



Parc national
de la Vanoise



Journée scientifique 2024 du Parc national de la Vanoise

Les lacs d'altitude



Florent ARTHAUD

Office Français de la Biodiversité
Cartel – Université Savoie Mont Blanc

Raphaëlle NAPOLEONI

Asters – CEN74

Vincent AUGE

Parc national de la Vanoise

Gestionnaires d'espaces protégés



Val Cenis – 13 novembre 2024



Journée scientifique 2024 du Parc national de la Vanoise

Les lacs d'altitude

Les lacs d'altitude...

1. des écosystèmes particuliers et sensibles
2. Le réseau Lacs Sentinelles et les faits marquants
3. Présentation de quelques résultats

1. Les lacs d'altitude



réseau lacs
sentinelles



Lac : étendue d'eau permanente supérieure à 0.5ha et 3m de profondeur et pas entièrement colonisée par la végétation aquatique (Cemagref, 1985)

→ >600 au dessus de 1800m dans les Alpes françaises

Particularité des lacs d'altitude

Climat

- Froid (gel journalier, saisonnier, annuel)
- Neige
- Orages



réseau lacs sentinelles

Surface et profondeur limitées (Blanc du Carro 6m, Merlet supérieur 27m)

Bassin versants

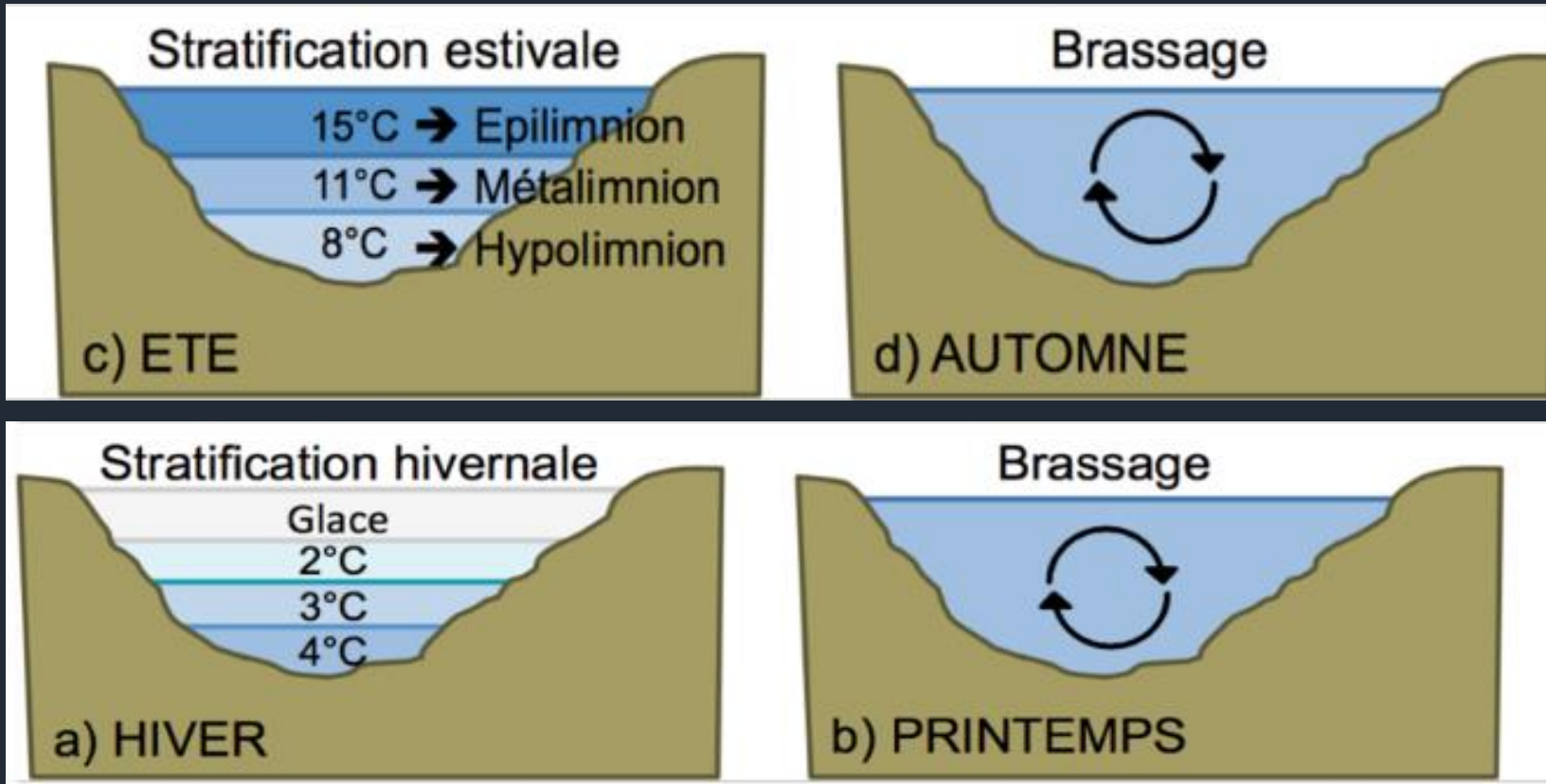
- Pente
 - Surfaces minérales
 - Torrents
 - Glaciers / permafrost
- Forte dynamique géomorphologique (érosion, transfert, dépôts)
- Activités humaines...

