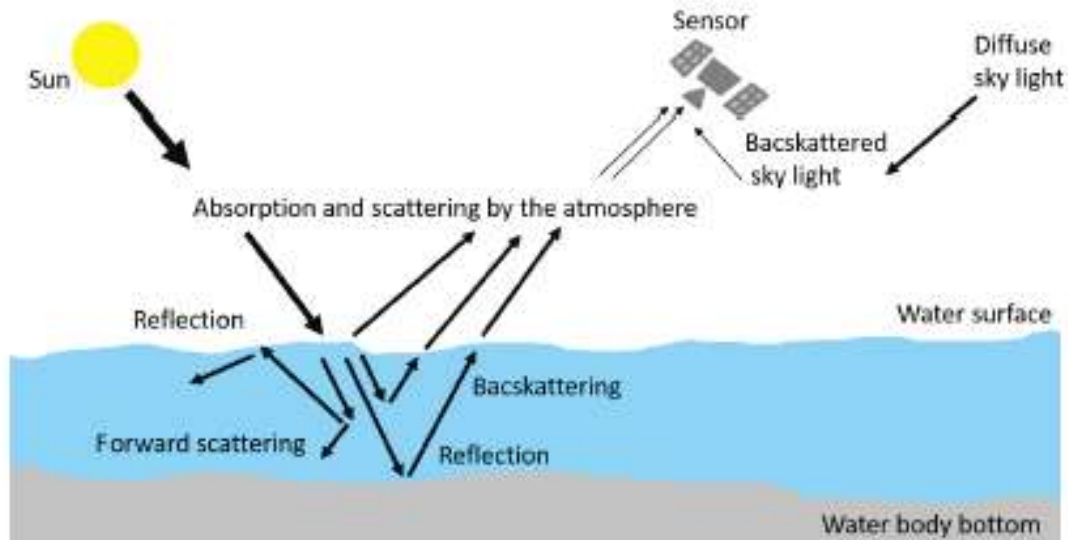
Passive Remote Sensing
Optical sensors



Water bodies mapping based on Optical data



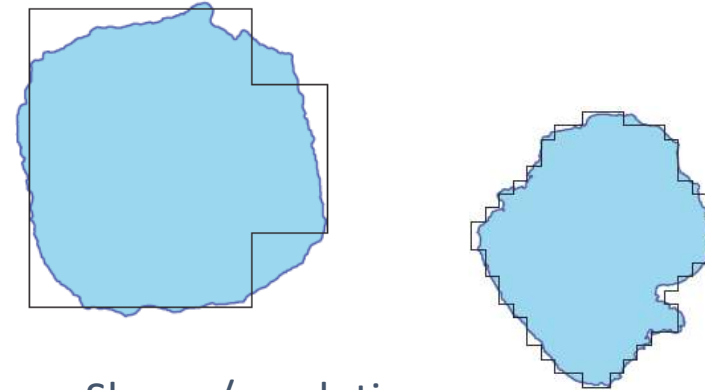
Variations in space of water bodies spectral signatures



Errors and sources of errors in water surfaces mapping



Definition of limits of flooded areas



Shape /resolution

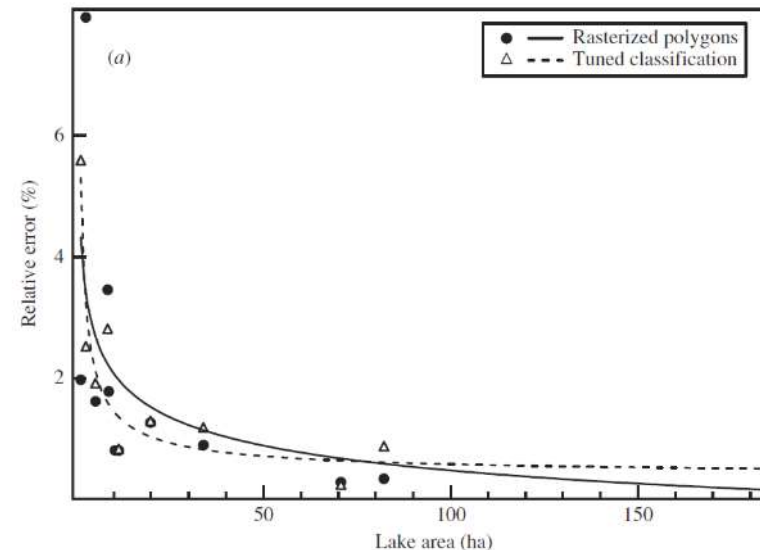


Floating vegetation



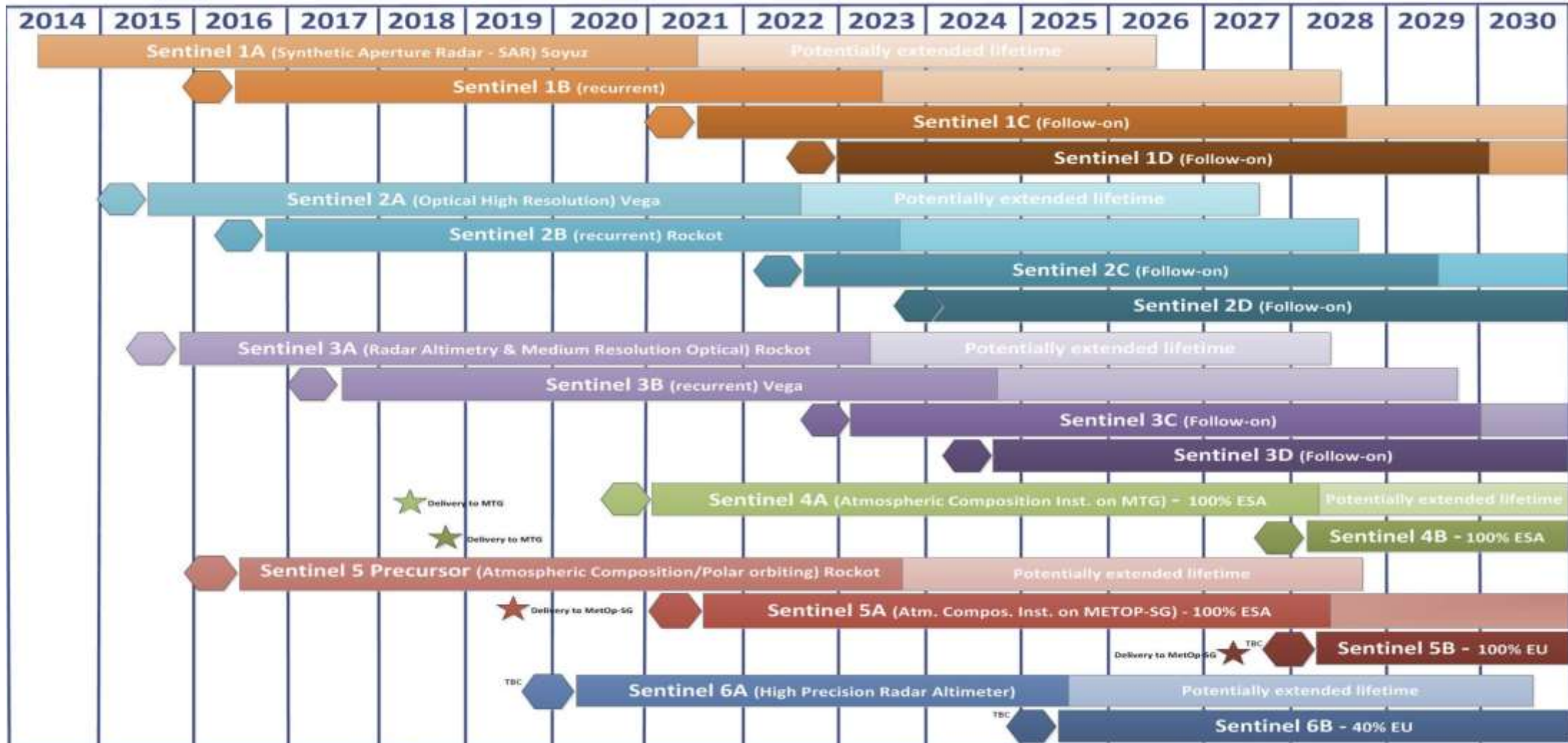
Nymphaeaceae
© Erv Evans

Presence of vegetation/alga bloom
Presence of Ice

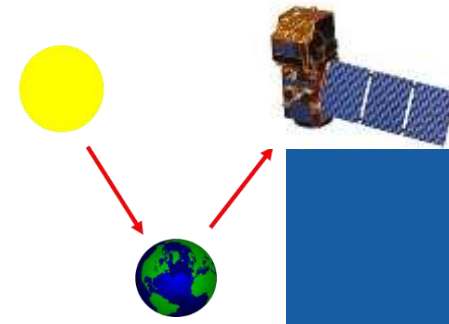


Errors distribution in function of water bodies size

L Europe spatiale : les missions Copernicus



Données Sentinel 2



Le mieux des SPOT et de Landsat

- résolution : pixel de 10 m*10 m

Bande 2 : leu

Bande 3 : Vert

Bande: Rouge

Bande 8: Proche infra rouge

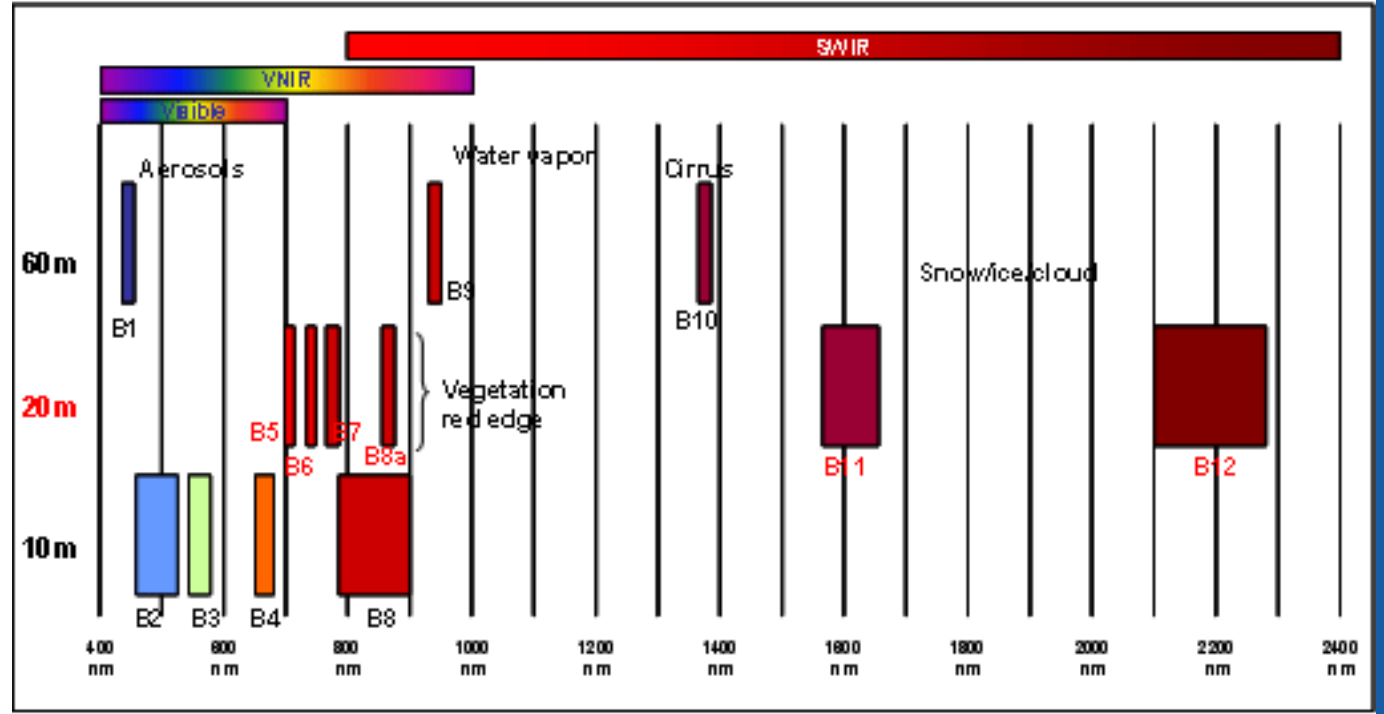
- résolution pixel à 20m*20m

Bande 5, 6, 7 : Red Edge

Bande 8: Proche Infra rouge

Bande 11 & 12 : moyen infra rouge

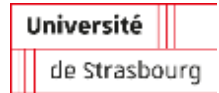
Bande 12 : moyen infra rouge



Revisite tous les 5 jours

Lancement : Sentinel 2A : 23 Juin 2015 / Sentinel 2B : 7 Mars 2017

Sentinel2 C: Lancement 2024



Zone en Afrique sahélienne : lac Fitri

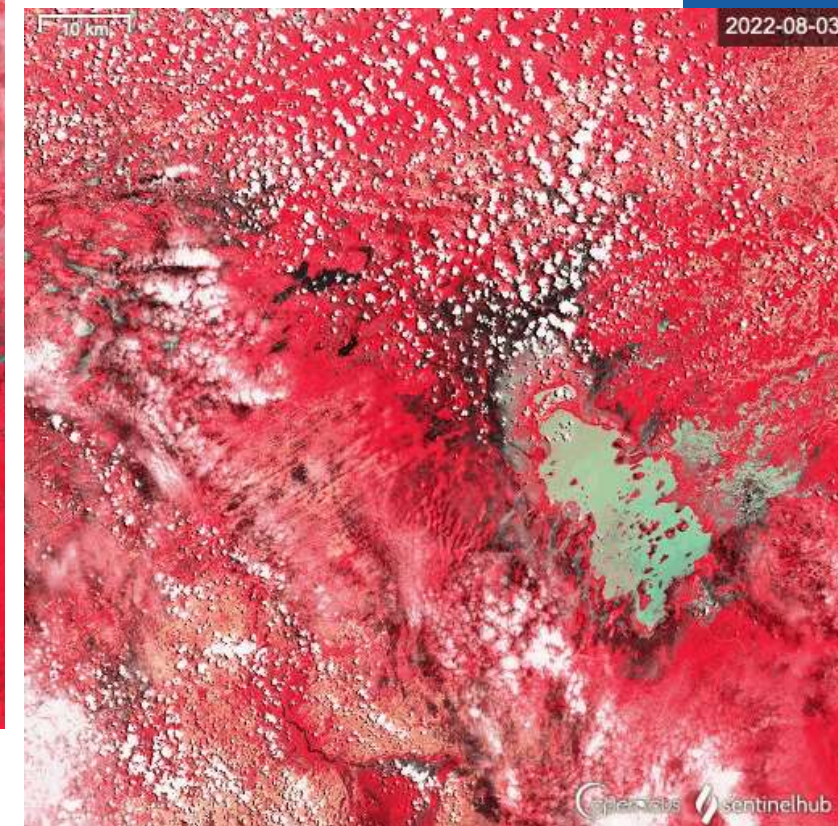
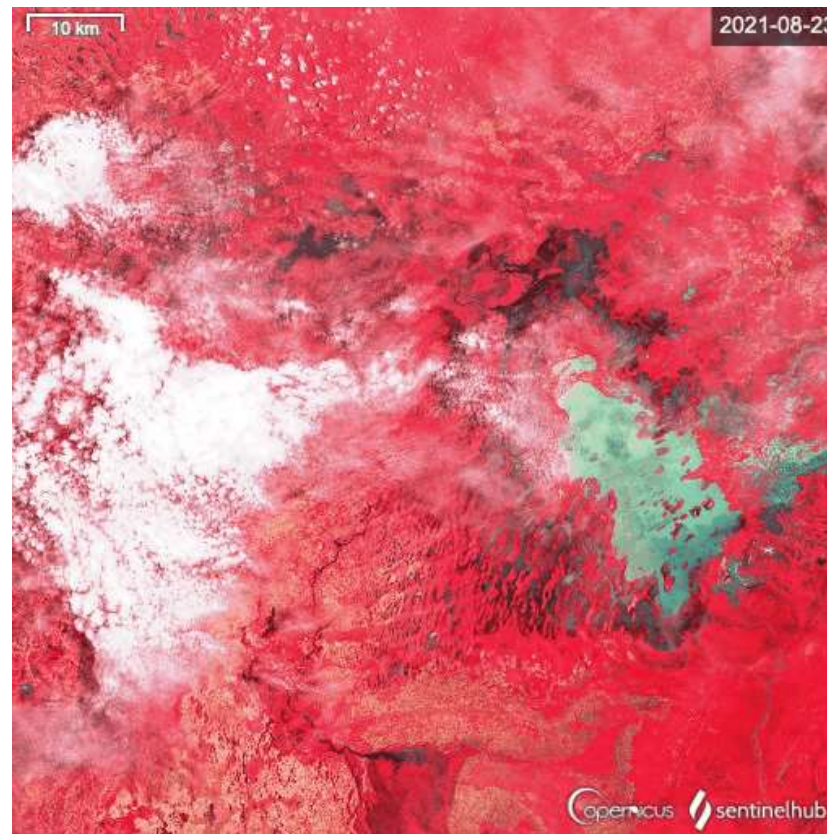
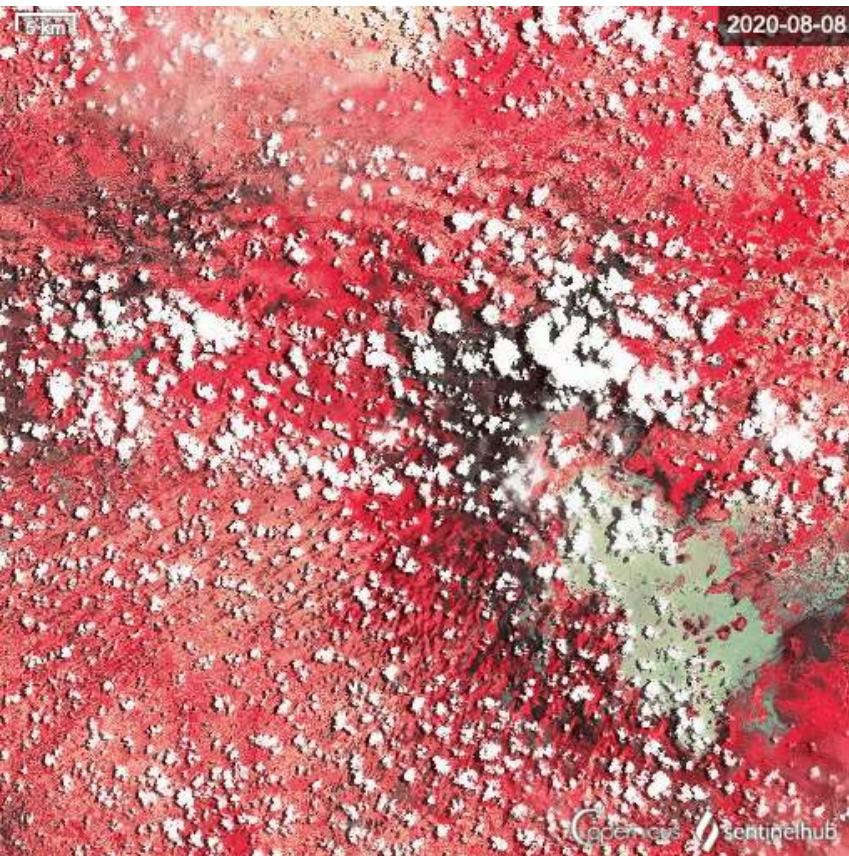
Zone d'intérêt $\sim 9600 \text{ km}^2 = 80 * 120 \text{ km}^2$ en rouge



