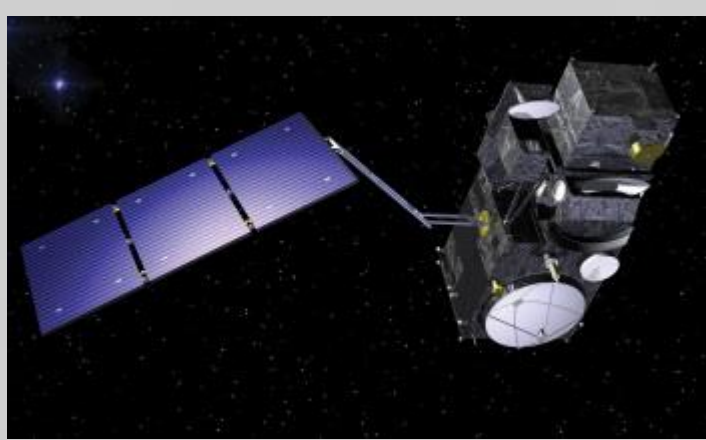


Suivi des Variations du Stock des Lacs par Altimétrie et Imagerie Satellites : Exemple du Lac de Montbel (Ariège)



F. Mercier, C. Fatras, S. Amraoui, J.P. Luc (CLS)



Contexte

La quantité d'eau stockée dans un lac reflète à la fois les conditions atmosphériques (précipitations, évaporation-énergie) et hydrologiques (recharge des eaux de surface, évacuation et eaux souterraines, lâcher d'eau pour les réservoirs). Toutefois, la connaissance de la variabilité du stockage d'eau dans les lacs est encore mal caractérisée et dépend des échelles spatiales et des régions climatiques.

Les niveaux d'eau et les superficies des lacs captent les changements du contenu en eau d'un lac/réservoir. Pourtant, le volume d'eau d'un lac/réservoir ne varie pas toujours strictement proportionnellement ni à sa hauteur d'eau ni à sa surface. L'estimation précise des changements de volume d'eau n'est donc pas immédiate et nécessite une étude approfondie pour éviter toute sur/sous-estimation indépendamment de l'état du lac/réservoir.

Les développements récents des techniques de télédétection spatiale et notamment l'accès à de fréquentes images haute résolution gratuites, via le **programme européen Copernicus, permettent de surveiller les changements spatio-temporels à long terme de l'étendue et du niveau des lacs**. Il en est de même pour l'altimétrie satellitaire, qui, depuis une dizaine d'années a vu à la fois se développer des technologies plus précises (altimétrie SAR-Doppler) et mieux adaptées aux cibles de l'hydrologie continentale et le nombre de satellites croître significativement, là encore via le programme Copernicus. Dans le même temps, la connaissance de la topographie de la Terre s'améliore également avec la publication récente de DEM (Digital Elevation Model) de haute précision permettant une meilleure estimation de la géométrie tridimensionnelle autour du bassin lacustre.

Le but de cette étude est de tirer parti de tous ces jeux de données récents pour évaluer les besoins, la précision et l'état des connaissances sur les réservoirs et les changements de stockage des lacs (ou LSC pour Lake Storage Change) à partir des données de télédétection, afin de produire de longues séries temporelles de LSC.

Le lac de Montbel (Ariège)