3465m

3169m

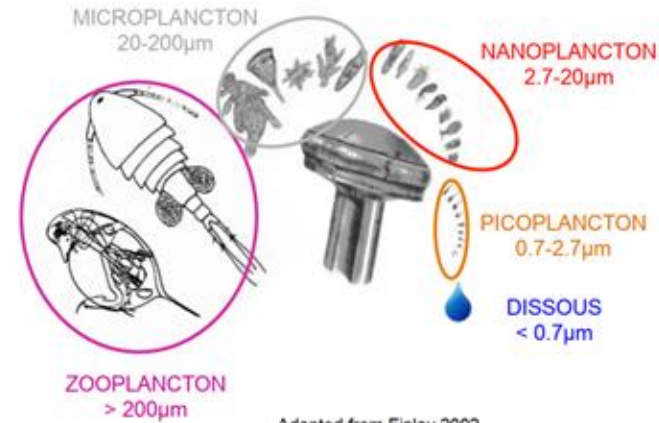
2102m

Particularité des lacs d'altitude : fonctionnement physique



- Englacement >6mois par an
- Lacs mono/di/poly-mictiques (nb de brassage)
- Oxygénation variable du lac dans le temps
- Variation de la luminosité (zone euphotique où photosynthèse est possible) dans le temps (glace, turbidité avec sédiments) + fort rayonnement solaire

- Condition de vie *extrême* (pour organismes adaptés)
- Milieux pauvres en nutriments ((ultra)oligotrophes)



Principales communautés

Producteurs: macrophytes, phytoplancton

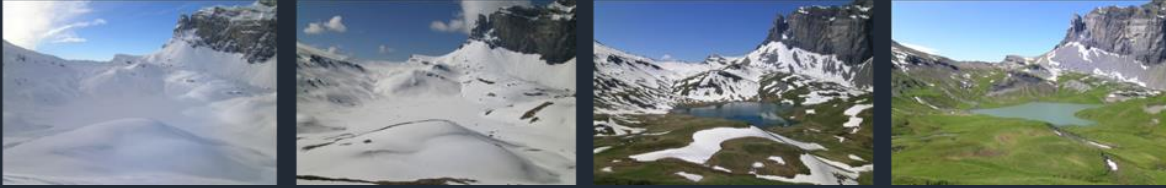
Consommateurs: zooplancton, macro-invertébrés (insectes, crustacés, etc.), amphibiens

Décomposeurs: bactéries

(naturellement sans poissons)

→ Réseau trophique (chaîne alimentaire) *simple* mais fragile

1. Les lacs d'altitude, des écosystèmes particuliers et sensibles



Réchauffement global

Température moyenne 1985-2009

Air: **+0.25°C** / décennie
Océan: **+0.12°C** / décennie

Lacs (env. 130): **+0.34°C** / décennie
Lacs avec englacmt saisonnier : **+0.48°C** / décennie

Période sans glace plus longue et t° plus chaude,
moins de neige dans le BV, etc.

→ **forte sensibilité des lacs d'altitude aux évolutions climatiques**

Fonte des glaciers, dégradation du permafrost
→ **apports solides et liquides dans les lacs**

AGU PUBLICATIONS

Geophysical Research Letters

RESEARCH LETTER Rapid and highly variable warming of lake surface waters around the globe