Exploitation de la tuile S2 T33PYQ
Tuile centrée sur le lac

320 Sentinel-2 images à partir 01/01/2017
jusqu'en Octobre 2022

Suivi des surfaces en eau du Lac Fitri à partir des données Sentinel2



Saison des pluies 2020:
inondations importantes

Saison des pluies 2021:
inondations de faible extension

Saison des pluies 2022:
Inondations de grande extension



Extraction surfaces en eau via outil SERTIT ExtractEO

➤ Multi-thématiques

- Feu
- Eau
- Glissements de terrain

➤ Multi-satellites

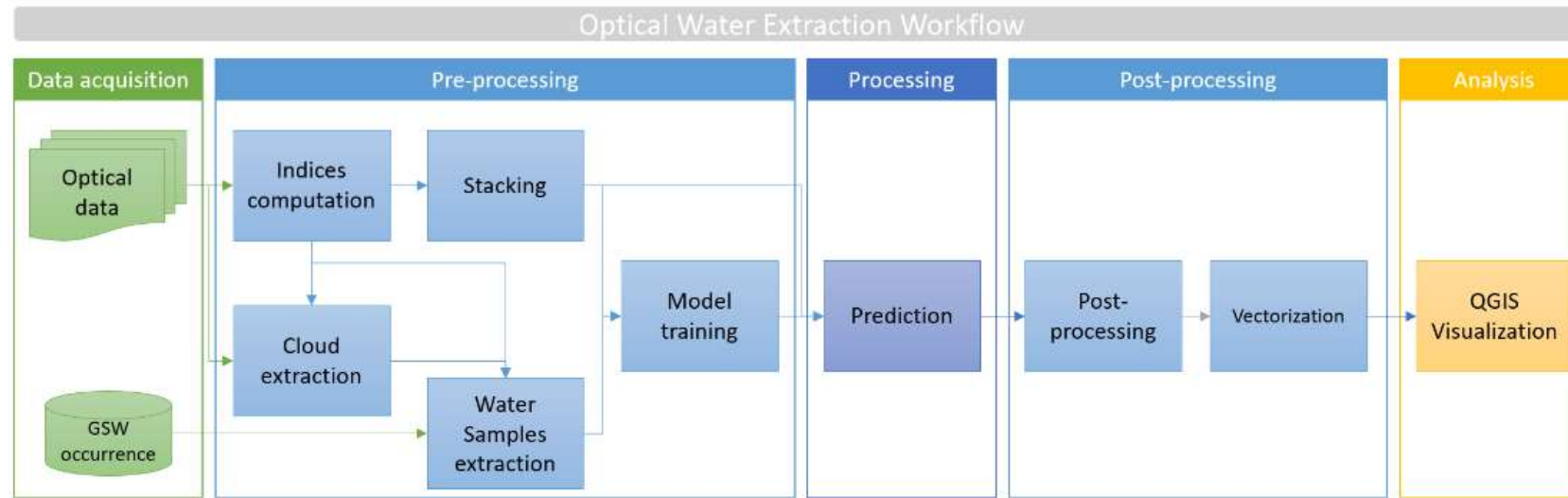
➤ Optique

- Sentinel-2 (+Theia)
- Sentinel-3 (SLSTR+OLCI)
- Landsat 1 à 8

➤ SAR

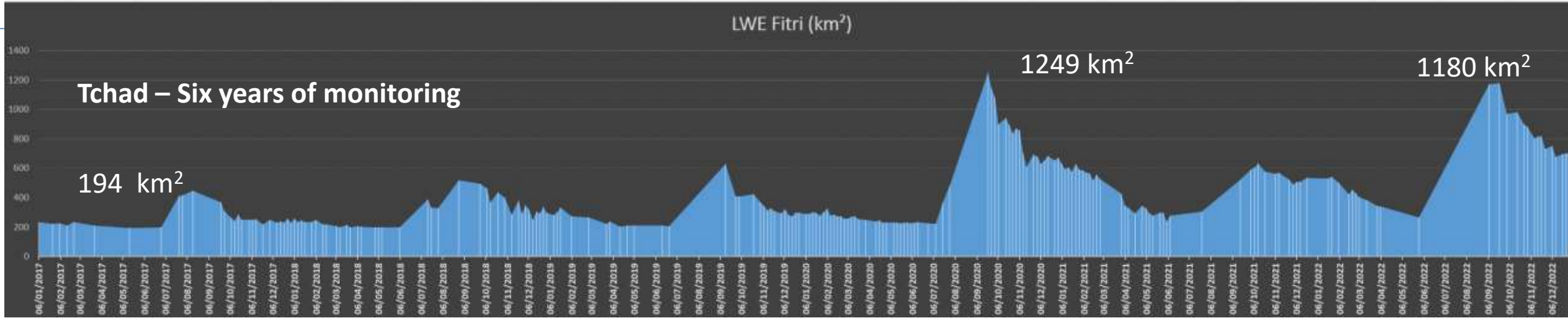
- Sentinel-1
- RADARSAT-2
- TerraSAR-X
- COSMO-SkyMed

extracteo 



Maxant, J.; Braun, R.; Caspard, M.; Clandillon, S.2022: ExtractEO, a Pipeline for Disaster Extent Mapping in the Context of Emergency Management. *Remote Sens.* 2022, 14, 5253. <https://doi.org/10.3390/rs14205253>

TOSCA FITRI – Tchad – Five years of monitoring



- +340 Sentinel-2 images traitées

- Dynamique et étendues des surfaces en eau similaires en 2017, 2018, 2019

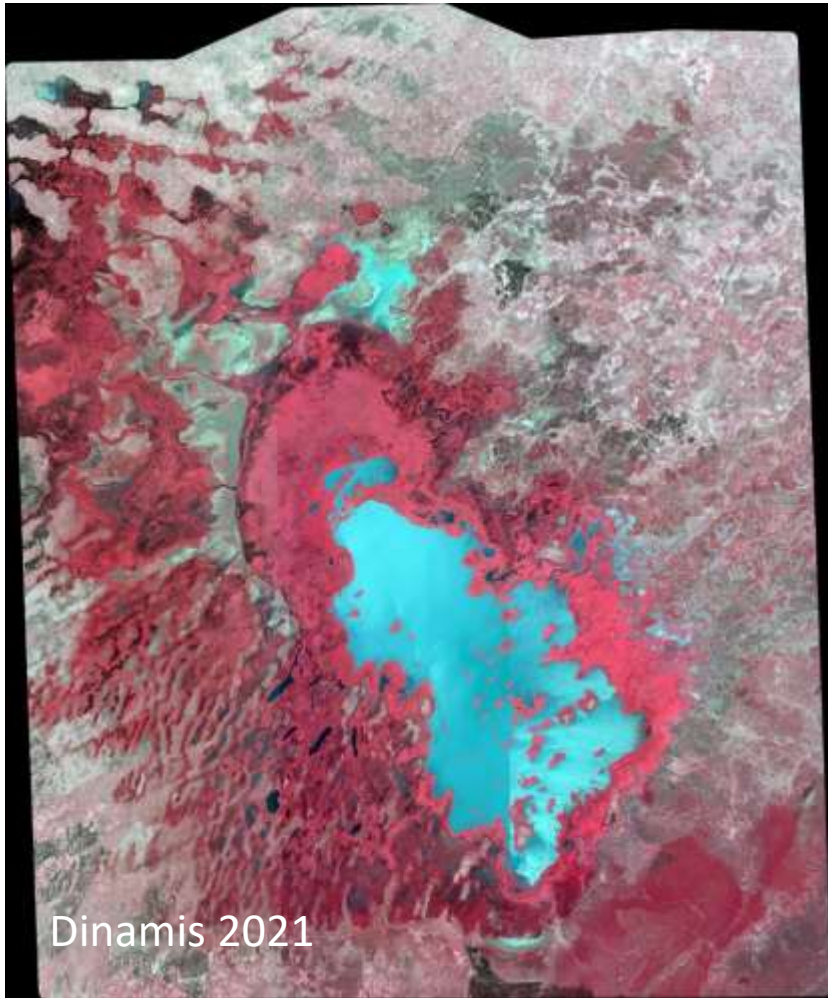
- Inondations très importantes en 2020 et 2021 (avec deux superficies inondées deux fois supérieures aux années précédentes [2017-2019])

- Très long ressuyage après les inondations de 2020

- Maximum lake area (22/09/2020): 1249 km²
- Minimum lake area (16/05/2017): 194 km²



Validation des surfaces en eau



Comparaison Surfaces en eau Sentinel 2 et image Pléiades THR (50cm) acquisitions du 2021-11-11



Validation des surfaces en eau



Temple : Pleiades NEO / Sentinel2





Temple : Pleiades NEO / Sentinel2



Validation des surfaces en eau

Metric	FREQUENCY	Area m ²	Percentage
reference	72	21693449,96	100,00
database	23	21800055,36	100,49
omission	72	570486,23	2,63
commission	23	677091,66	3,11
taux_detection	17	21122963,70	97,37
taux_justesse	1	999999,00	96,89
BREAK	1	1,00	1,00
precision	1	1,00	0,97
recall	1	1,00	0,97
Fscore	1	1,00	0,97
CSI	1	1,00	0,94

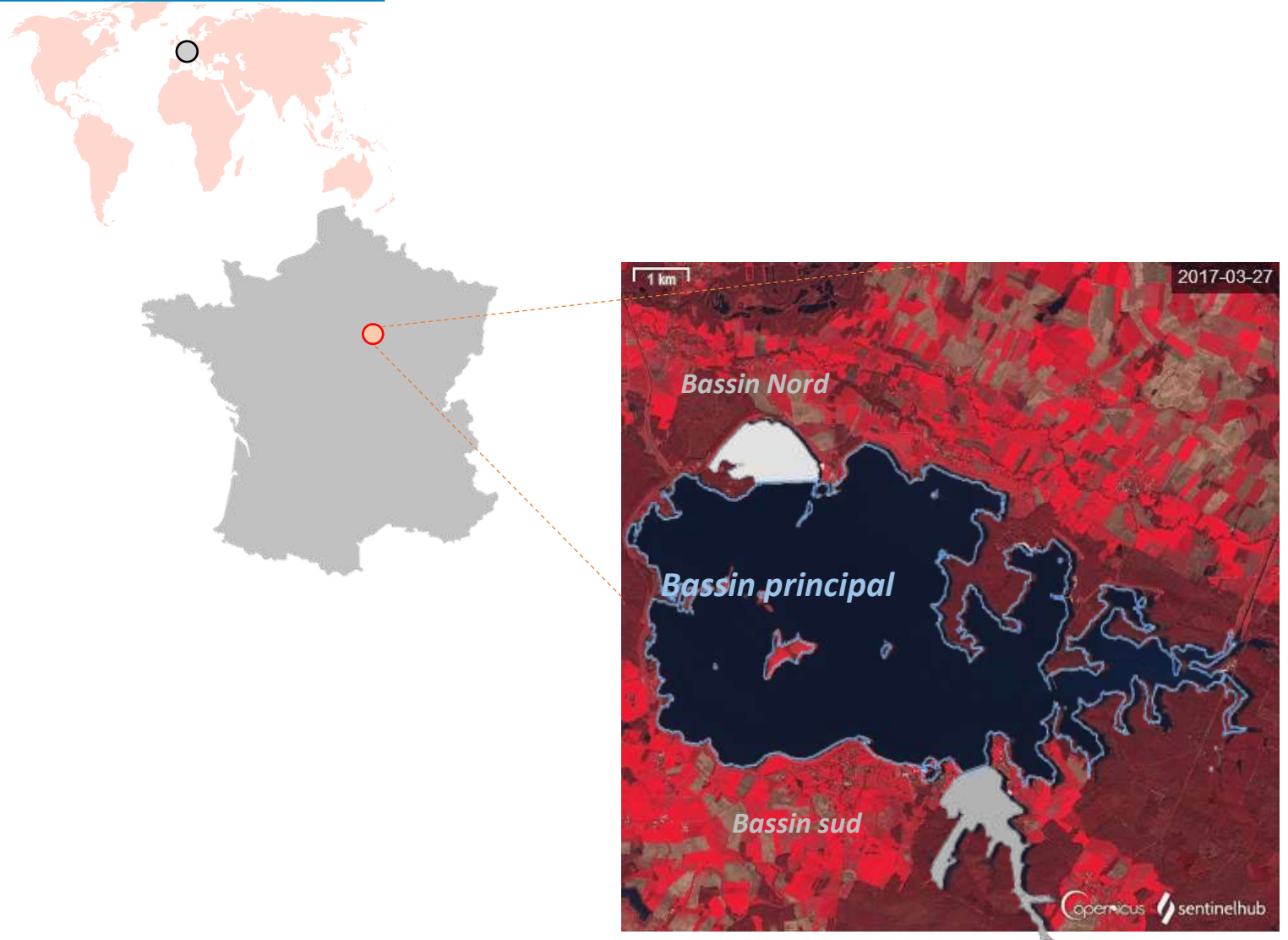
Orient			
Metric	FREQUENCY	Area m ²	Percentage
reference	13	10829060,28	100,00
database	3	11147755,36	102,94
omission	13	96436,30	0,89
commission	3	415131,38	3,72
taux_detecti	2	10732623,98	97,37
taux_justess	1	999999,00	96,89
BREAK	1	1,00	1,00
precision	1	1,00	0,97
recall	1	1,00	0,97
Fscore	1	1,00	0,97
CSI	1	1,00	0,94

Auzon Temple			
Metric	FREQUENCY	Area m ²	Percentage
reference	25	8711286,40	100,00
database	8	8473200,00	97,27
omission	25	338141,24	3,88
commission	8	100054,90	1,18
taux_detecti	6	8373145,10	96,12
taux_justess	1	999999,00	98,82
BREAK	1	1,00	1,00
precision	1	1,00	0,99
recall	1	1,00	0,96
Fscore	1	1,00	0,97
CSI	1	1,00	0,95

Site de l'étude

Lac du Der (Réservoir Marne)

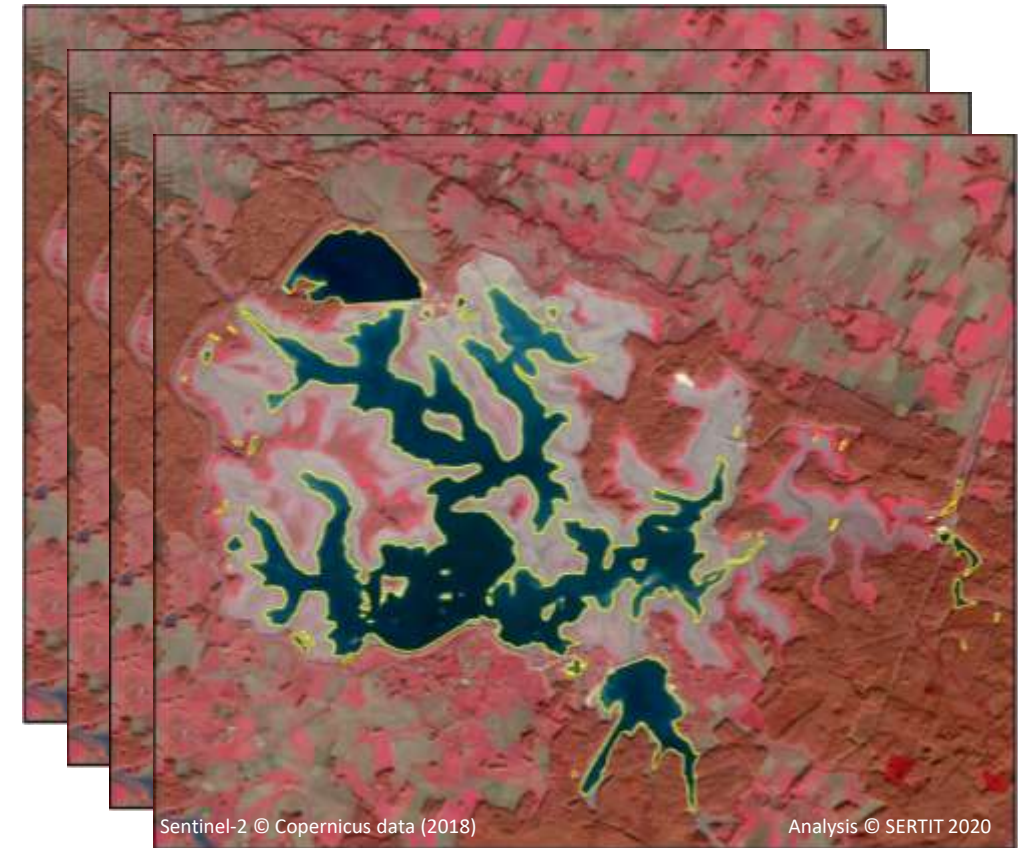
- Plus grand réservoir de France métropolitaine
- Surface : 48 km²
- Capacité : 350 M.m³
- Bassin principal accusant une forte dynamique
- Partie du système de défense contre les inondations de Paris