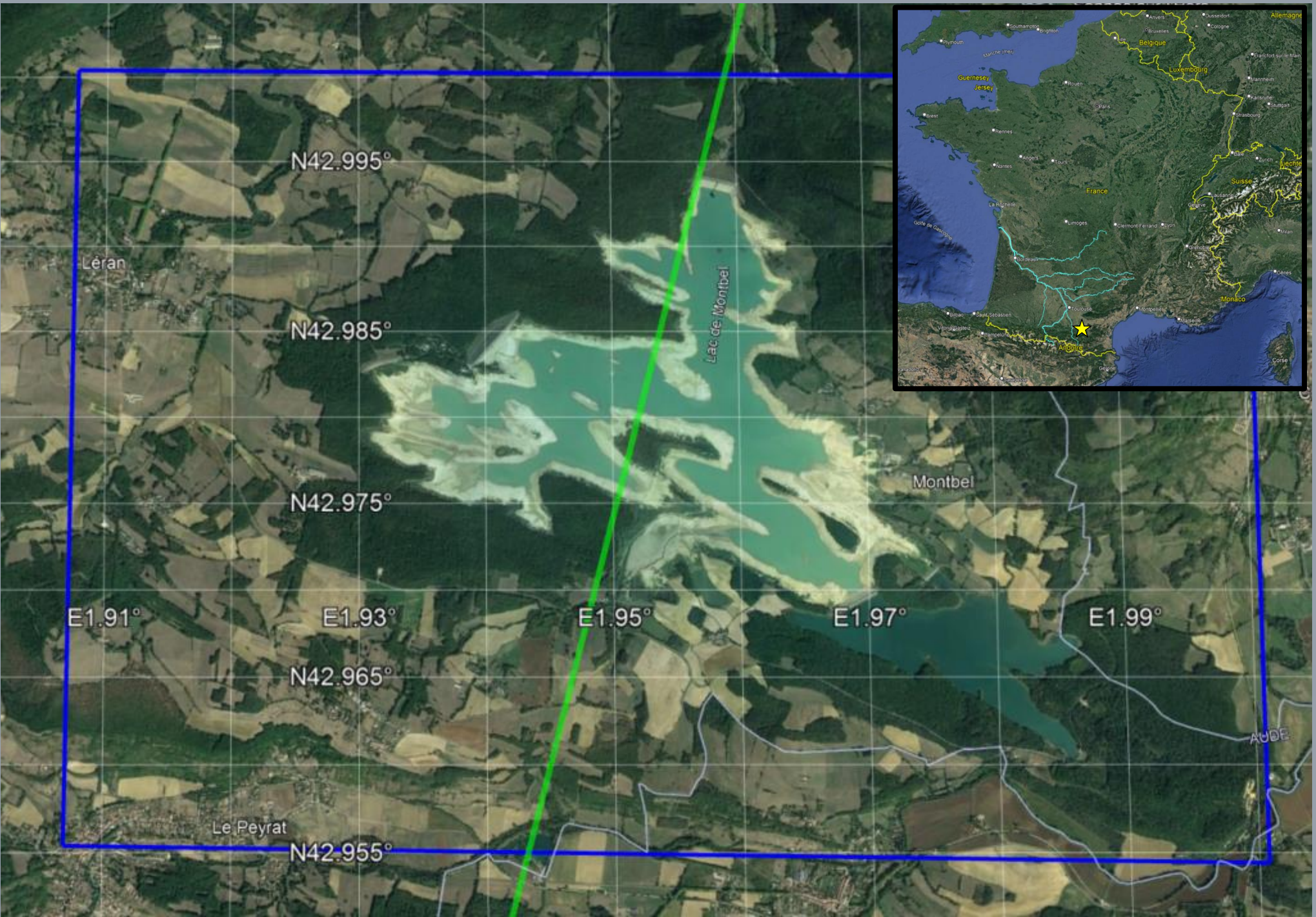
Le lac artificiel de Montbel a été mis en eau en 1985 et sert à l'irrigation du Lauragais et de la plaine d'Ariège (environ 28000 ha) ainsi qu'au soutien des débits estivaux et automnaux de l'Hers-Vif et au-delà, de l'Ariège et de la Garonne.

Superficie plan d'eau: 550 ha
Capacité: 60 millions m³

A noter la présence (extrémité sud-est) d'un plan d'eau à niveau constant séparé du plan d'eau principal.

Après une forte sécheresse estivale en 2022, les précipitations automnales et hivernales, nettement en deçà des normales, impactent fortement le taux de remplissage estimé à 21 % au 31/01/2023.

En vert: position de la trace altimétrique de Sentinel-3B.



Imagerie Satellites → surface plan d'eau

Les satellites Sentinel-2A (2015) et Sentinel-2B (2017) du programme européen Copernicus permettent l'observation long-terme dans le domaine optique des surfaces terrestres avec une revisite d'environ 5 jours et une résolution de 10 à 20m. Les images sont libres d'accès.