10.1002/2015GL066235

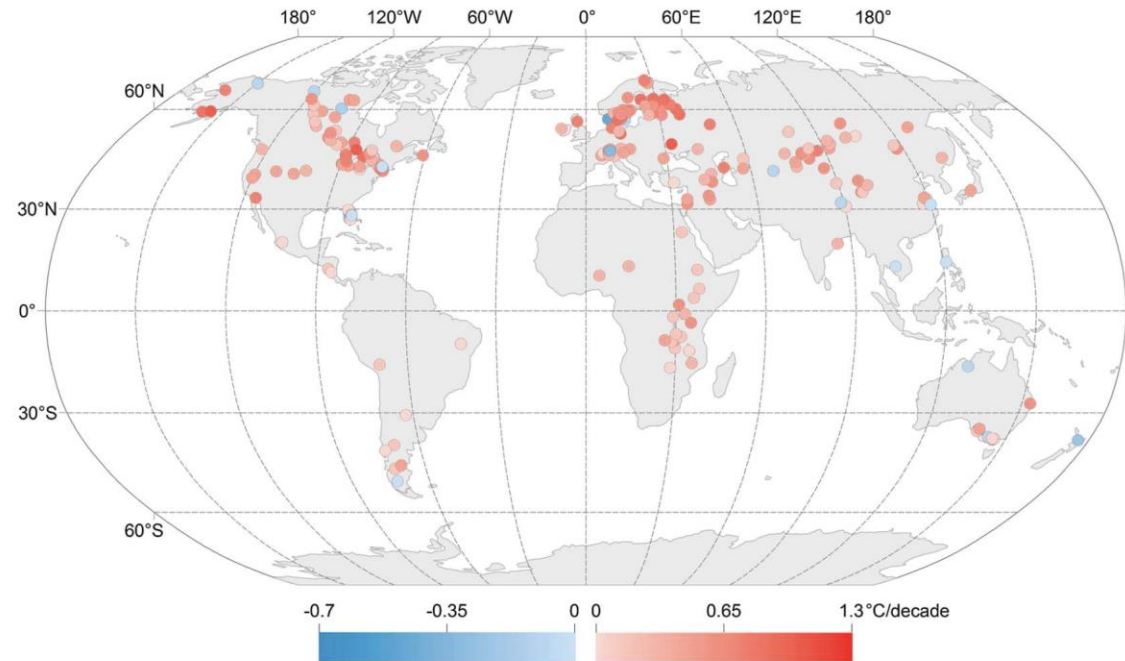


Figure 1. Map of trends in lake summer surface temperatures from 1985 to 2009. Most lakes are warming, and there is large spatial heterogeneity in lake trends. Note that the magnitudes of cooling and warming are not the same.



réseau lacs
sentinelles

Forte valeur environnementale (eau, biodiversité, etc.), d'archive (matière accumulée), socio-économique et culturelle (pastoralisme, tourisme, pêche, hydroélectricité, etc.)

Les lacs d'altitude, des écosystèmes particuliers **et sensibles**

→ **volonté des espaces protégés de mieux connaître et protéger ces écosystèmes alpins emblématiques et importants, sentinelles des changements globaux**

3. Le Réseau Lacs Sentinelles

- **1976-1990 : 1ères études en Vanoise**
- 1990s-2000s : suivis, études hétérogènes
- 2009 : programme alpin *Ressources en eau dans les aires protégées*
- 2010 : début des rencontres annuelles autour des lacs d'altitude
- **2012 : lancement de la thèse de B. Loheac (FDPPMA Savoie)**
- **2012 : Création du réseau Lacs Sentinelles** (Groupement d'intérêt scientifique en 2013)
- 2015-2017 : Programme européen POIA → structuration protocole commun sur 20 lacs
- Depuis 2018 : *Sentinelles des Alpes* et soutien renforcé de l'Agence Française pour la Biodiversité
- PITEM Biodiv'Alp et stratégie OFB → élargissement en cours
Corse, lien avec les Pyrénées, les Alpes italiennes

3. Le Réseau Lacs Sentinelles

MISSIONS



réseau lacs
sentinelles



- Améliorer **les connaissances** sur le fonctionnement des lacs d'altitude

*Observatoire : suivi
des évolutions*

*Paramètres physico-
chimiques*

*Paramètres
biologiques*

- Identifier **les menaces** qui pèsent sur ces lacs, notamment celles liées aux changements globaux

*Changement
climatique*

*Les pollutions
atmosphériques*

*Gestion locale du
bassin versant*

- Définir **les actions de gestion** à engager sur ces milieux afin de mieux les préserver

Historique :

Démarrage en 2009 suite au Programme européen BioAqua

2010-2014: Développement et recrutement

2015-2018: Structuration – consolidation du protocole

Gestionnaires d'espaces protégés



Organismes de recherche



Usagers



Partenaires financiers



Réseau organisé par un Groupement d'Intérêt Scientifique - GIS

Développer la connaissance avec des **recherches inter-disciplinaires**

Coordonner, donner de la cohérence et de la **visibilité** aux études Promouvoir **les échanges** entre partenaires

Traduire la connaissance en **outils de gestion**

Communiquer, sensibiliser sur ces écosystèmes fragiles

14 membres

Dont 7 gestionnaires de lac et 7 laboratoires de recherches

Conseil scientifique

Conseil de groupement

Co-animation

par le Asters-CEN74 et l'OFB

- Financement : OFB – EDF , Cotisations des membres, AAP, projets européens

Nouveautés récentes :

- Entrée de la Corse (retour!) en 2023
- Lien avec le GIS Lacs des Pyrénées (créé en 2023)



Action 1. création de l'observatoire des lacs d'altitude

30 lacs suivis chaque année avec un protocole standardisé

Suivi des lacs réalisé par les gestionnaires en lien avec les scientifiques

En Vanoise...