Données et méthodologie

Suivi des surfaces en eau à partir de données Sentinel-2

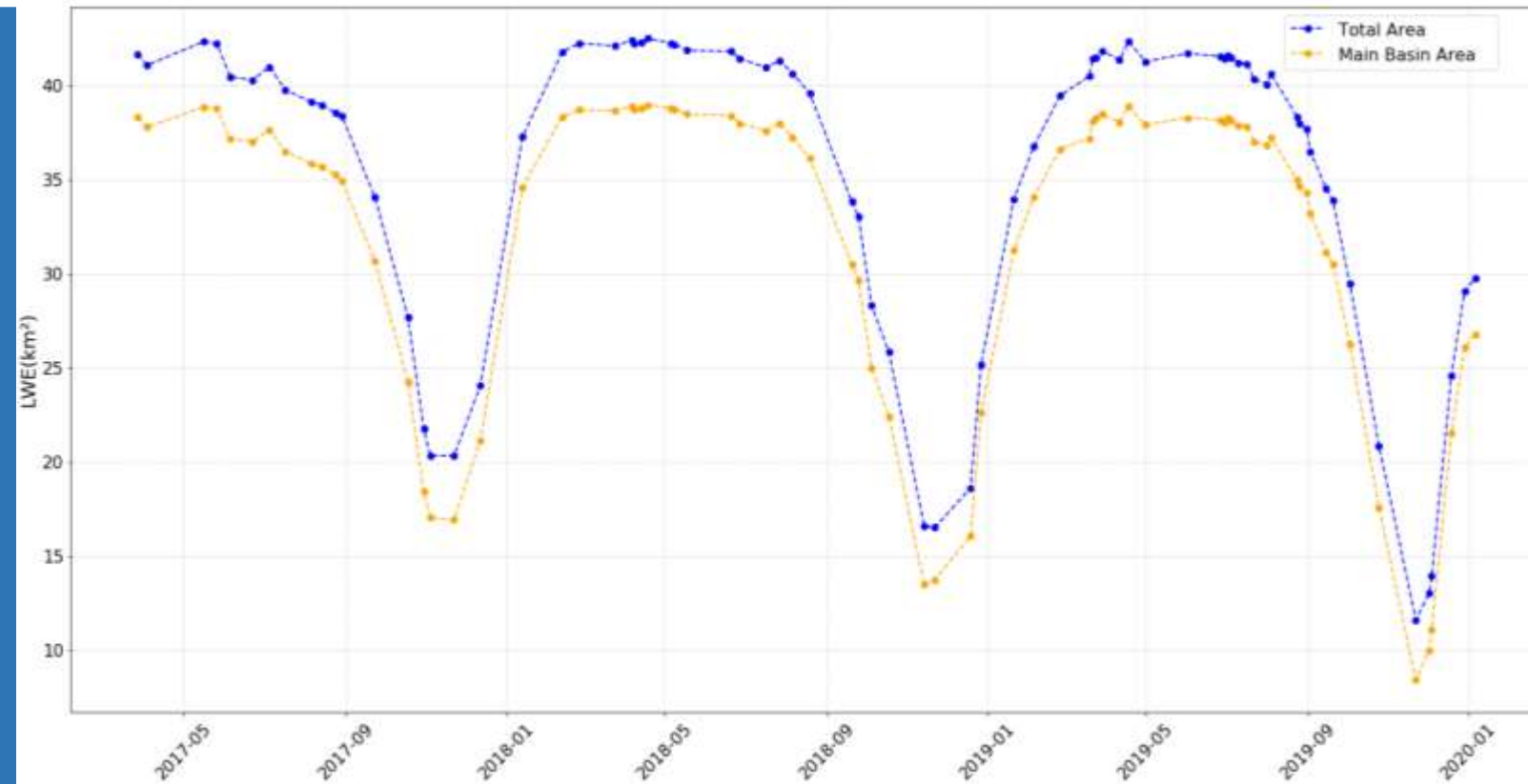
- Sélection de données Sentinel-2 sans nuages sur la partie couverte par le lac :
 - De mars 2017 à janvier 2020 : 77 dates
 - Au minimum une image par mois (deux en moyenne)
- Extraction automatique de la surface en eau du lac sur chaque image (utilisation du classifieur SVM entraîné via des échantillons GSW)
- Photo-interprétation afin de corriger les erreurs de classification flagrantes



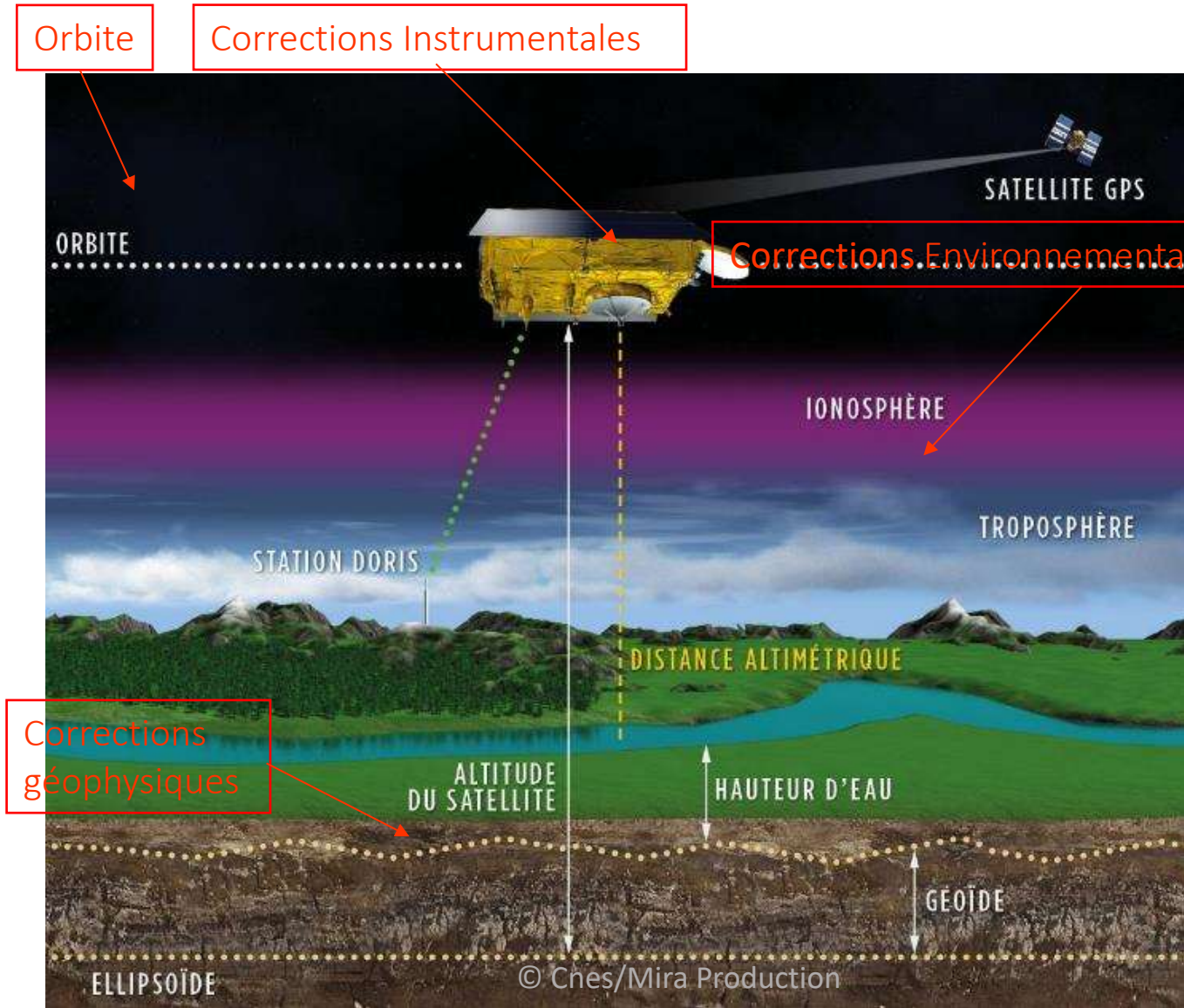
Résultats et analyses

Variation de la surface en eau du lac du Der (LWE)

- Surfaces obtenues à partir des surfaces en eau Sentinel-2, après correction/validation.
- Description précise des cycles de remplissage et de vidange du réservoir.
- La surface en eau varie de 42 km² au printemps à environ 20-15 km² en hiver et exceptionnel assec en hiver 2019-2020



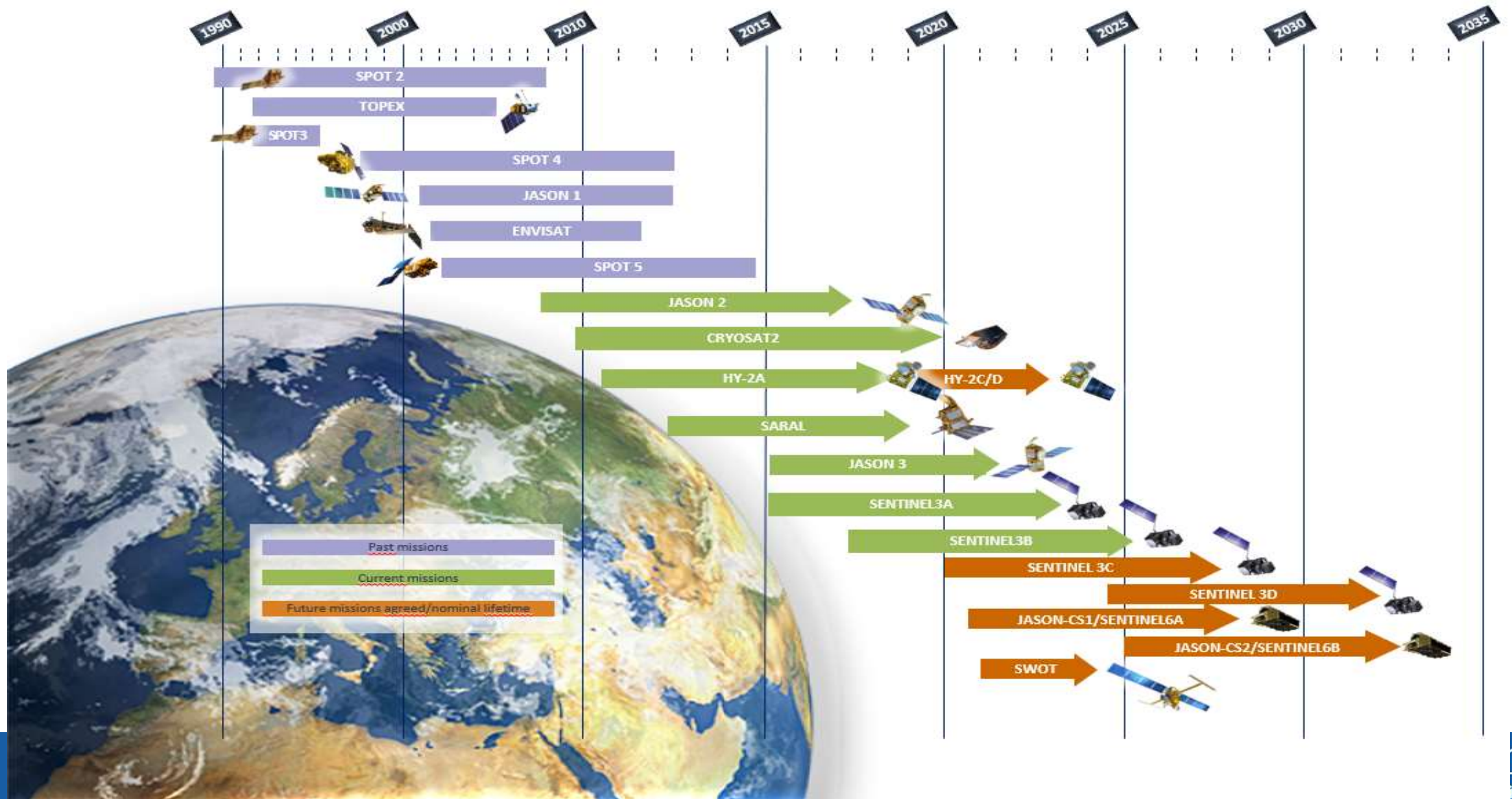
Altimétrie spatiale



- Hauteur de la surface : en altimétrie, par rapport à l'ellipsoïde de référence.
- hauteur d'eau (ou niveau) : par rapport au géoïde
- Géoïde : surface équipotentielle de la Terre qui coïncide avec le niveau des mers et s'étend virtuellement sous toutes les terres.
- Ellipsoïde de référence : forme géométrique approchant la surface de la Terre

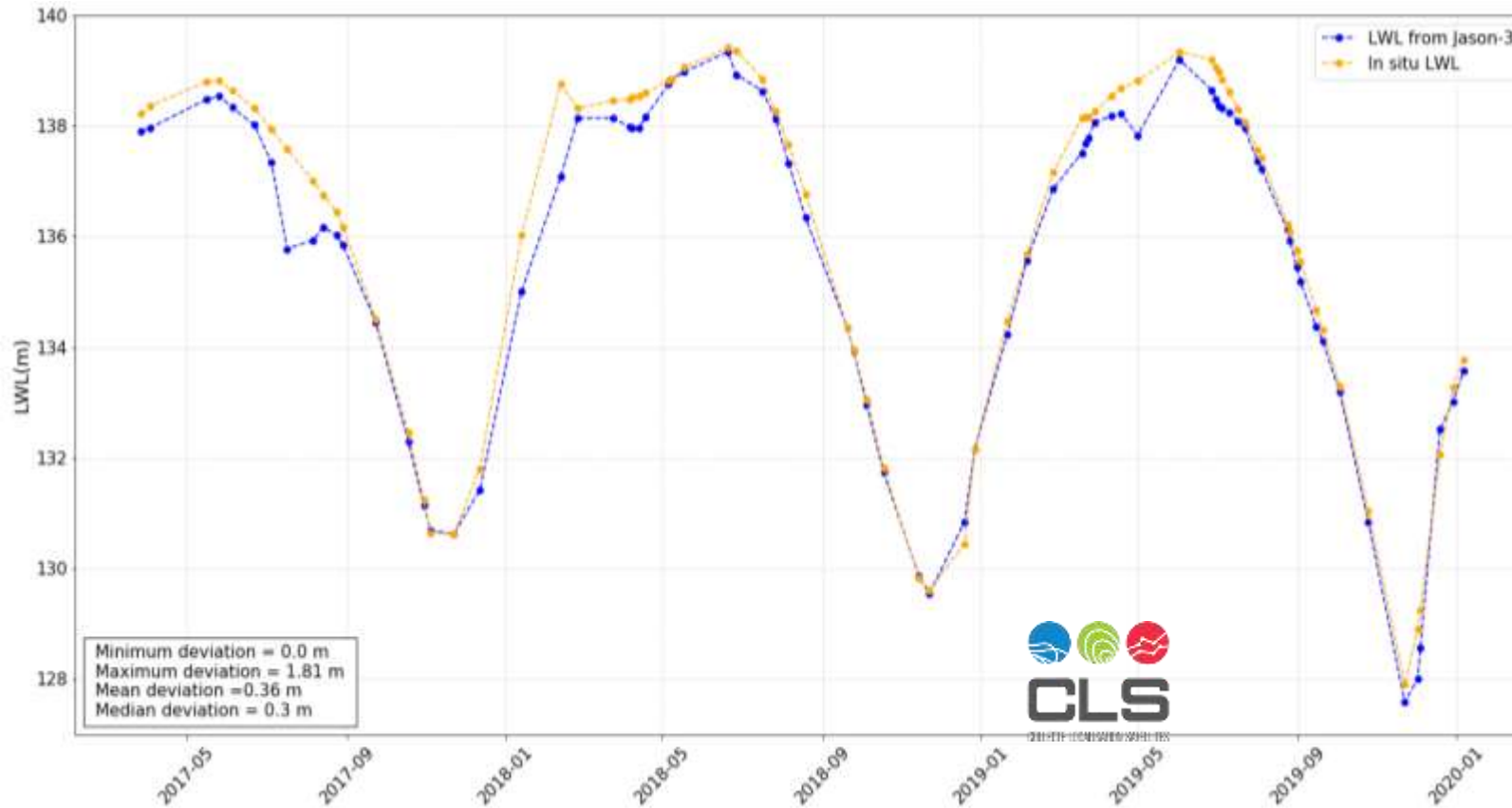
(cc) BY-SA
Cnes/Aviso

Altimétrie : longue histoire et un futur qui s'annonce prometteur



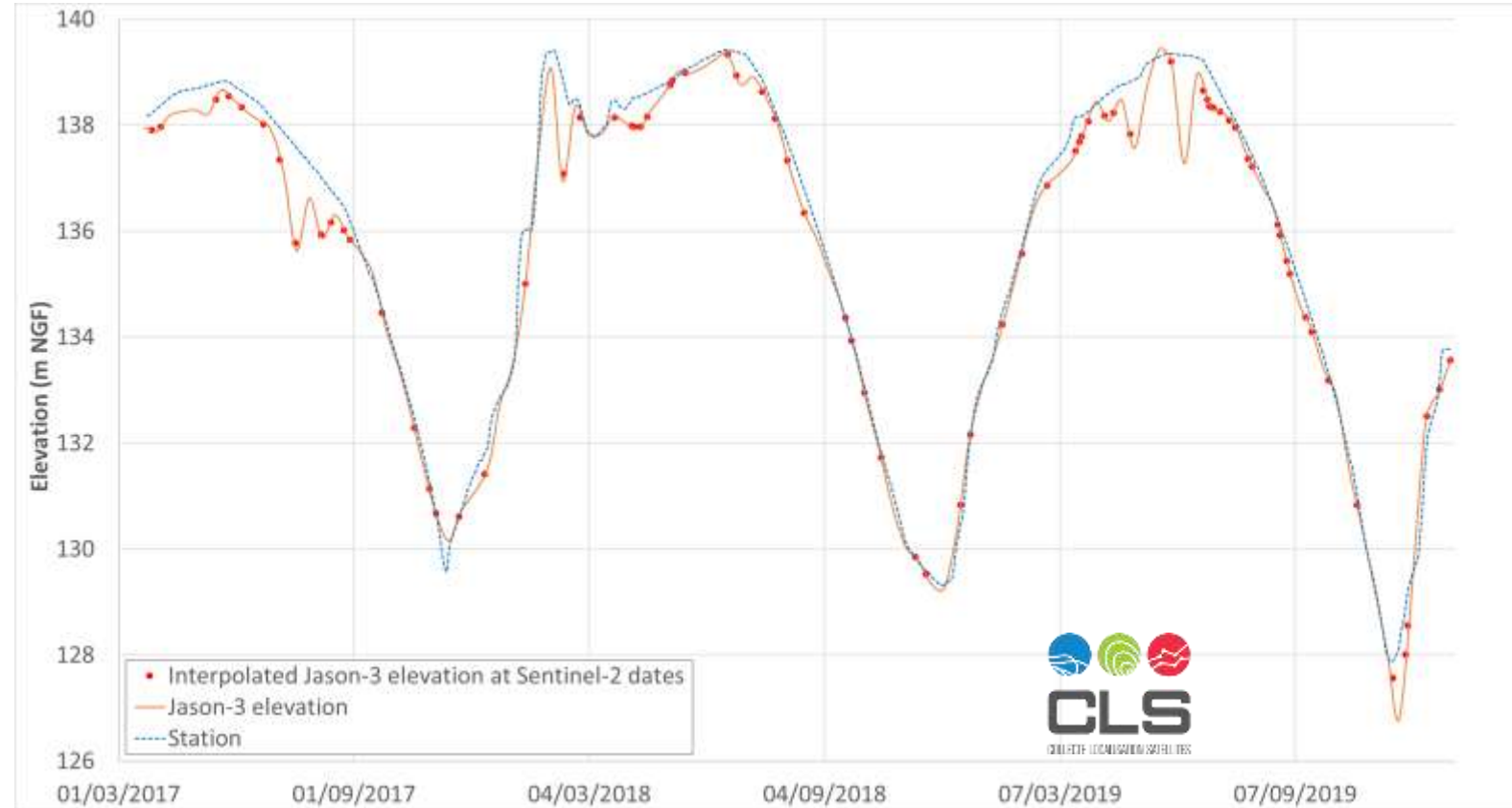
Hauteurs d'eau Jason-3

- Jason-3 : acquisition de hauteurs à une fréquence de 10 jours.