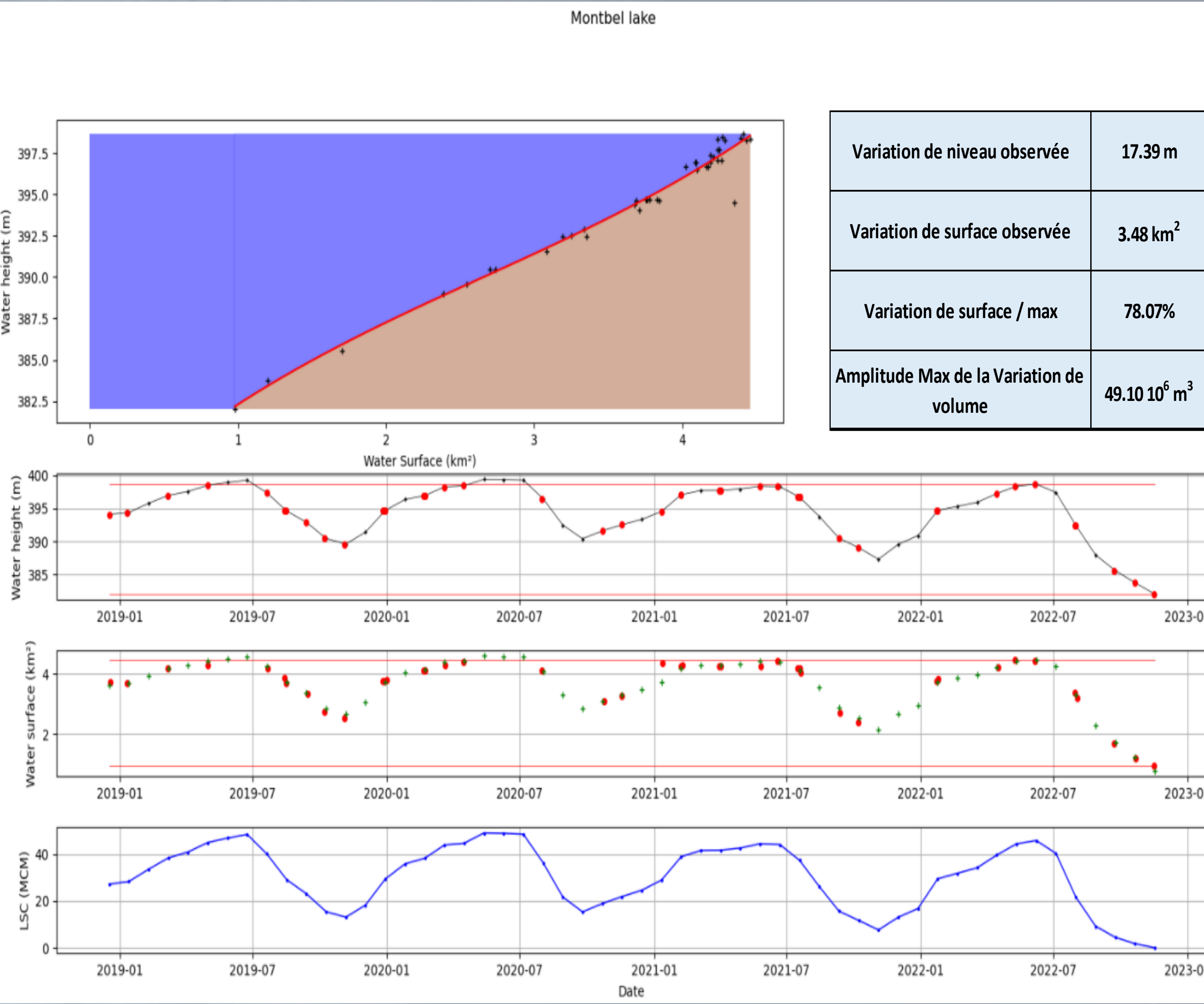
Les images Sentinel-2 sont récupérées à un intervalle temporel inférieur à trois jours par rapport à la date de la mesure de hauteur du niveau du lac par altimétrie spatiale. Les données optiques sont ensuite traitées par un algorithme qui utilise plusieurs indices optiques dérivés des mesures issues de Sentinel-2 pour en extraire les surfaces en eau.

Au total, 42 images Sentinel-2 ont été analysées pour cette étude. Ci-dessous, visualisation du plan d'eau du lac de Montbel en janvier 2022, juin 2022 et janvier 2023. On notera particulièrement la faible étendue du plan d'eau en janvier 2023 comparée à une date équivalente un an plus tôt.



Résultats

Malgré ses dimensions restreintes, les variations de niveau et de surface du lac de Montbel ont pu être suivies avec une bonne précision sur la période 2019-2022. La sécheresse survenue en 2022 a permis de valider notre méthodologie dans les conditions extrêmes de variation des paramètres du lac. Sur la période étudiée, l'amplitude maximale de variation de volume est d'environ 49,1 millions de m³, soit 81,15% de la capacité totale du lac.