Lac de l'Arpont



Lac blanc du Carro



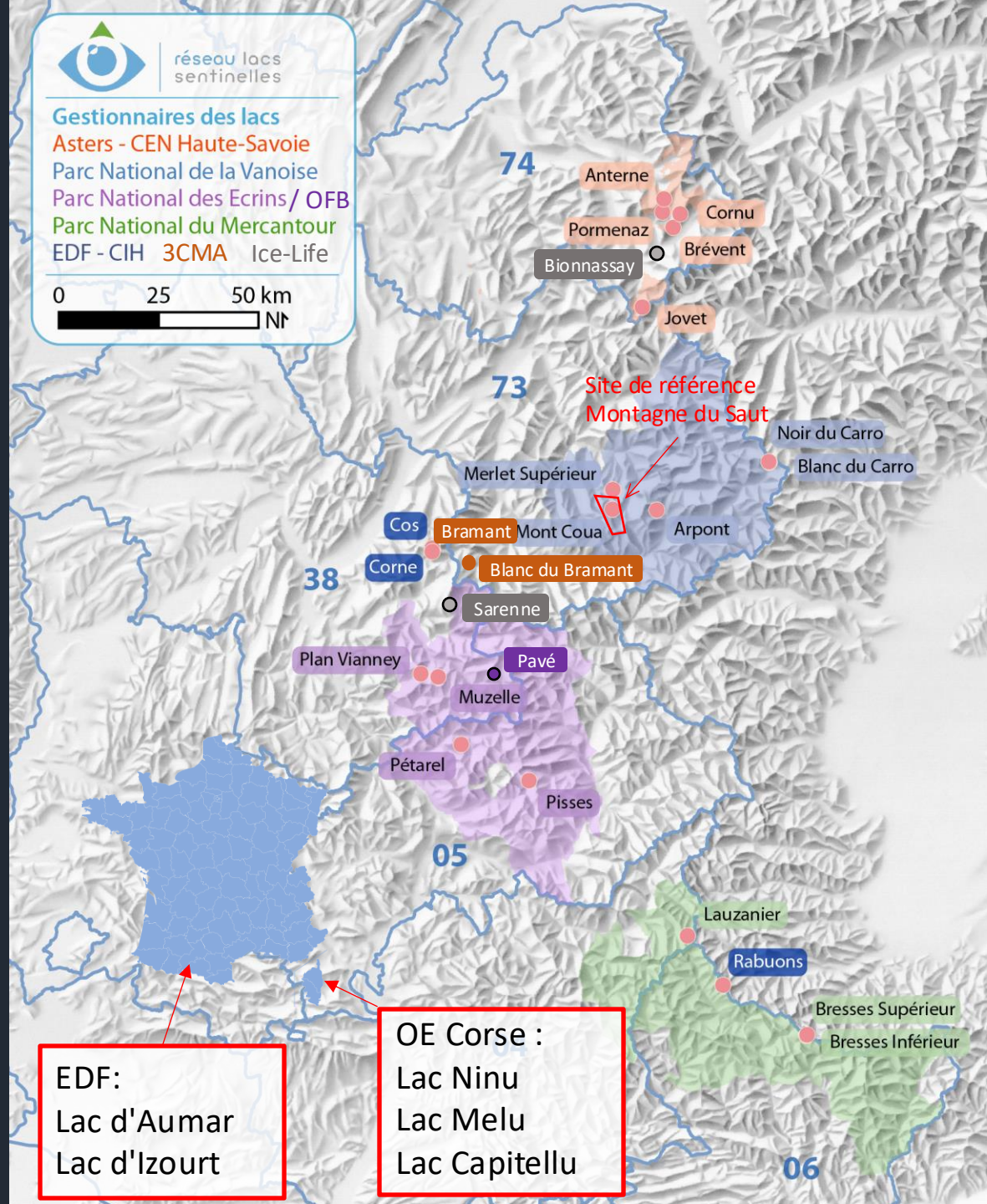
Lac noir du Carro



Lac Merlet supérieur



Lac Mont Coua



Action 1. création de l'observatoire des lacs d'altitude

Protocole standardisé de suivi

Une campagne annuelle de mesures et prélèvements :



Des capteurs placés à l'année dans les lacs



Pour plus d'info : <https://www.lacs-sentinelles.org/fr/les-protocoles>

Regarder le film sur le protocole Lacs sentinelles : https://www.youtube.com/watch?v=a3AD_QNgfWg