Hauteurs d'eau Jason-3

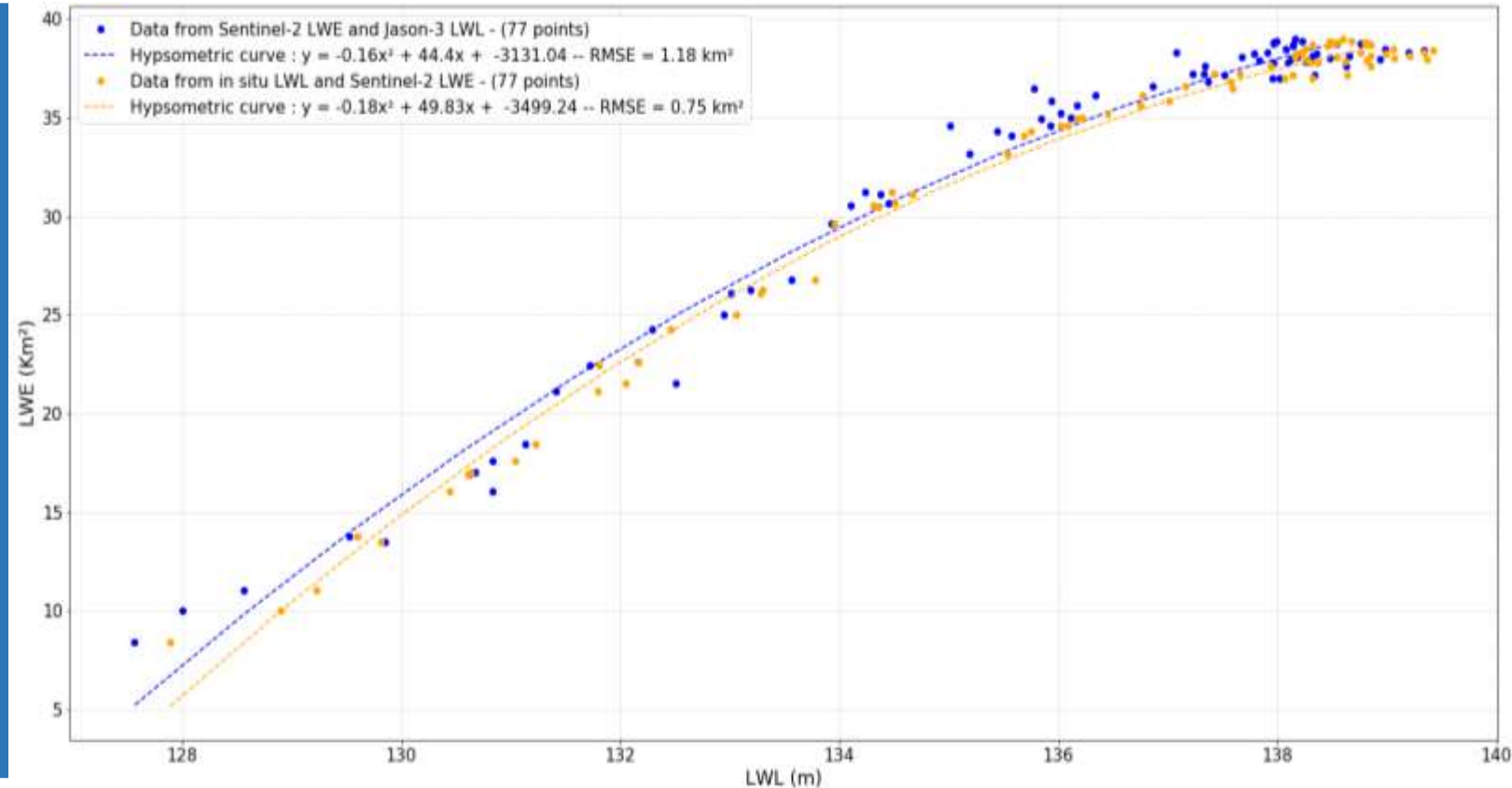
- Jason-3 : acquisition de hauteurs à une fréquence de 10 jours.
- Interpolation des données Jason-3 aux dates Sentinel-2.
- Comparaison avec les mesures in situ :
 - Ecart absolu minimal : 0,0 m
 - Ecart absolu maximal : 1,81 m
 - Ecart absolu moyen : 0,35 m
 - Ecart absolu médian : 0,3 m



Résultats et analyses

Relation entre les hauteurs d'eau (LWL) et les surfaces en eau (LWE) du bassin principal.

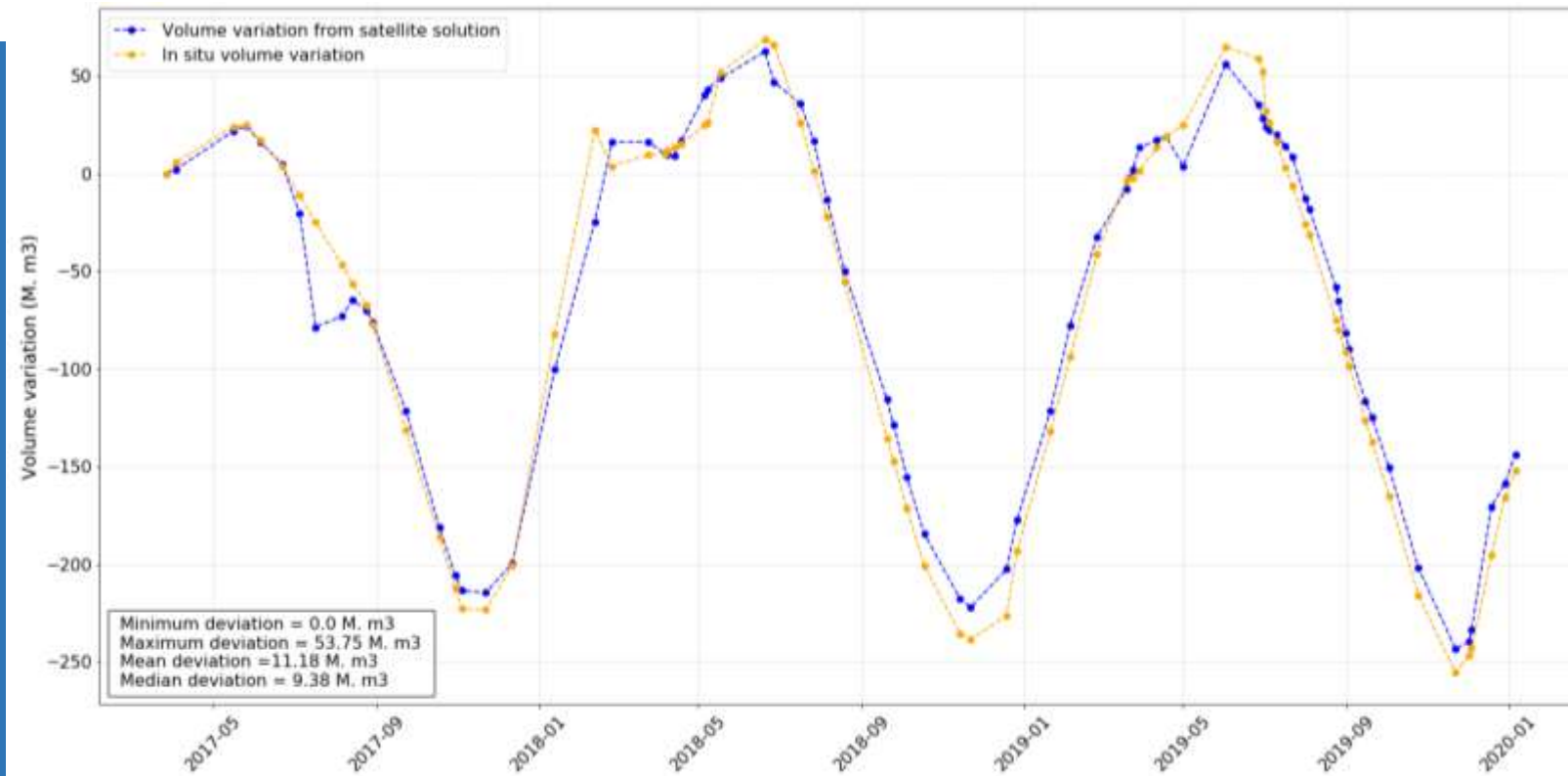
- Nuages de points produits à partir :
 - De la combinaison des surfaces en eau (LWE) Sentinel-2 et des hauteurs d'eau (LWL) Jason-3.
 - De la combinaison des surfaces en eau (LWE) Sentinel-2 et des hauteurs d'eau (LWL) in situ.
- Tendances similaires entre les deux couples de données.
- Courbes hypsométriques obtenues.



Résultats et analyses

Variation de volume du bassin principal du Lac du Der

- Calcul des variations de volume à partir des hauteurs d'eau Jason-3 et des surfaces en eau Sentinel-2. Utilisation de l'équation ci-dessous (1)
- Bonne corrélation entre les variations de volume dérivées de la solution satellite (Jason-3/Sentinel-2) et les mesures in situ, malgré quelques divergences localisées :
 - Ecart absolu minimal : 0,0 M.m³
 - Ecart absolu maximal : 53,75 M.m³
 - Ecart absolu moyen : 11,18 M.m³
 - Ecart absolu médian : 9,38 M.m³



$$\text{Volume} = \frac{h}{3} (B_1 + B_2 + \sqrt{B_1 \cdot B_2})$$



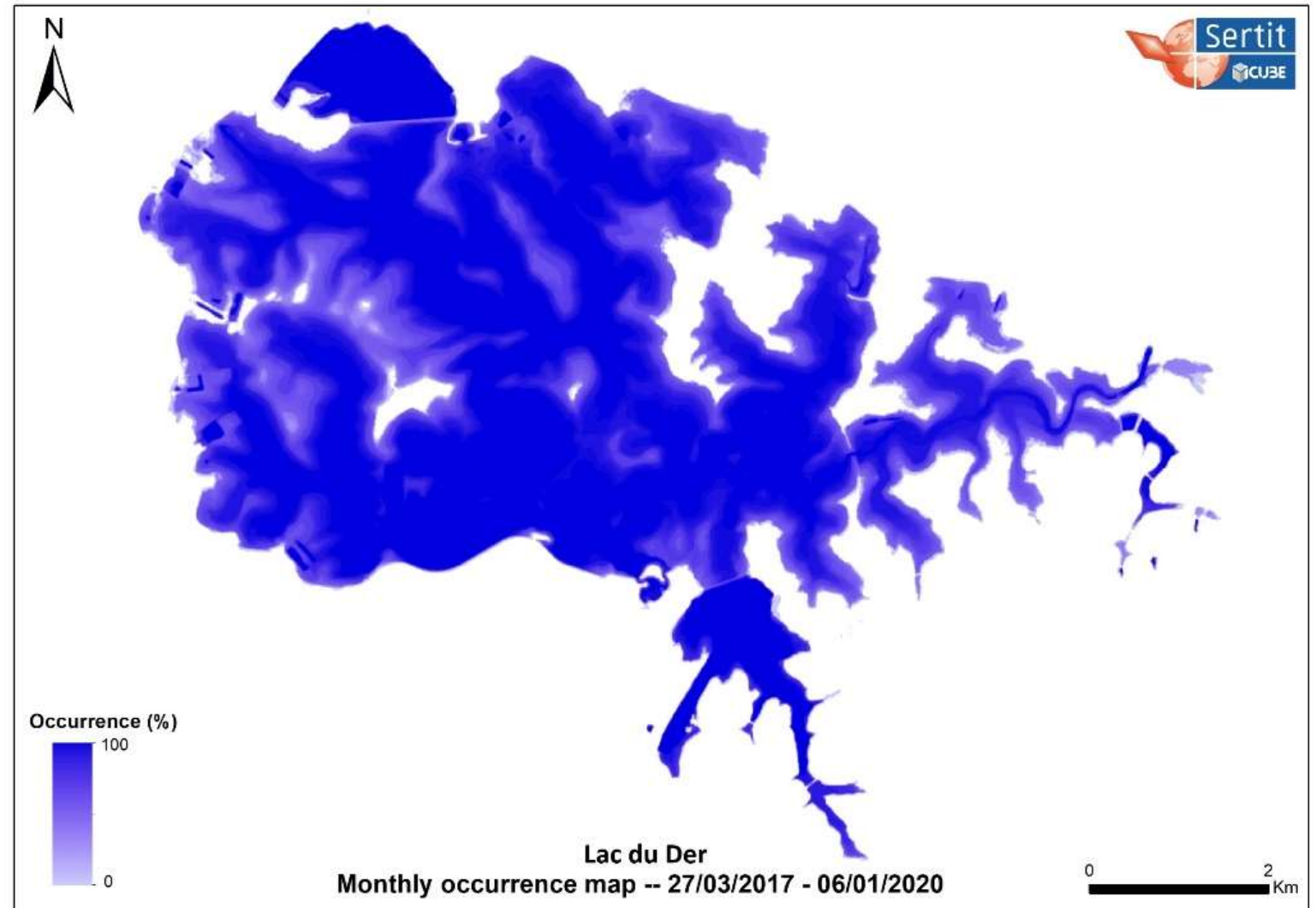
$$\Delta V (\text{M}^3) = \Delta V (\text{M}^3) + \frac{2 \cdot \Delta V (\text{M}^3) \cdot \Delta V (\text{M}^3)}{h} (B_1 - B_2) \quad (1)$$

Quellec M and Cretaux J-F, (2019) Lake Storage Variations Algorithms Update, SWOT meeting, Bordeaux, 18-06-2019.
https://swot.odysseallc.net/meetings_by_folder.htm?id=1065

Résultats : Occurrence

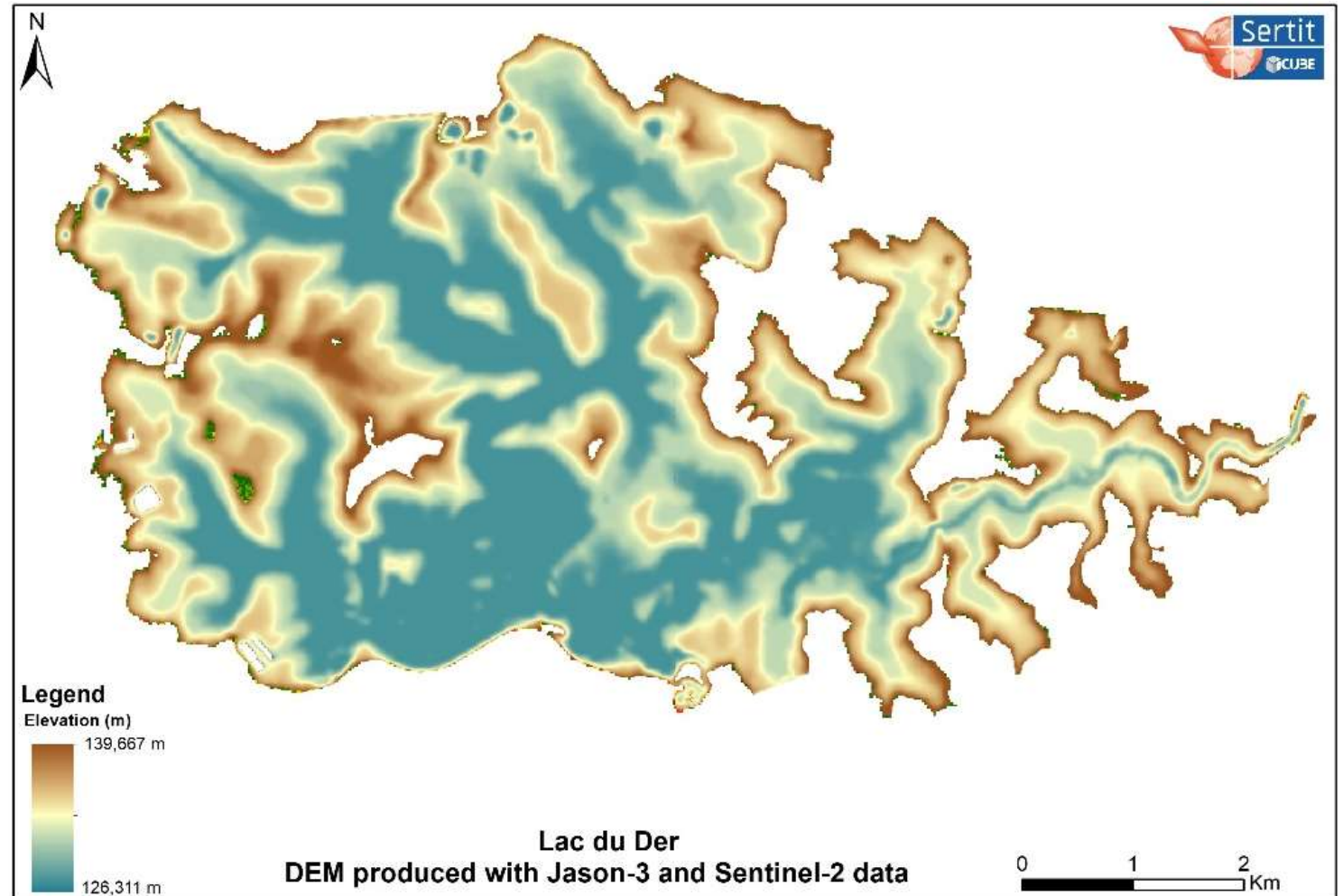
Produits supplémentaires

- Des produits d'occurrence dérivés des surfaces en eau (LWE) Sentinel-2.
 - annuelle
 - totale