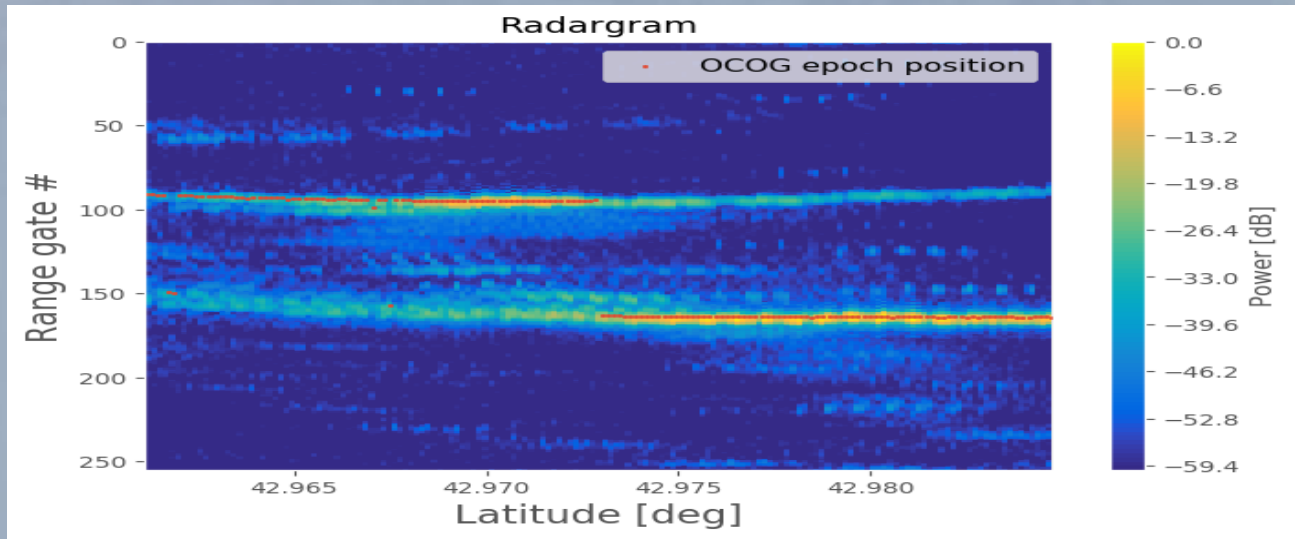


Altimétrie Spatiale → niveaux d'eau

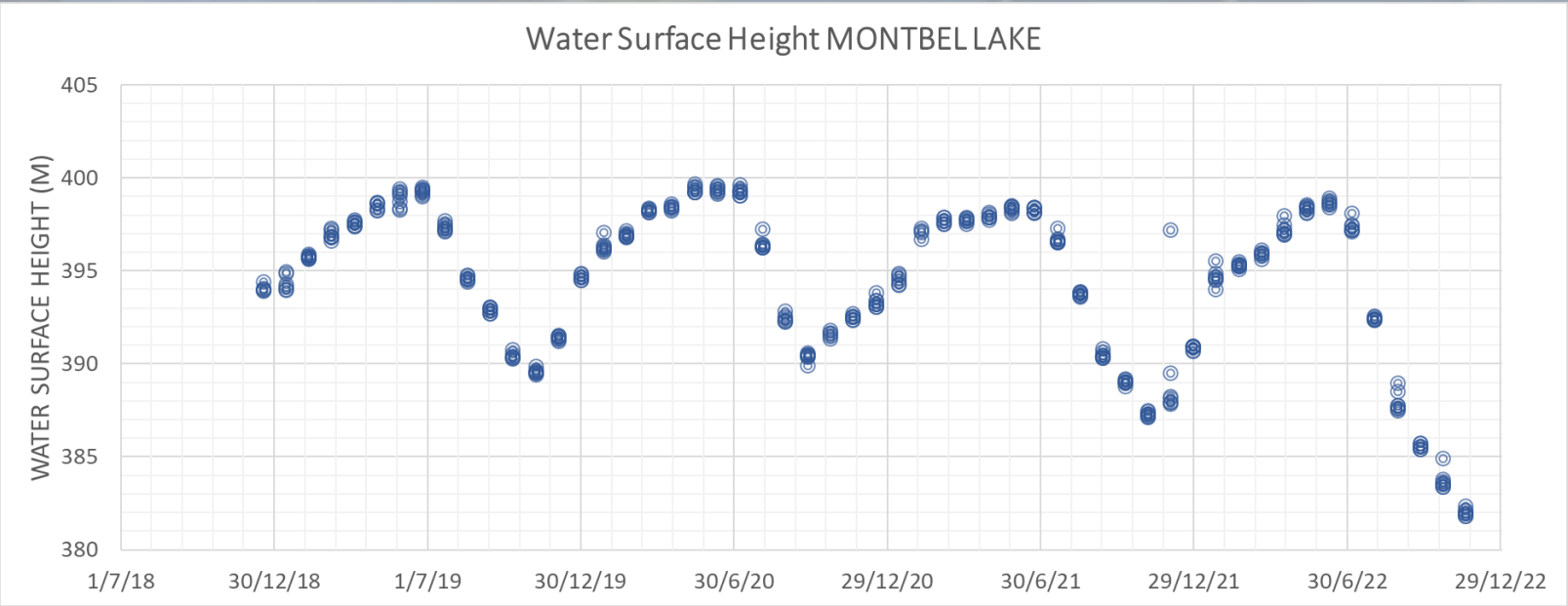
Initialement conçue et optimisée pour mesurer les variations fines de la surface de l'océan, la technique d'altimétrie spatiale a rapidement montré des résultats pertinents sur les eaux continentales. Les altimètres les plus récents (altimètres SAR-DOPPLER) sont maintenant conçus de manière à mesurer aussi le plus précisément possibles les niveaux des lacs et des rivières. Les limitations initiales, liées à une couverture spatiale, un temps de revisite et une précision de mesure insuffisantes sont donc progressivement en train d'être levées avec la multiplication des satellites et l'amélioration des capteurs.

Le lac de Montbel est survolé par une trace du satellite Sentinel-3B du programme européen Copernicus. Lancé au printemps 2018, son délai de revisite est de 27 jours et les produits standards diffusés par les agences spatiales fournissent généralement une mesure tous les 250m le long de la trace. De manière très schématique, on retiendra que la qualité de telles mesures ne dépend pas uniquement des caractéristiques du plan d'eau (superficie, découpage, agitation de la surface), mais aussi de son environnement proche. En particulier, les reliefs, zones urbanisées et divers autres plans d'eau proche de la cible principale constituent généralement autant de « parasites » dans le processus de la mesure d'altimétrie spatiale.

Toutefois, pour le lac de Montbel, l'environnement du plan d'eau est peu impactant: il a été possible de procéder à un traitement spécifique (« FullyFocused SAR 400Hz ») qui permet d'augmenter le nombre de points de mesures le long de la trace (tous les 15m) et d'améliorer leur précision. Au final les mesures sont généralement d'assez bonne qualité avec une précision moyenne de l'ordre de 10 cm sur le niveau moyen à chaque passage.