Protocole standardisé



Action 1. création de l'observatoire des lacs d'altitude

Protocole standardisé

Base de données

Mise en forme des résultats



Administration des données

Arborescence des données

Projet	Localisation	Thématique	Type de données
...	...	condition générale	Condition prélevement

Liste des jeux de données associés à votre sélection

Identifiant du jeu de données	Début de période	Fin de période	Nombre de mesures	Date de publication
AL-20150101-01	27/05/2015 à 31/05/2015	devis labellé	1	27/05/2015 à 11:17
AL-20150101-02	27/05/2015 à 31/05/2015	devis labellé	1	27/05/2015 à 11:17
AL-20150101-03	27/05/2015 à 31/05/2015	devis labellé	1	27/05/2015 à 11:17
AL-20150101-04	27/05/2015 à 31/05/2015	devis labellé	1	27/05/2015 à 11:17
AL-20150101-05	27/05/2015 à 31/05/2015	devis labellé	1	27/05/2015 à 11:17
AL-20150101-06	27/05/2015 à 31/05/2015	devis labellé	1	27/05/2015 à 11:17
AL-20150101-07	27/05/2015 à 31/05/2015	devis labellé	1	27/05/2015 à 11:17
AL-20150101-08	27/05/2015 à 31/05/2015	devis labellé	1	27/05/2015 à 11:17
AL-20150101-09	27/05/2015 à 31/05/2015	devis labellé	1	27/05/2015 à 11:17
AL-20150101-10	27/05/2015 à 31/05/2015	devis labellé	1	27/05/2015 à 11:17
AL-20150101-11	27/05/2015 à 31/05/2015	devis labellé	1	27/05/2015 à 11:17
AL-20150101-12	27/05/2015 à 31/05/2015	devis labellé	1	27/05/2015 à 11:17
AL-20150101-13	27/05/2015 à 31/05/2015	devis labellé	1	27/05/2015 à 11:17
AL-20150101-14	27/05/2015 à 31/05/2015	devis labellé	1	27/05/2015 à 11:17
AL-20150101-15	27/05/2015 à 31/05/2015	devis labellé	1	27/05/2015 à 11:17
AL-20150101-16	27/05/2015 à 31/05/2015	devis labellé	1	27/05/2015 à 11:17
AL-20150101-17	27/05/2015 à 31/05/2015	devis labellé	1	27/05/2015 à 11:17
AL-20150101-18	27/05/2015 à 31/05/2015	devis labellé	1	27/05/2015 à 11:17
AL-20150101-19	27/05/2015 à 31/05/2015	devis labellé	1	27/05/2015 à 11:17
AL-20150101-20	27/05/2015 à 31/05/2015	devis labellé	1	27/05/2015 à 11:17

30 lacs
75 350 jours de données !
=> 1 fiche par lac chaque année sur les données récoltées

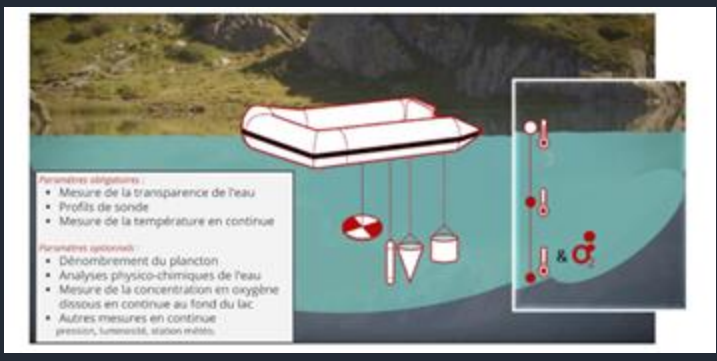
Evolution des températures

Delta de température

température à 2 m
température à 6 m
température au fond

Régime thermique du lac

Année	Date de prise en glace	Date de déprise en glace	Date Tsurf = 10°C	Durée de la stratification (jours)	Tsurface maximale (°C)
2005	13 novembre 2004	13 juin 2005	03 juillet 2005	232	NA
2006	22 novembre 2005	27 juin 2006	20 juillet 2006	218	NA
2007	07 novembre 2006	14 juin 2007	07 juillet 2007	219	14.15
2008	18 novembre 2007	18 juin 2008	01 août 2008	232	12.58
2009	31 octobre 2008	23 juin 2009	19 juillet 2009	205	13.93