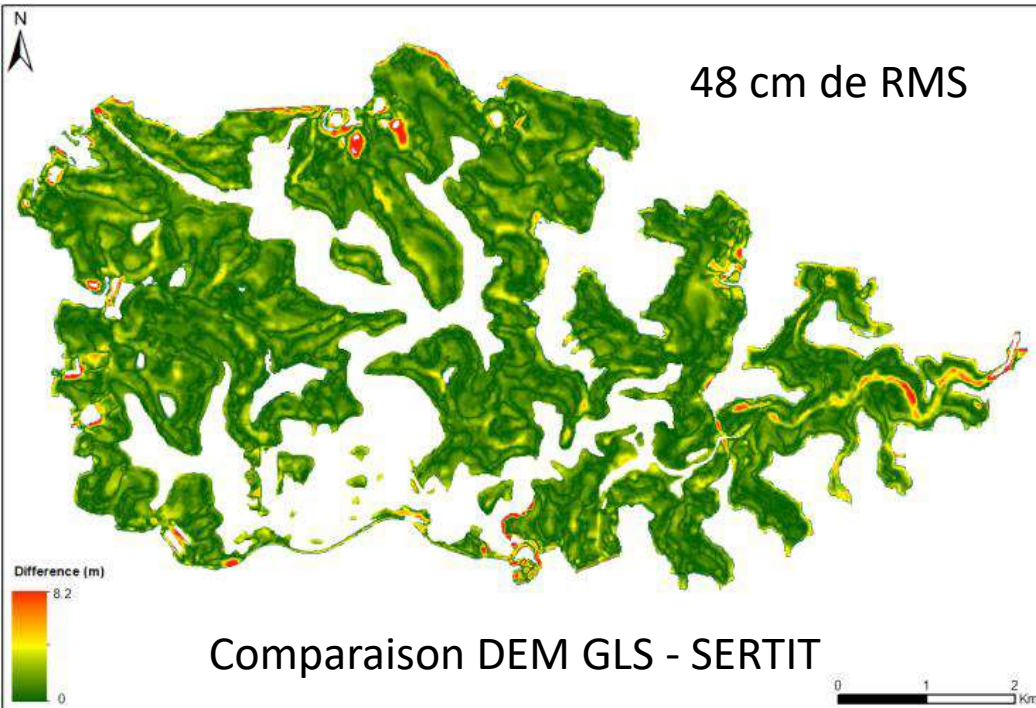
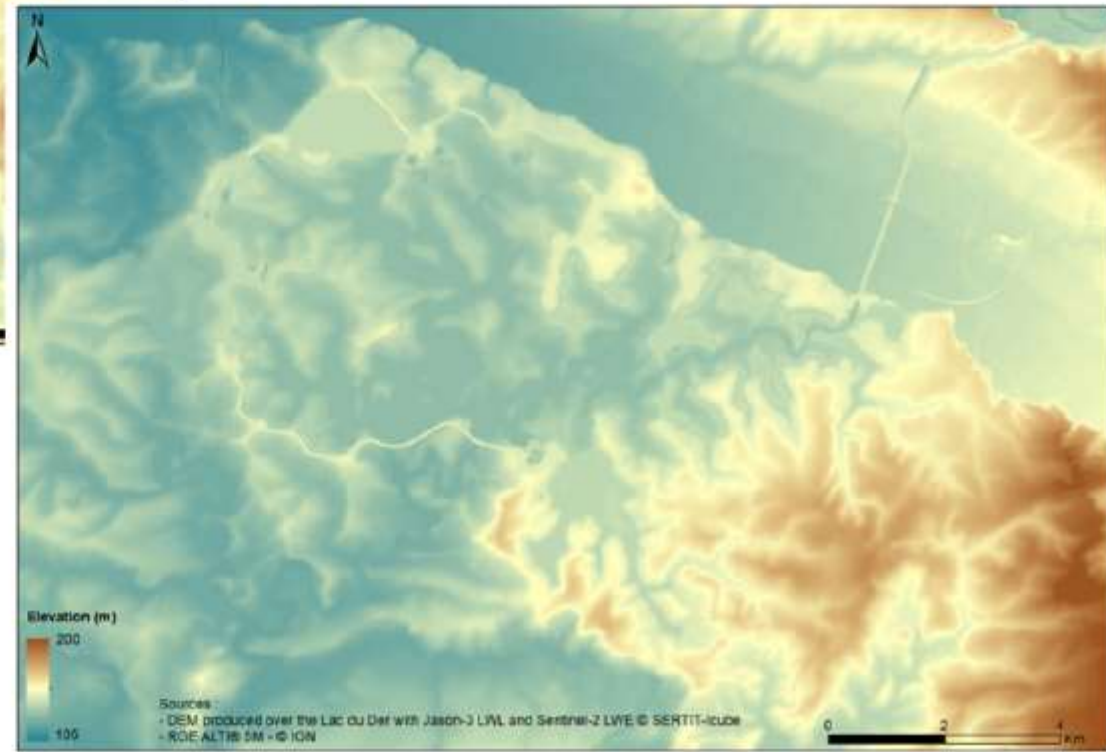
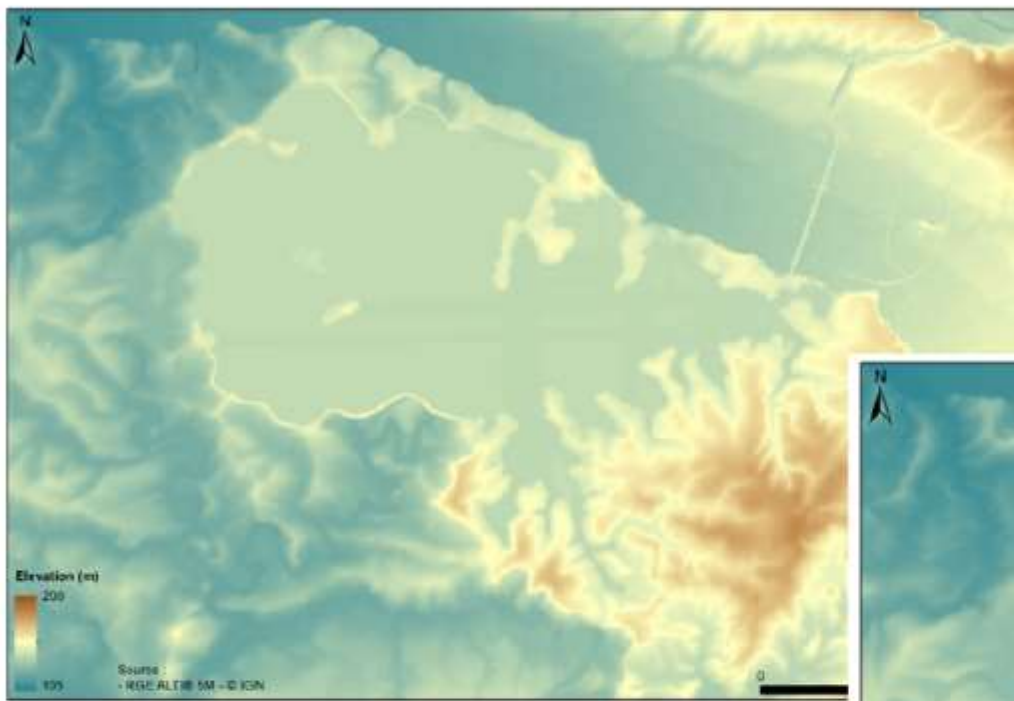


Résultats : Reconstruction du MNT partie immergée

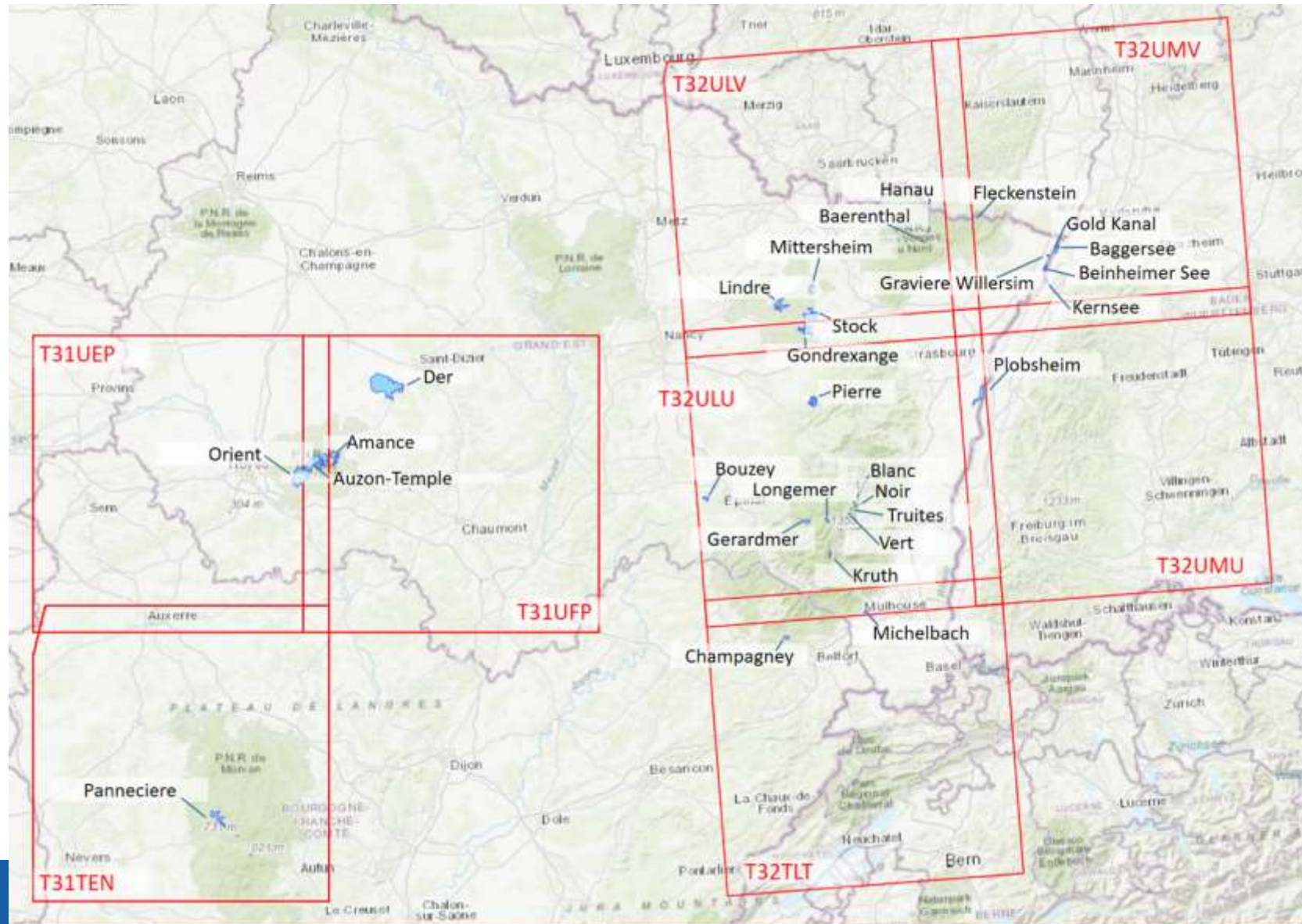
- Des DEMs bathymétriques dérivés :
 - Des hauteurs d'eau (LWL) Jason-3 et des surfaces en eau (LWE) Sentinel-2.
 - Des hauteurs d'eau (LWL) in situ et des surfaces en eau (LWE) Sentinel-2.



DEM IGN + Bathymetrie Sentinel2-Jason3



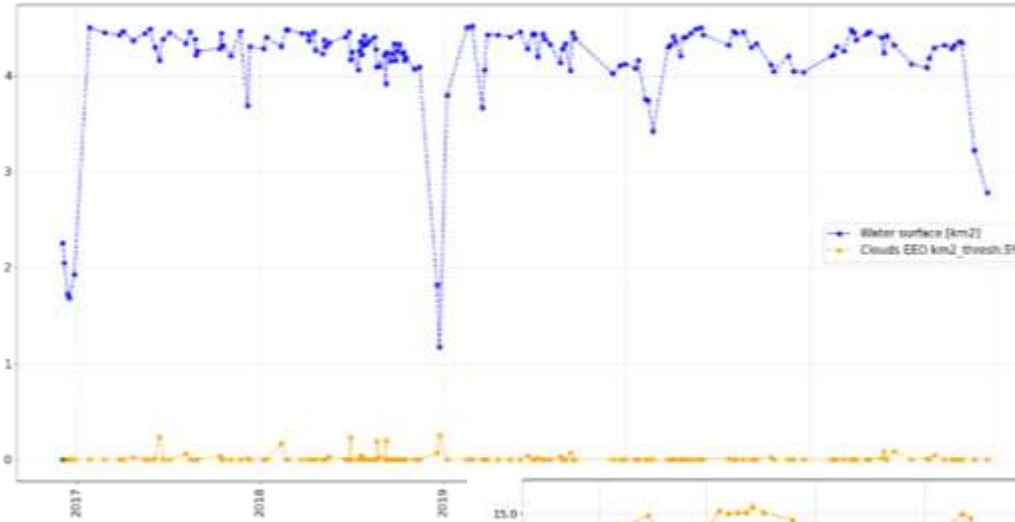
Suivi des surfaces en eau dans le Grand Est: 30+



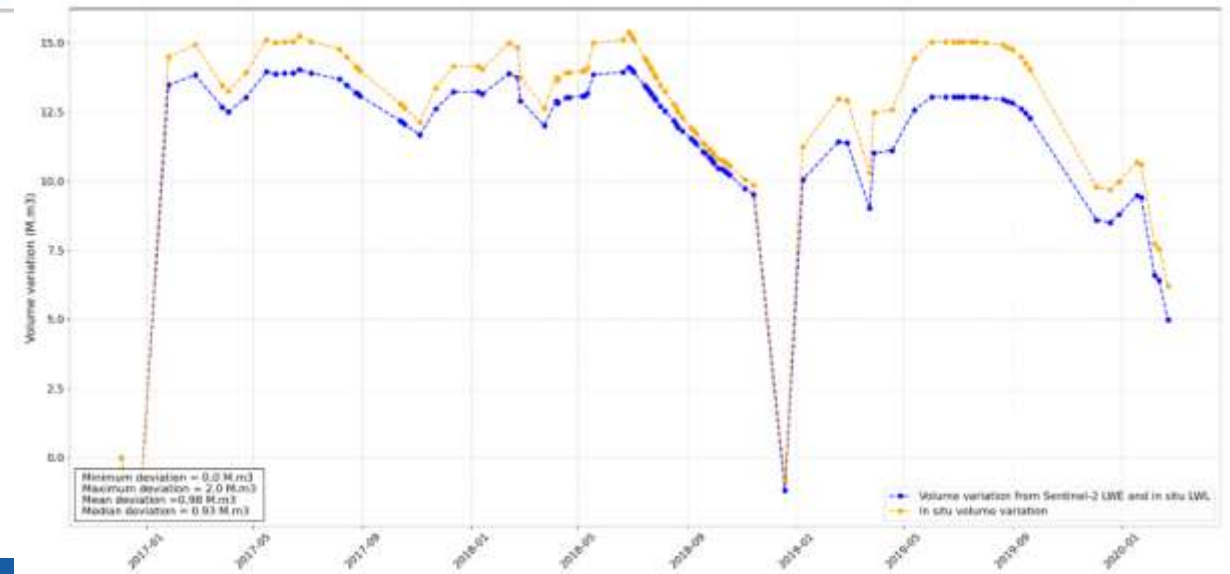
Suivi de lac dans le Grand Est: Amance (Grands Lacs de Seine)