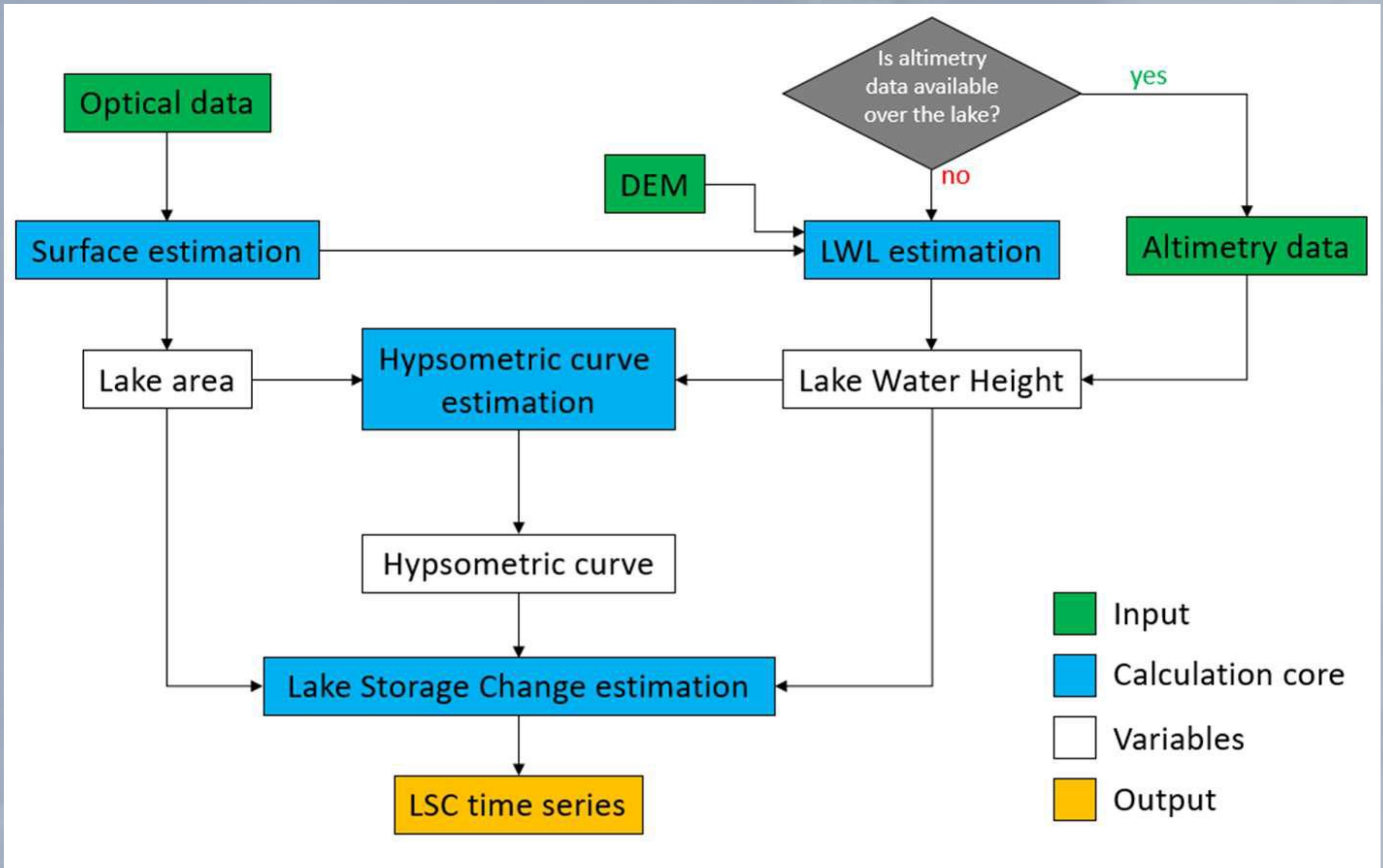
Exemple de radargramme le long de la trace pour le passage du 21/10/2022 (traitement spécifique « Fully Focused SAR 400Hz »). On distingue clairement 2 réflecteurs: à gauche (sud) écho provenant de la surface du plan d'eau à niveau constant et plus bas à droite (nord) celui provenant du plan d'eau principal. (différence de niveau ~ 16m)



Série temporelle de hauteur d'eau sur le lac de Montbel obtenue par altimétrie spatiale (Sentinel-3B)

Méthodologie du calcul de la variation de volume

Les couples hauteur/surface du lac sont formés à partir des observations spatiales d'imagerie et d'altimétrie. De ces multiples couples est dérivée la courbe hypsométrique reliant hauteur et surface du lac. C'est cette courbe qui est au final utilisée par intégration pour estimer la variation de volume en eau (Lake Storage Change-LSC).



Conclusions

La méthodologie développée dans cette étude, basée sur la synergie de diverses techniques de télédétection, a pu être appliquée à plusieurs dizaines de lacs dans le monde réunissant les conditions d'observation suffisantes, notamment leur survol adéquat par des satellites altimétriques. Le lac de Montbel, traité ici sans connaissance in situ, est un exemple très représentatif des cibles à considérer pour étudier plus largement les variations de stock d'eau dans les lacs, de l'échelle d'un bassin versant jusqu'à celle du continent. Notamment, la baisse record du niveau du lac liée à la sécheresse de 2022 a été bien suivie par les observations spatiales et a permis de construire la partie basse de la courbe hypsométrique, que la comparaison avec des mesures in-situ permettraient de valider. Le satellite SWOT, lancé fin 2022, devrait significativement améliorer ce type de résultats.

Colloque SHF
« Sécheresse et Etiages 2022 »
8-9 mars 2023

Contact: Franck MERCIER
fmercier@groupcls.com