Site internet :
Pour les méta-données

www.lacs-sentinelles.org

→ Accès public aux protocoles, données et synthèses

Action 1. création de l'observatoire des lacs d'altitude

Premiers résultats

Température à différentes profondeurs

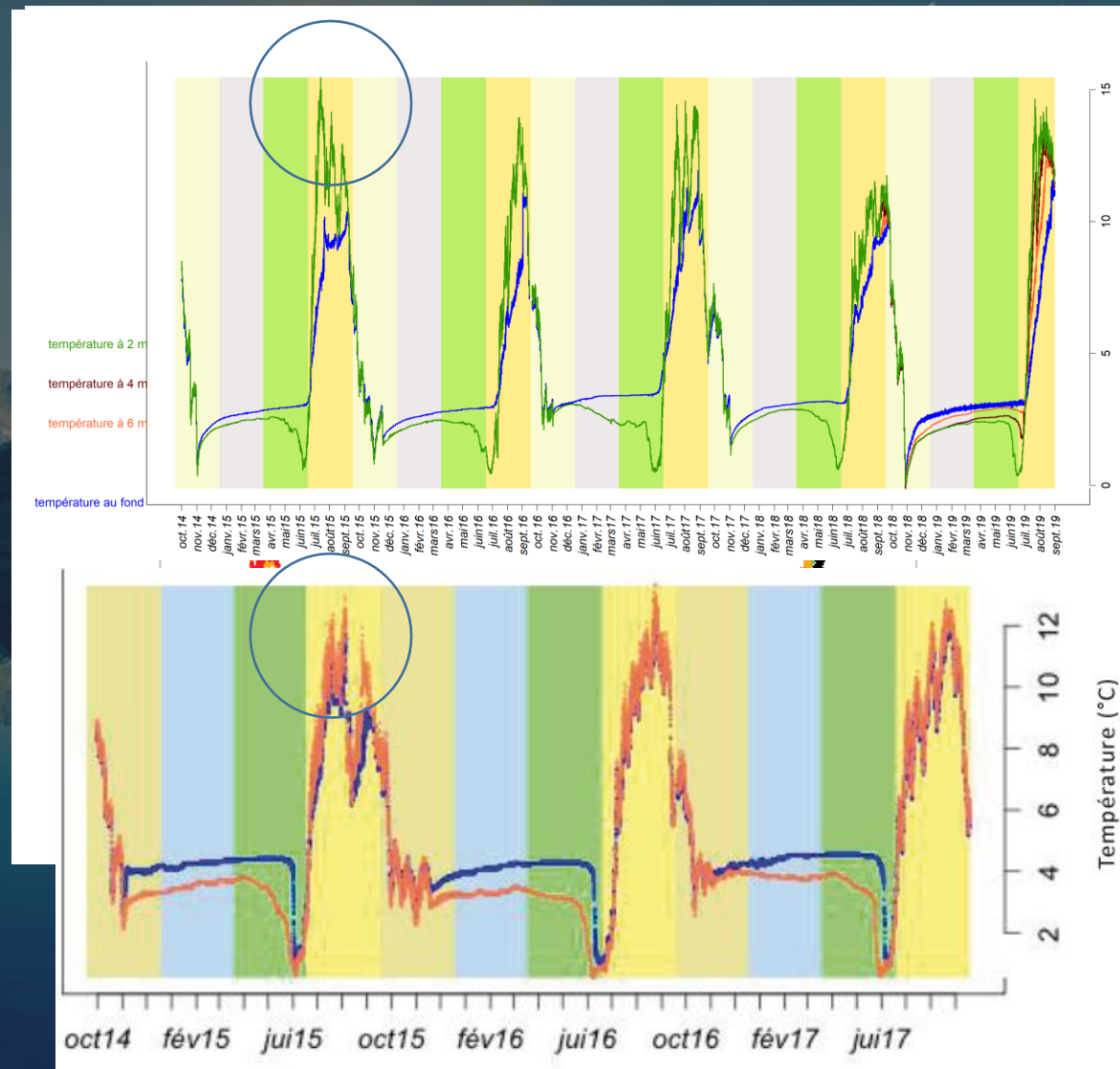
- Fond avec plus forte inertie vs. Surface évolution rapide (0-14°C)
- Englacement / Stratification inversée 6-8 mois
- Deux brassages par an en automne et printemps

Surface et fond (moins marqué): effet de la canicule de 2015 (la 3^{ème} plus marquée dans les Alpes depuis 1870) :

- +1 à 3°C en surface

Lac Blanc du Carro (2754m)

- Effet inverse de la canicule de 2015 (sur-refroidissement avec l'augmentation de l'eau de fonte glaciaire dans le lac), mais + 4°C en 2022 (disparition du glacier)