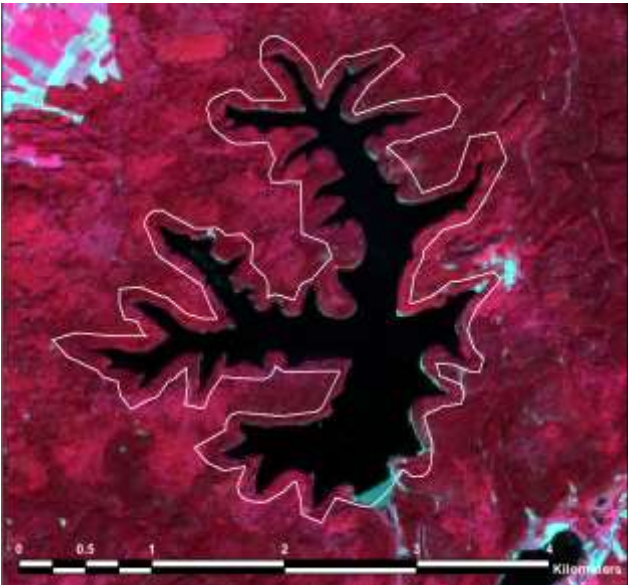
Variations des surfaces



Variations des volume
E: satellite & H in situ

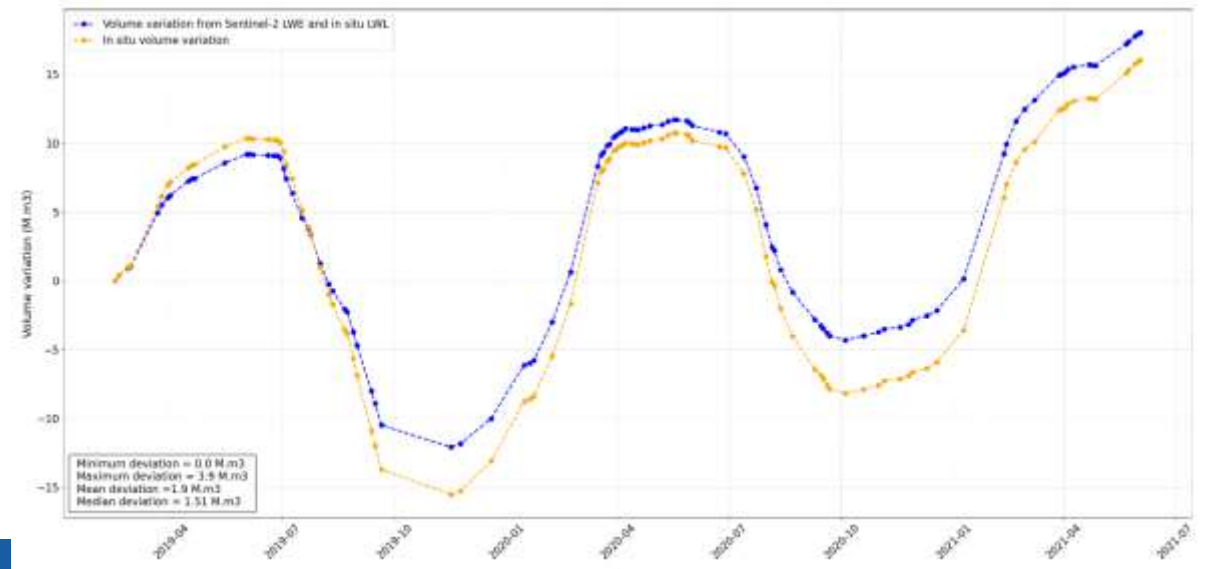


Suivi de lac dans le Grand Est: Pierre Percée

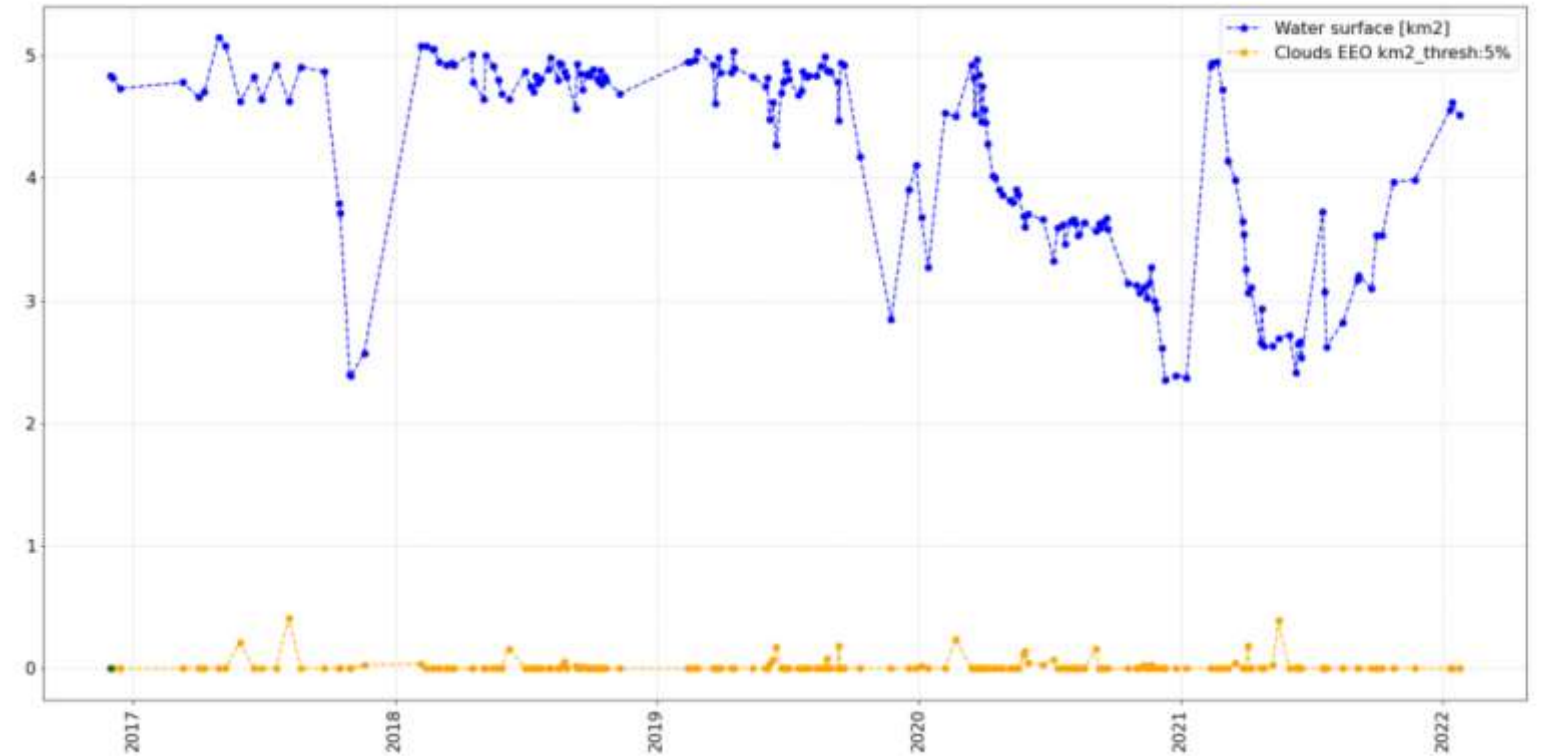


Variations des surfaces

Variations des volume
E: satellite & H in situ



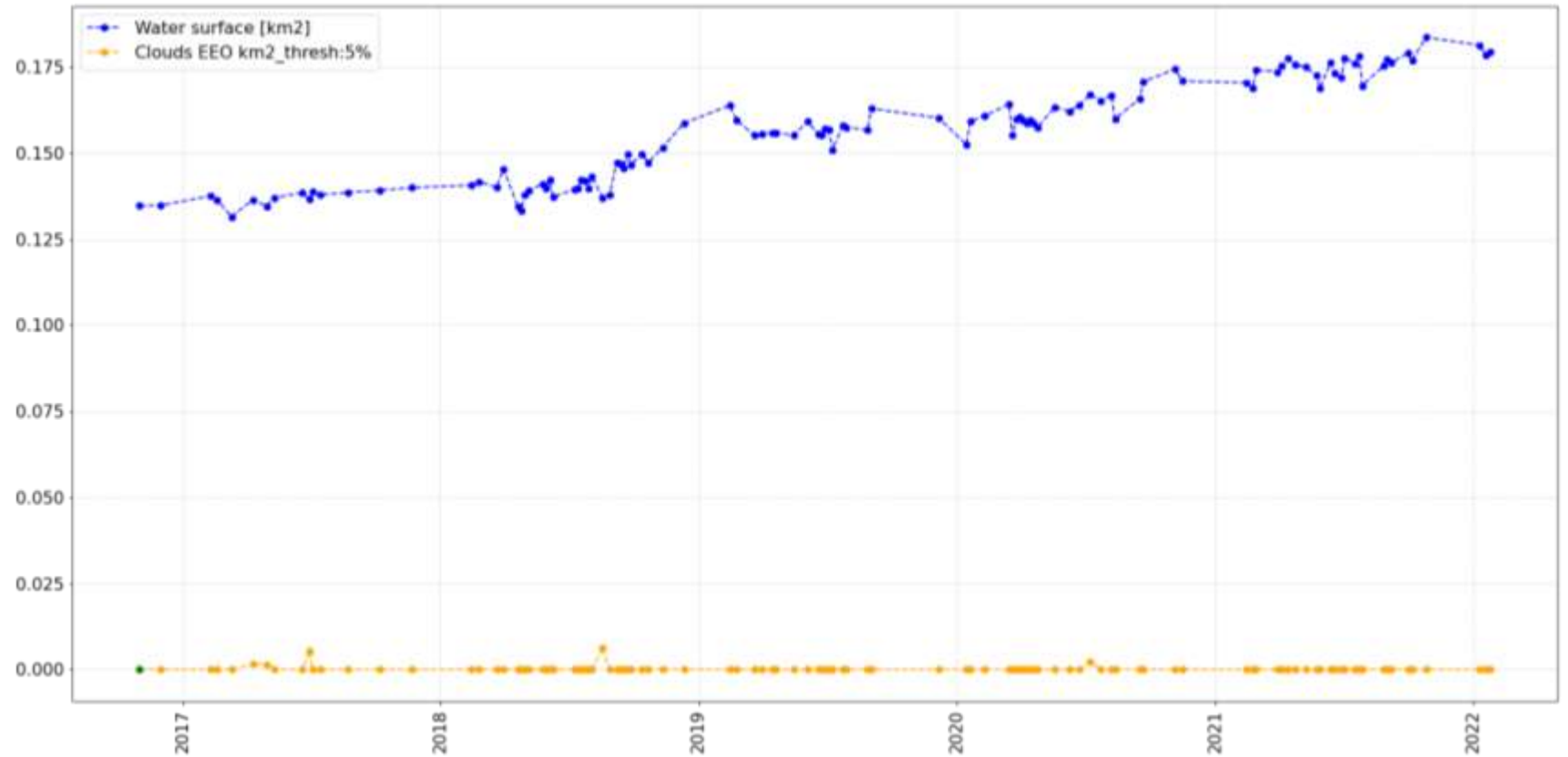
Suivi de lac dans le Grand Est: Etang du Lindre



Suivi de lac dans le Grand Est: Gravière Nordhouse



Variations des surfaces



CAL-VAL SWOT

- Préparation de la future mission altimétrique Franco-Américaine SWOT (2022-2025)



© TAS

- **Mission Globale**

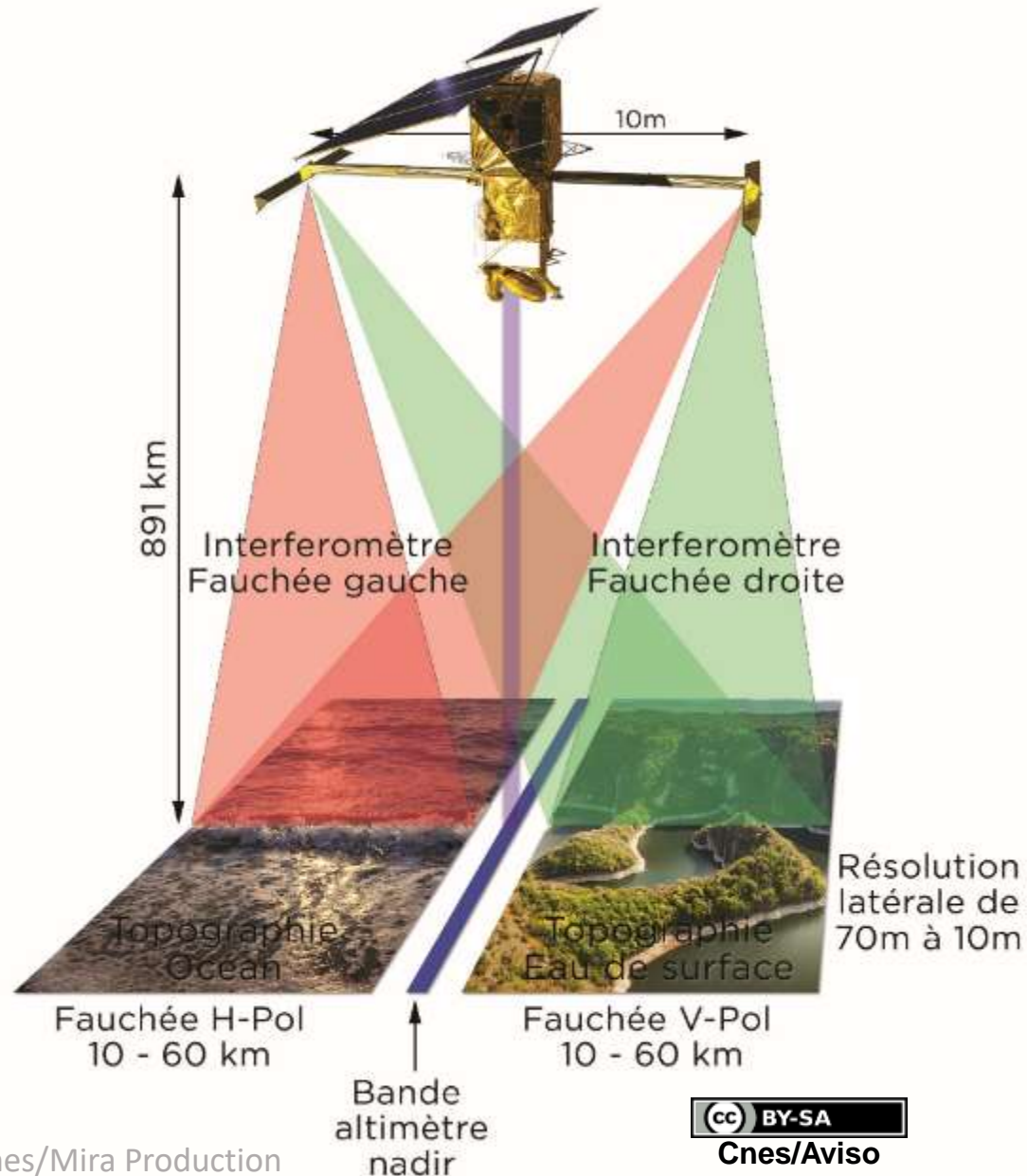
- Couvrir au moins 90% des surfaces du globe
- Mesurer la hauteur de mer et les hauteurs d'eaux continentales
- Sur les continents, fournir un masque des zones en eau : les rivières de 100m de large et les lacs, zones humides ou réservoirs de 250x250m
- La précision à atteindre serait de 10 cm pour la hauteur d'eau et de 1.7 cm/1 km pour la pente (après moyenne des mesures sur 1 km²).

- **Applications hydrologiques:**

- dynamique globale des eaux continentales et leur interaction avec les zones côtières au niveau des estuaires. => suivre l'évolution de l'approvisionnement en eau douce dans le contexte du changement climatique, notamment dans les régions où les observations sont rares.
- la gestion du partage des eaux (internationale, interrégionale), meilleure modélisation des inondations, gestion des stocks d'eau douce pour la consommation urbaine, industrielle et agricole, gestion de la production hydroélectrique, prévention de la propagation des épidémies, aide à la navigation fluviale

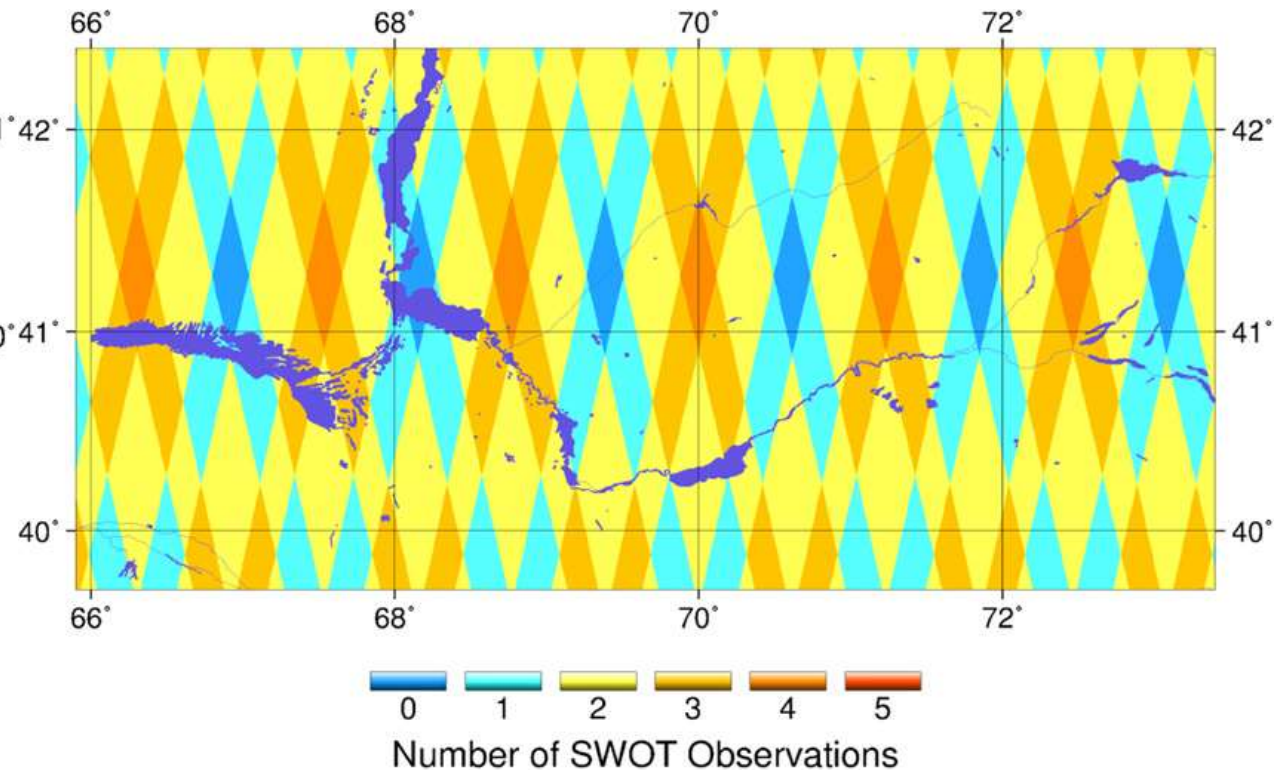
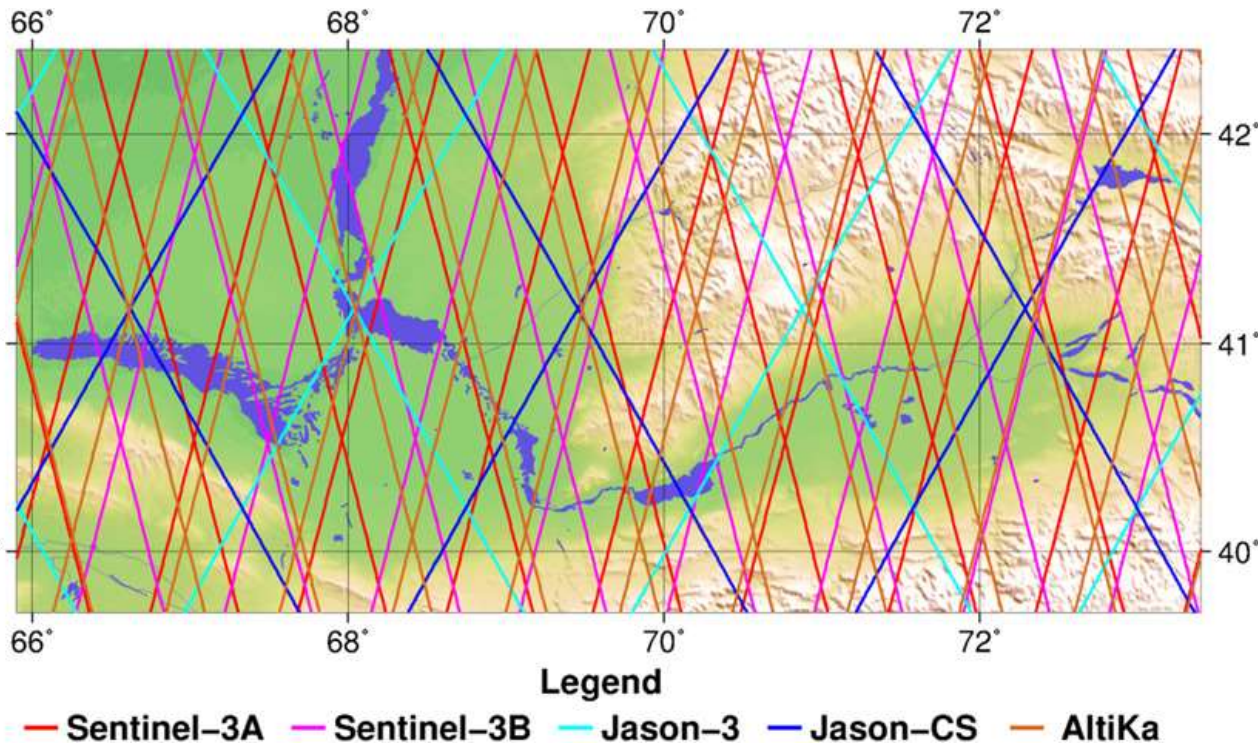
- Fort enjeux de coopération internationale: le Rhin (site majeur de CalVal) avec équipe GIS-Stuttgart
- Export important, grands fleuves Afrique (Congo, Niger, Zambeze), Asie (Mekong, Yangtze, Amour) Amérique du Sud (Amazone, Orénoque, Rio Negro)