Action 1. création de l'observatoire des lacs d'altitude

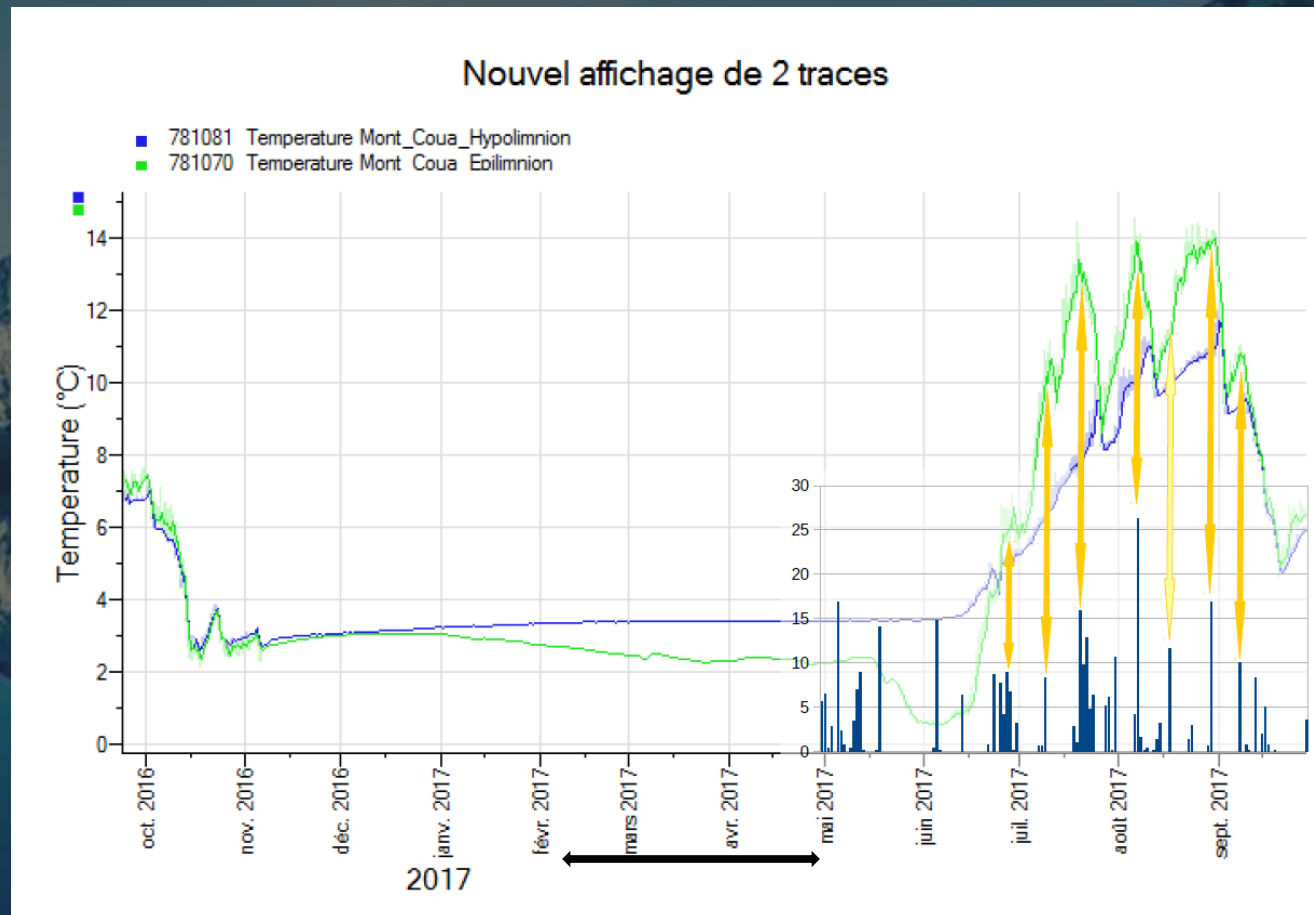
Premiers résultats

Température à différentes profondeurs

Effet de la météo

Gros épisodes pluvieux estivaux

→ effets notables sur la température de surface voire du fond (brassage), les matières en suspension



Action 1. création de l'observatoire des lacs d'altitude

Premiers résultats

Température à différentes profondeurs

Effet de la météo

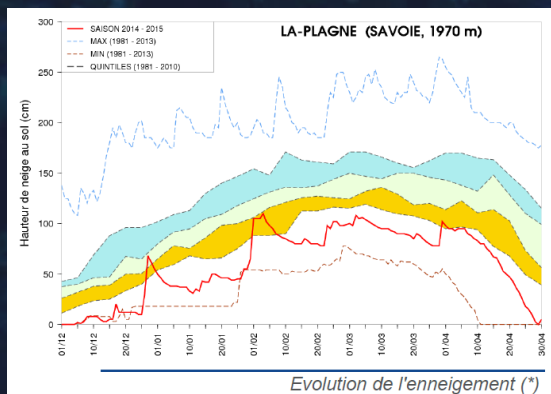
Gros épisodes pluvieux estivaux

→ effets notables sur la température de surface voire du fond (brassage), les matières en suspension