La mission Swot

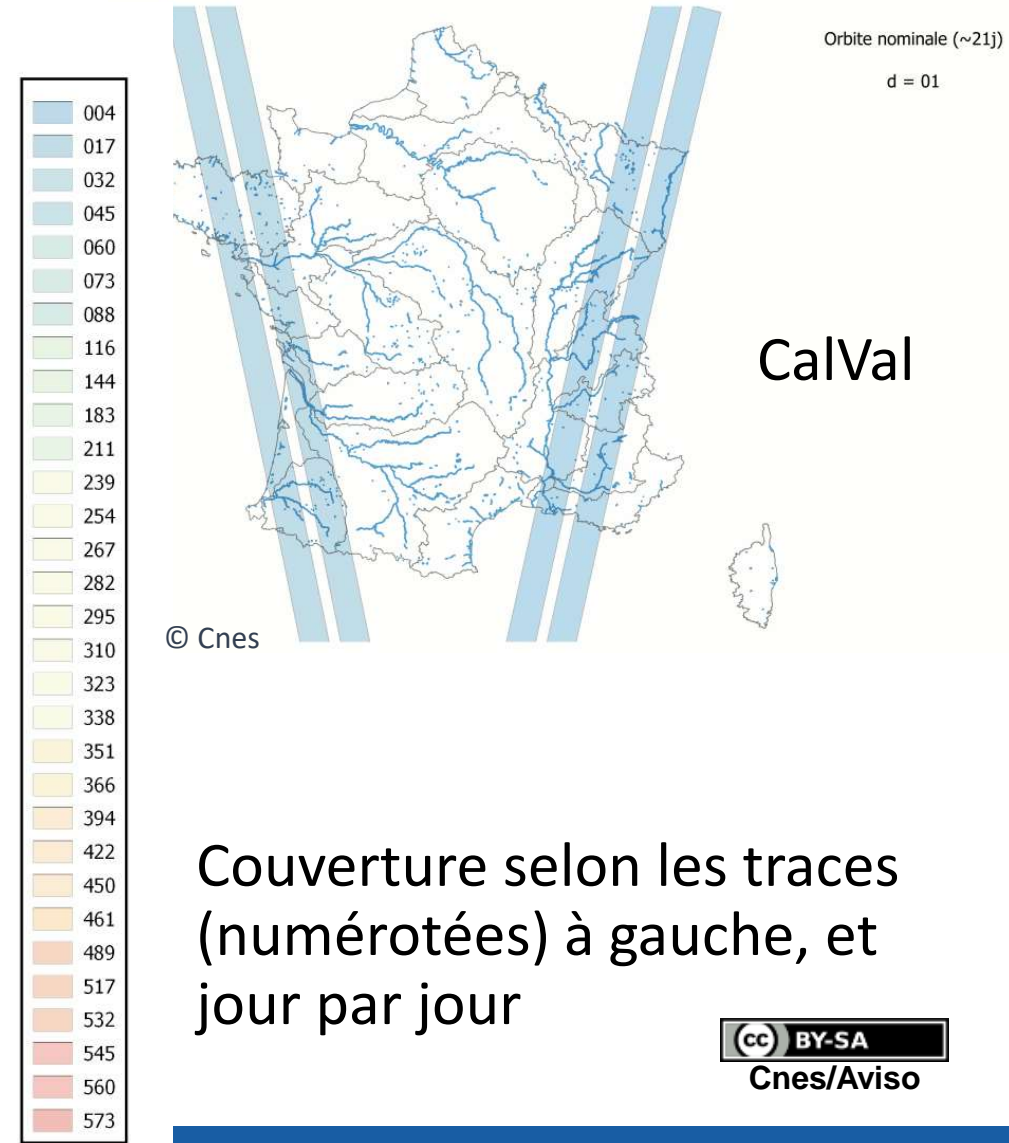
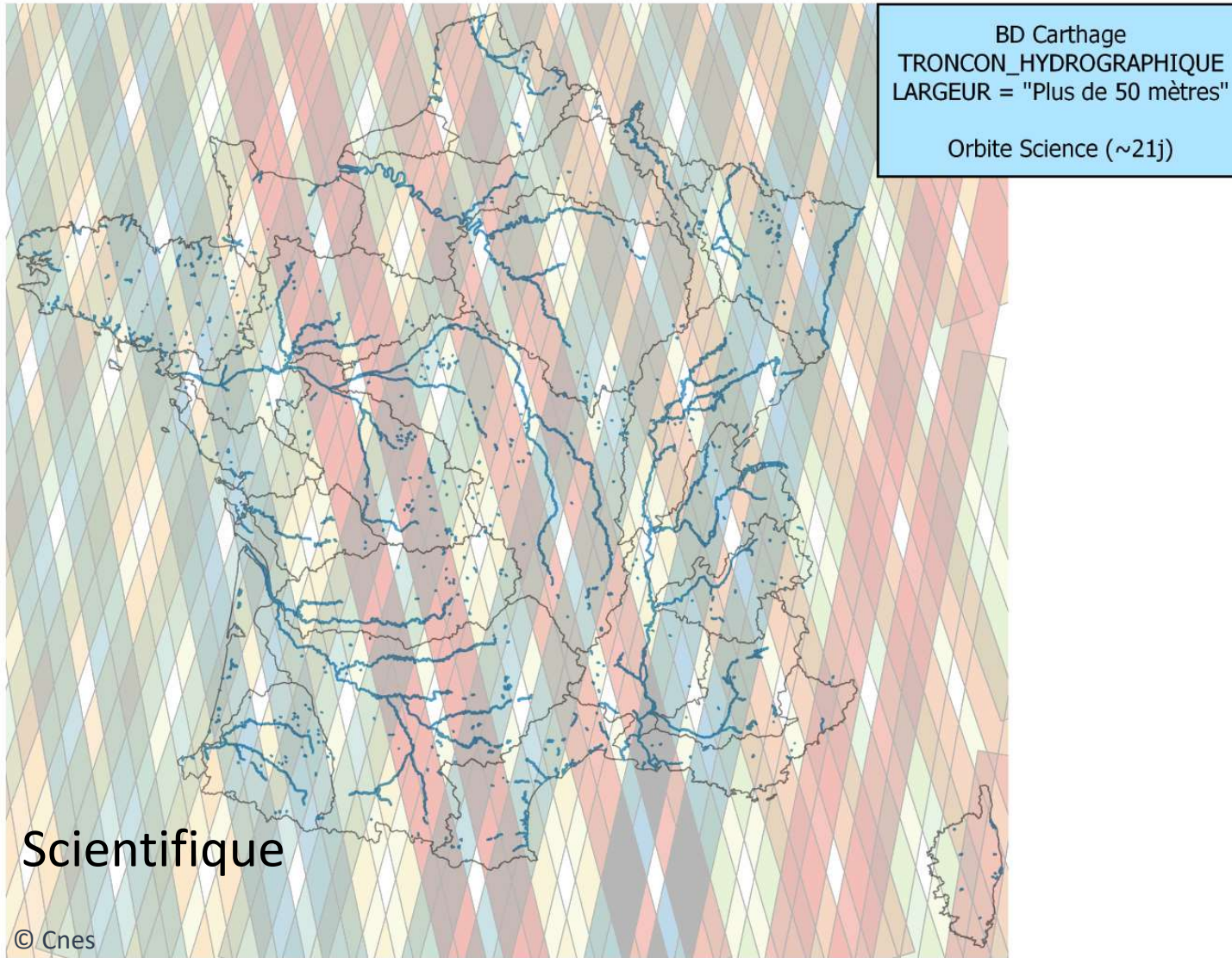


- Une coopération Nasa (USA) / Cnes (France) / CSA (Canada) / UKSA (UK)
- Un nouveau concept technique, l'altimétrie interférométrique à large fauchée (KaRIn)
 - une image bidimensionnelle
 - Fauchée 2 x 50 km
 - Mesure radar (tous temps + jour/nuit)
- Données
 - Mesures « directes » : Hauteur d'eau, Pente, Largeur
 - *Mesures indirectes : Débit, Vitesse et amplitude des marées, Amplitude des vagues, Vitesse des courants...*

La mission Swot par rapport aux missions altimétriques « classiques »



La mission Swot territoire national



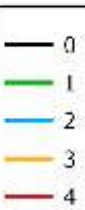
Nombre d'observations par cycle (21 jours) sur les rivières et lacs français

- Les mesures rivières:
 - Hauteur d'eau (en 2D),
 - Largeur,
 - Pente
- Grandeur déduite : le débit
- Les mesures lac:
 - Hauteur d'eau (en 2D),
 - Surface
- Grandeur déduite :
- Variations de volumes

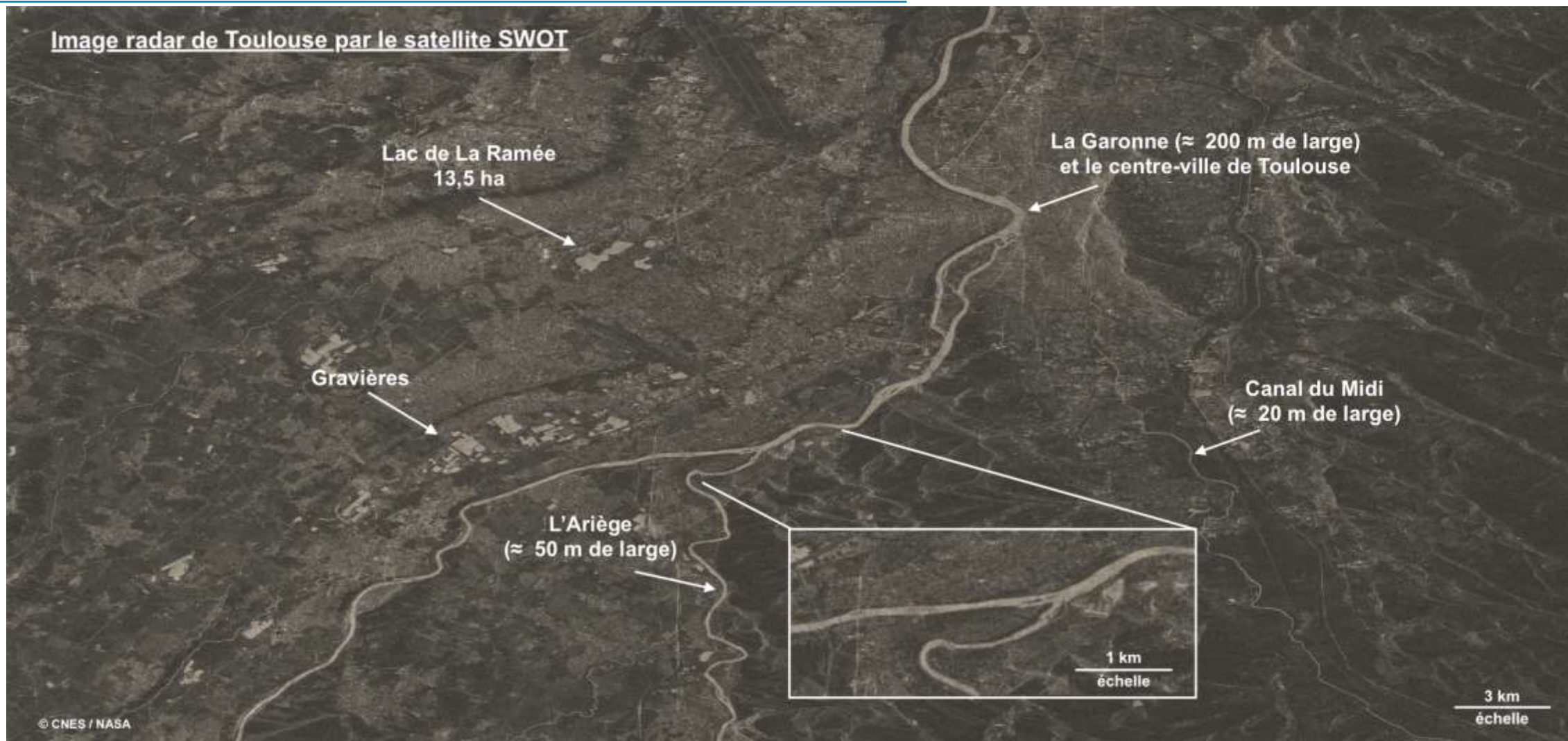


BD Carthage
TRONCON_HYDROGRAPHIQUE
LARGEUR = "Plus de 50 mètres"
Orbite Science (~21j)

CC BY-SA
Cnes/Aviso



Premiere image SWOT officielle : Garonne



CalVal SWOT Rhin

Validation des hauteurs, surfaces, volumes

Reconnaissance

- des éléments hydrauliques:
 - détection de saut liés aux barrages (12-15m) à des seuils (1,5m)
 - Digues,
- Des plans d'eau déconnectés et connectés (gravières)

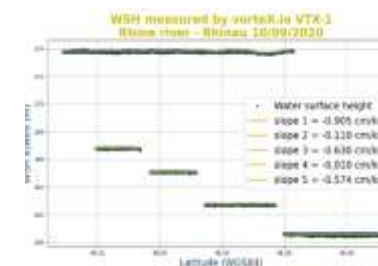
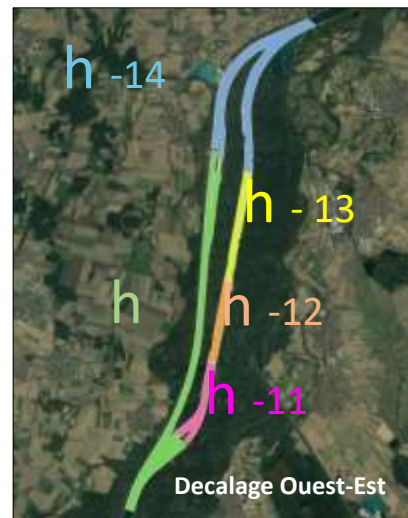
1 - Rhin : des caractéristiques « uniques »

- Partie libre avec différentes orientations par rapport à la trace
- Partie canalisée avec des altitudes tranchées
 - En escalier du Sud vers le Nord par tranche de 13-10m
 - Décalage latéral Ouest-Est entre canal et le vieux Rhin

2- Lacs/réservoirs de montagne, en plaine et sur plateau (Vosges, Alsace, Lorraine)

3- Inondations de plaine

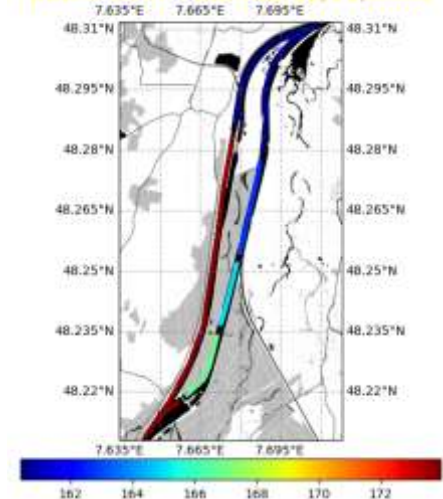
- Collecte des hauteurs d'eau**
 - in situ : casse tête, multi agences et transfrontaliers
 - Drone (Sept 2020) et réseau science citoyenne (tbd)
- Collecte des surfaces (Sentinel2)
- Mise en place d'un Sword dédié



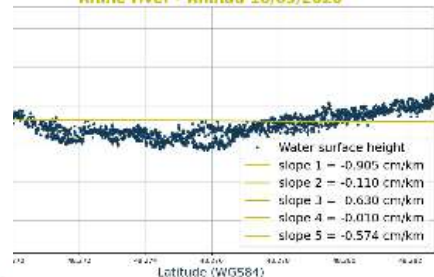
Water elevation data

Drone measurements

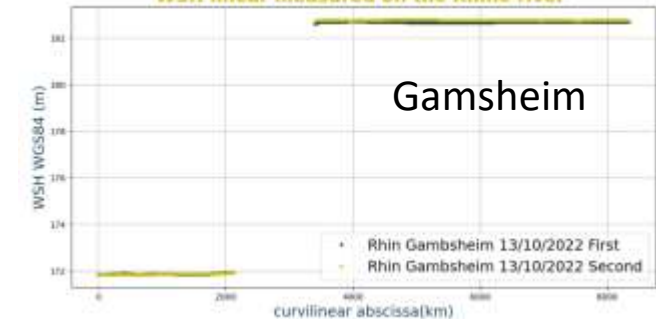
WSH measured by vortex.io VTX-1 Rhine river - Rhinau 10/09/2020



WSH measured by vortex.io VTX-1 Rhine river - Rhinau 10/09/2020



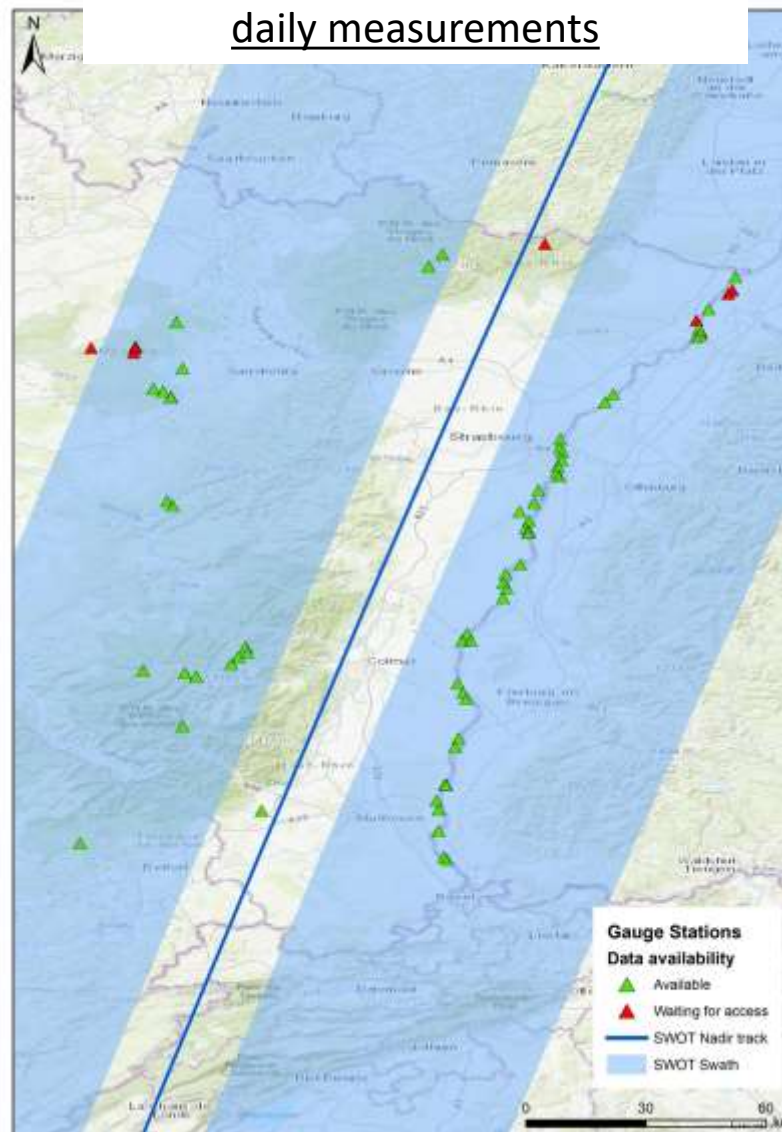
WSH linear measured on the Rhine river



Gamsheim



Identified gauge stations with daily measurements



ICESat-2 measurements



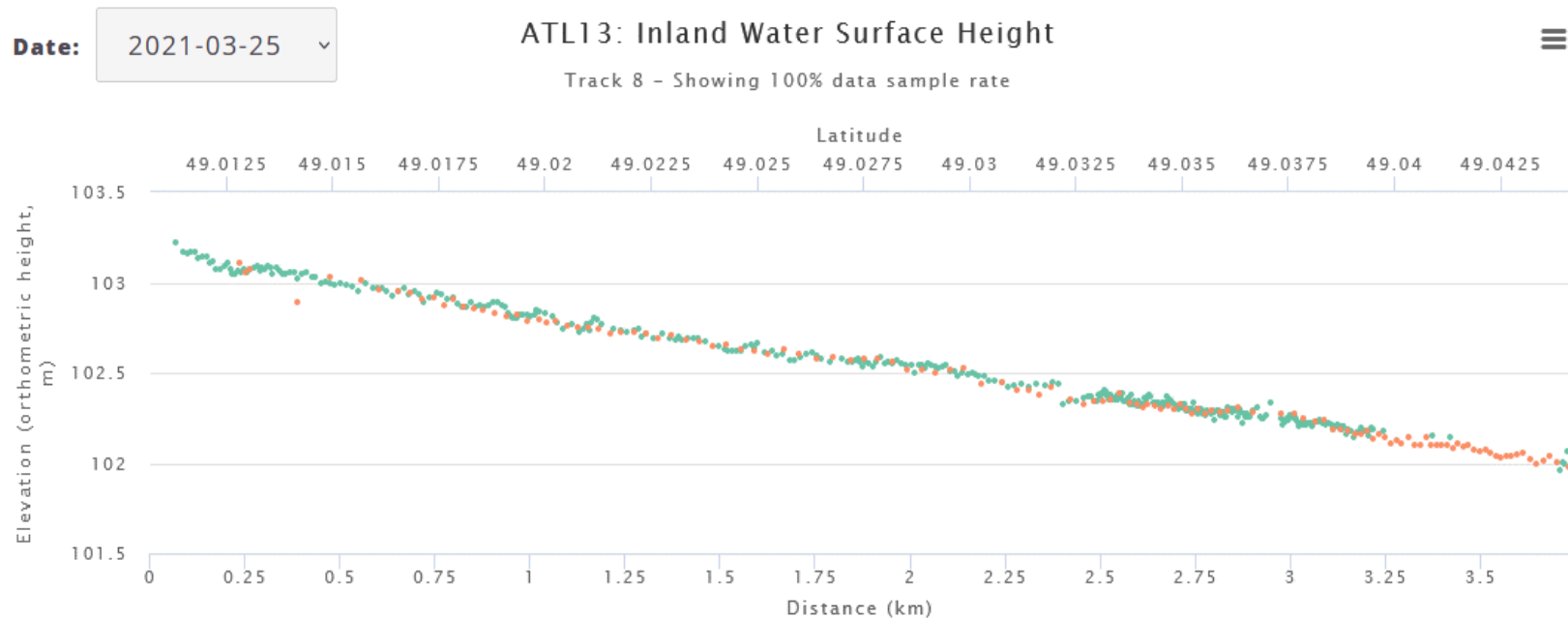
Sentinel-3 measurements





Slope generation using OpenAltimetry (Manual approach)

Rhin – Karlsruhe / Iffenzheim - Lauterbourg



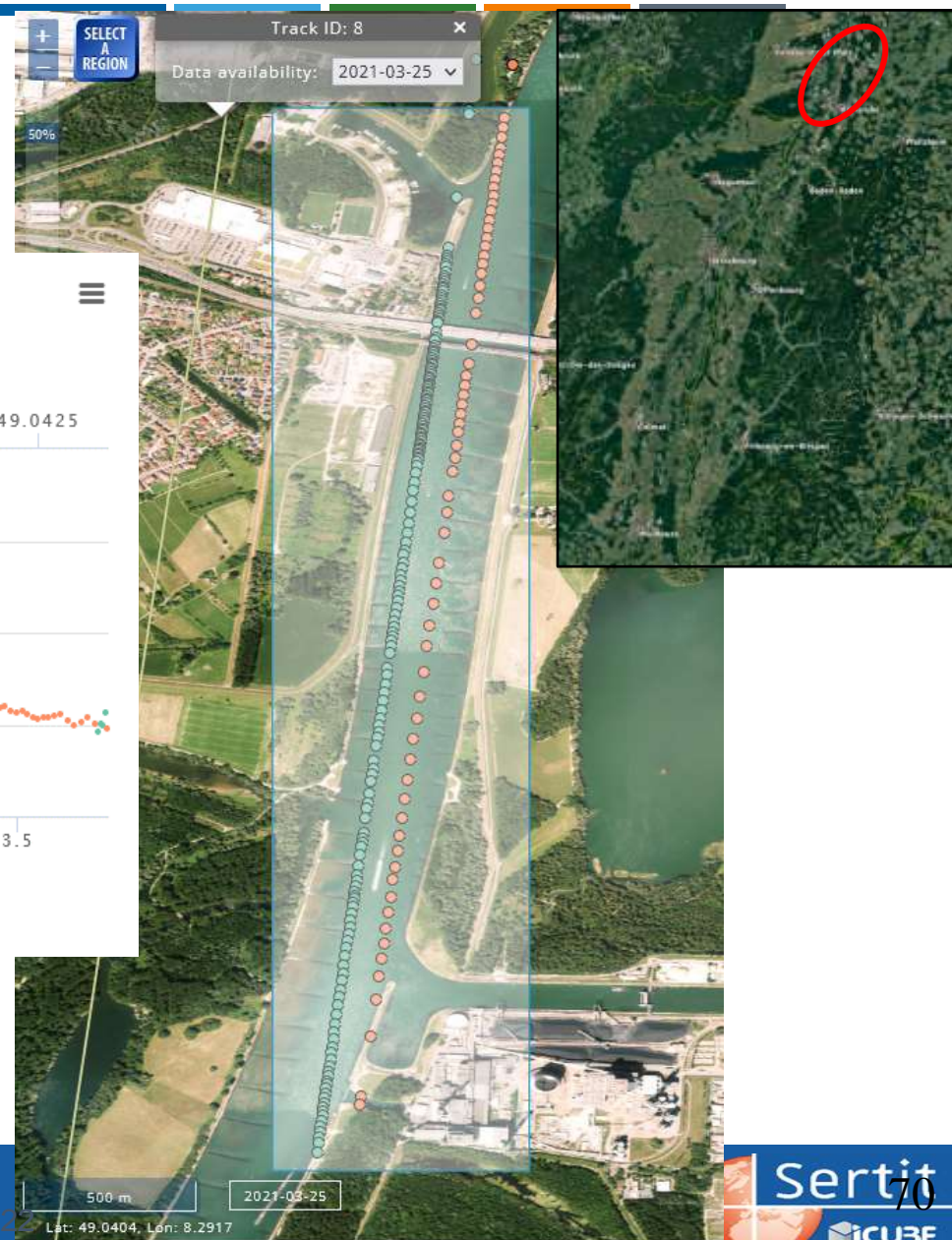
Select Beams

- Beam gt3r (strong)
- Beam gt3l (weak)
- Beam gt2r (strong)
- Beam gt2l (weak)
- Beam gt1r (strong)
- Beam gt1l (weak)

● gt3r ● gt3l

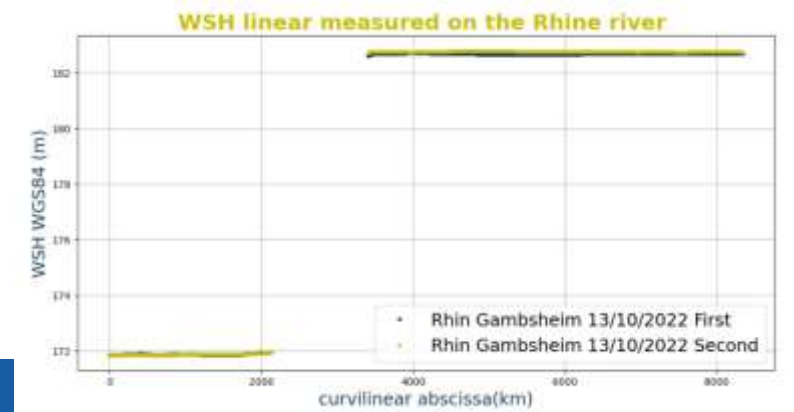
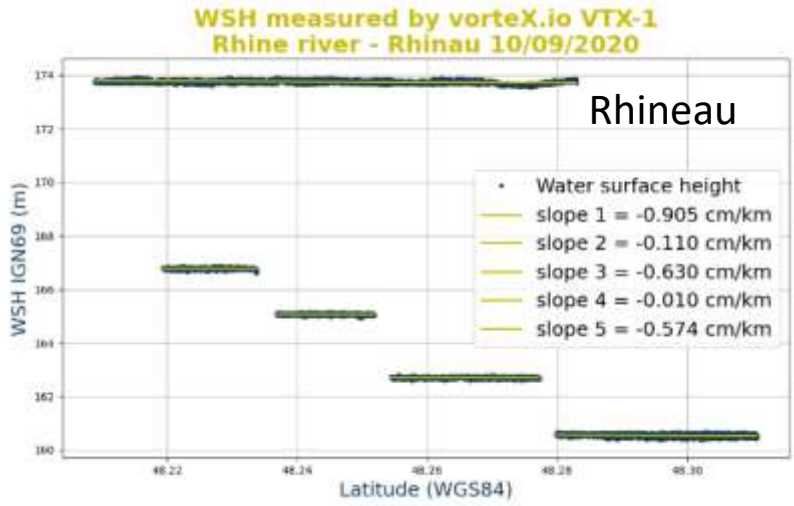
Slope over Rhin river

- Beam 'gt3r' : $p = 32,7 \text{ cm/km}$
- Beam 'gt3l' : $p = 31,2 \text{ cm/km}$

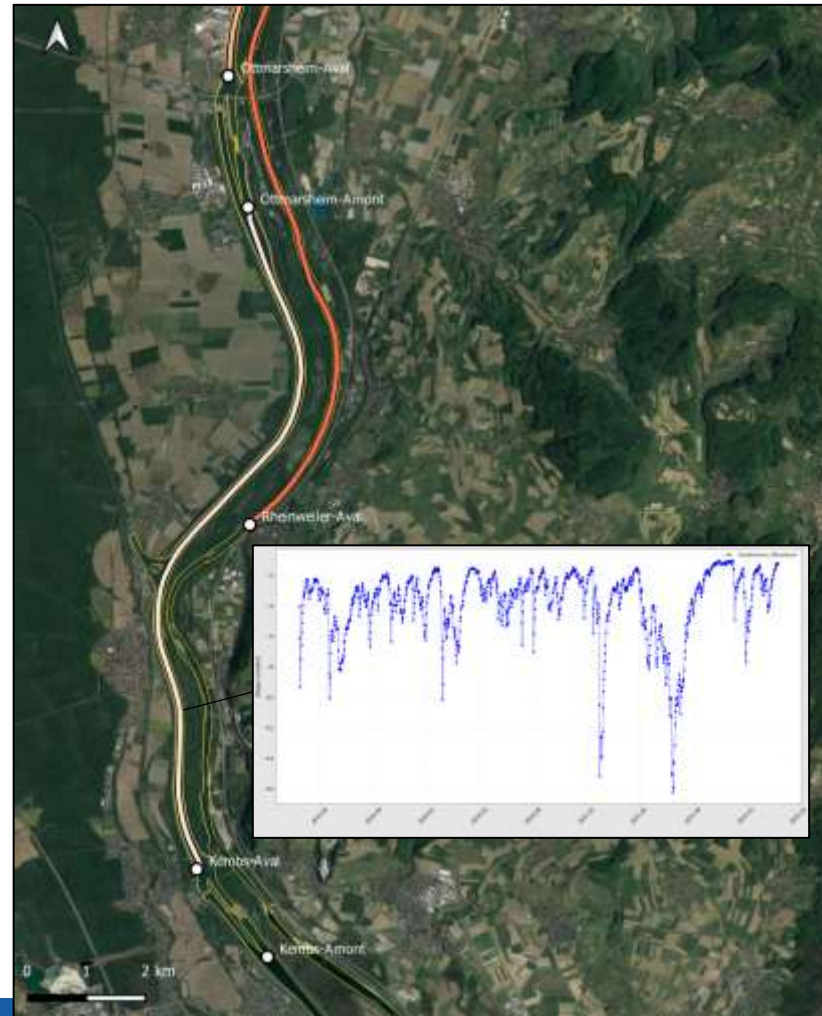


Slope derived from elevation data

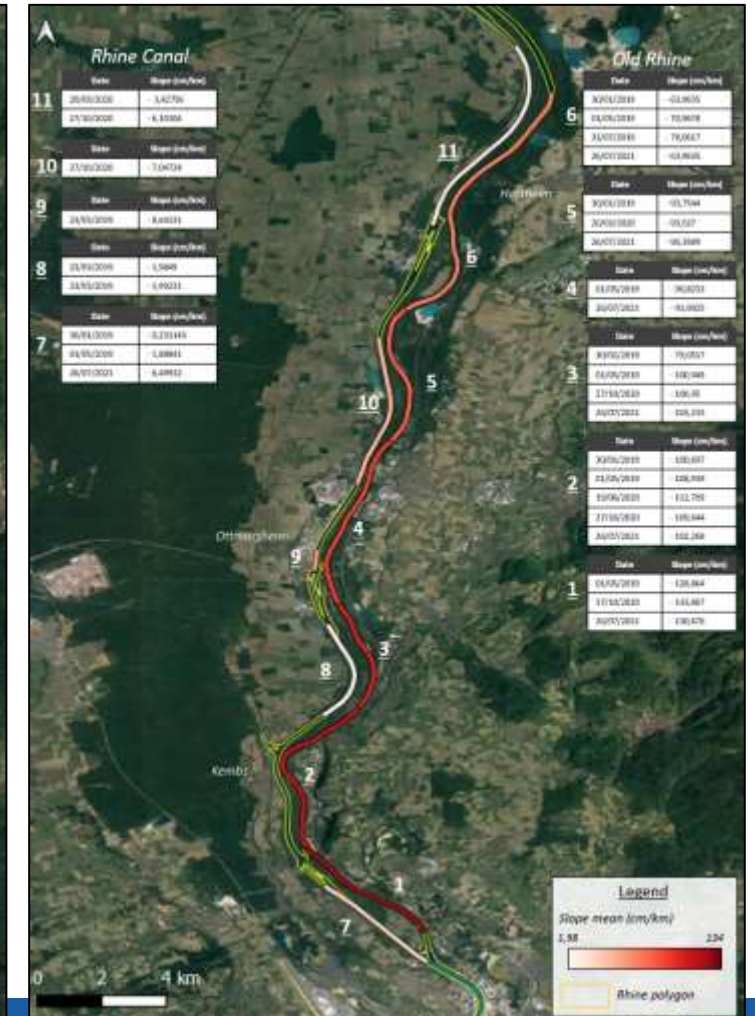
Drone Slope



Station Slope



ICESat-2 Slope

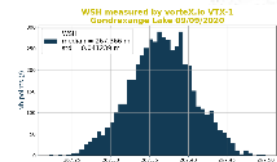
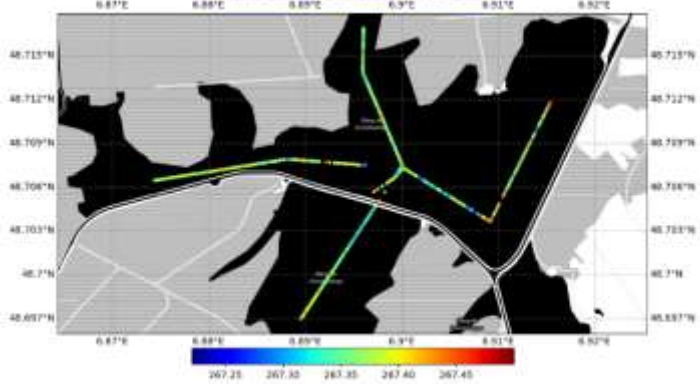


Lakes monitored parameters: Elevation

Drone measurements



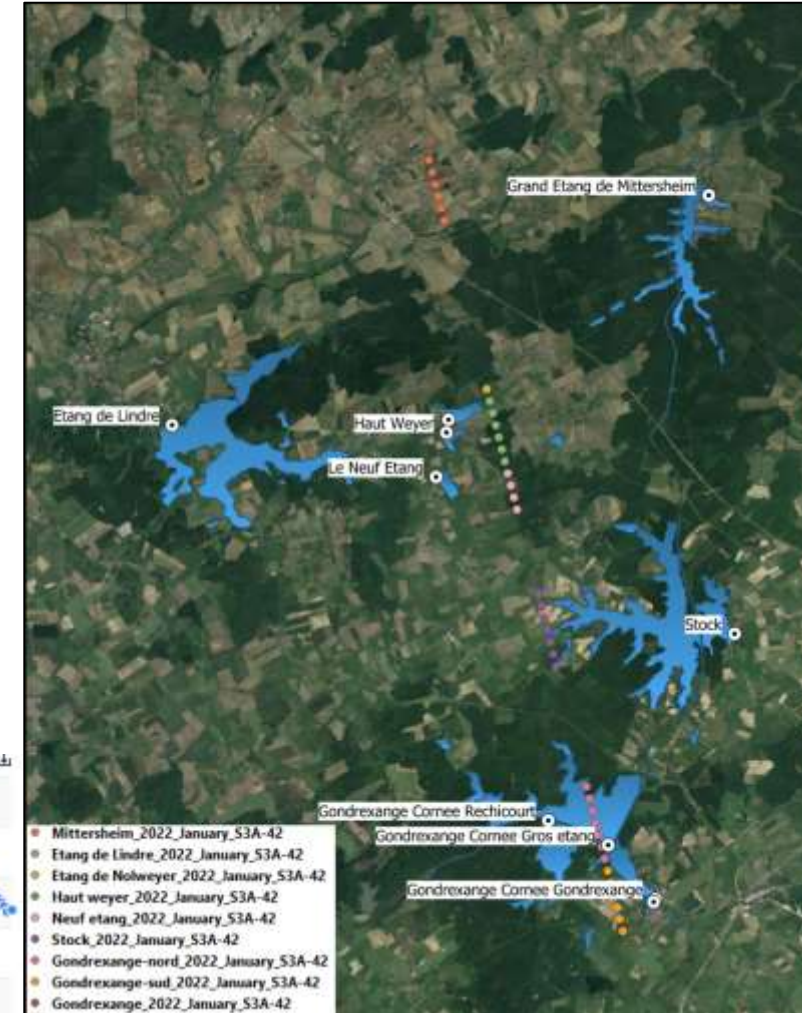
WSH measured by vortex.io VTX-1
Gondrexange Lake 09/09/2020



ICESat 2 measurements

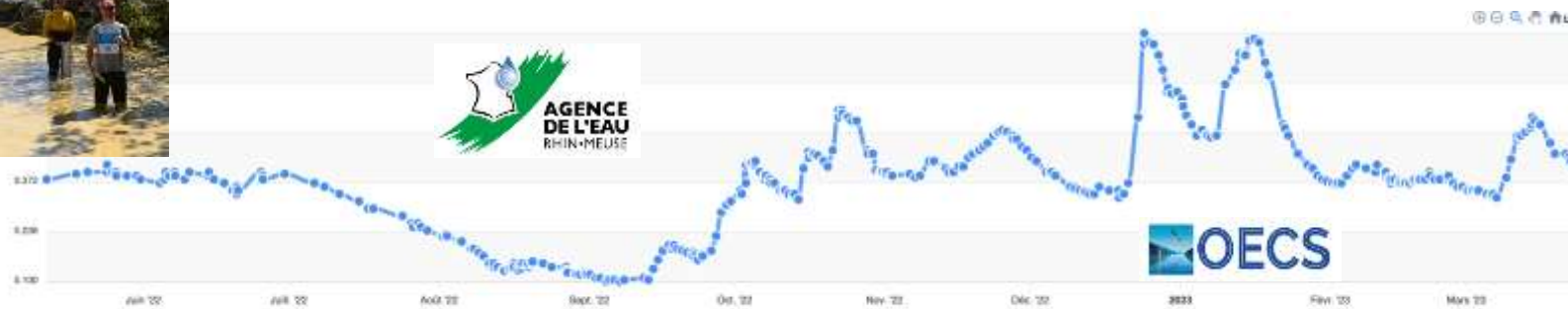


Sentinel-3 measurements



Citizen science network (OECS)

<https://map.oecsmap.org>



H. Yésou
 J. Maxant
 Th. Ledauphin
 S. Amzil
 M. Azzoni
 M. Studer
 Al. Careto

Visiting Prof: W. TANG
 PFE: Cheik SOW