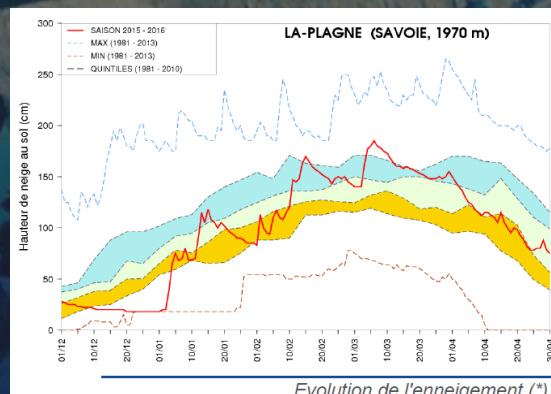
Quantité de neige en hiver & températures de l'air au printemps :

→ décalage de la débâcle d'un mois

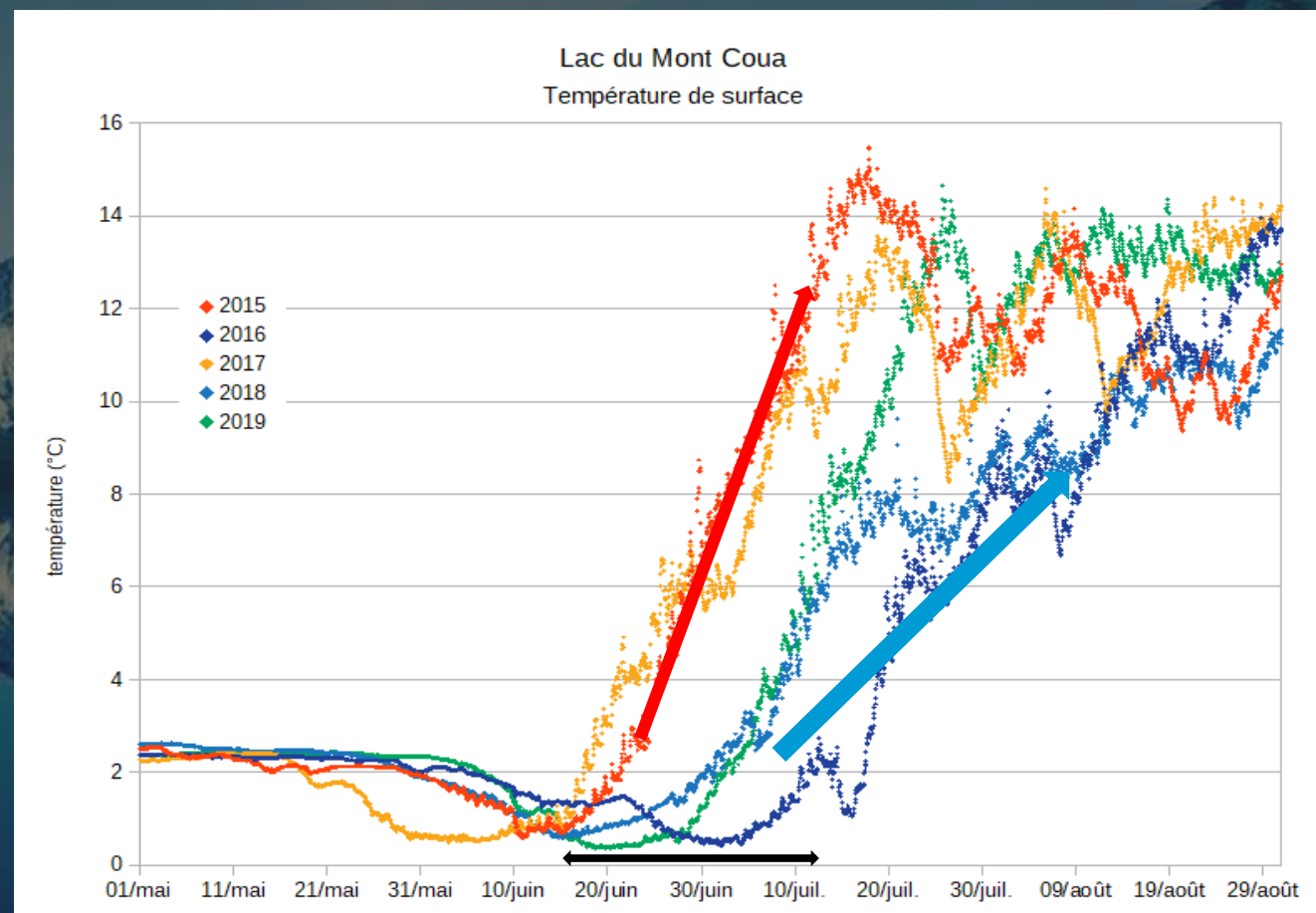
→ vitesse de réchauffement des eaux +/- rapide



2015



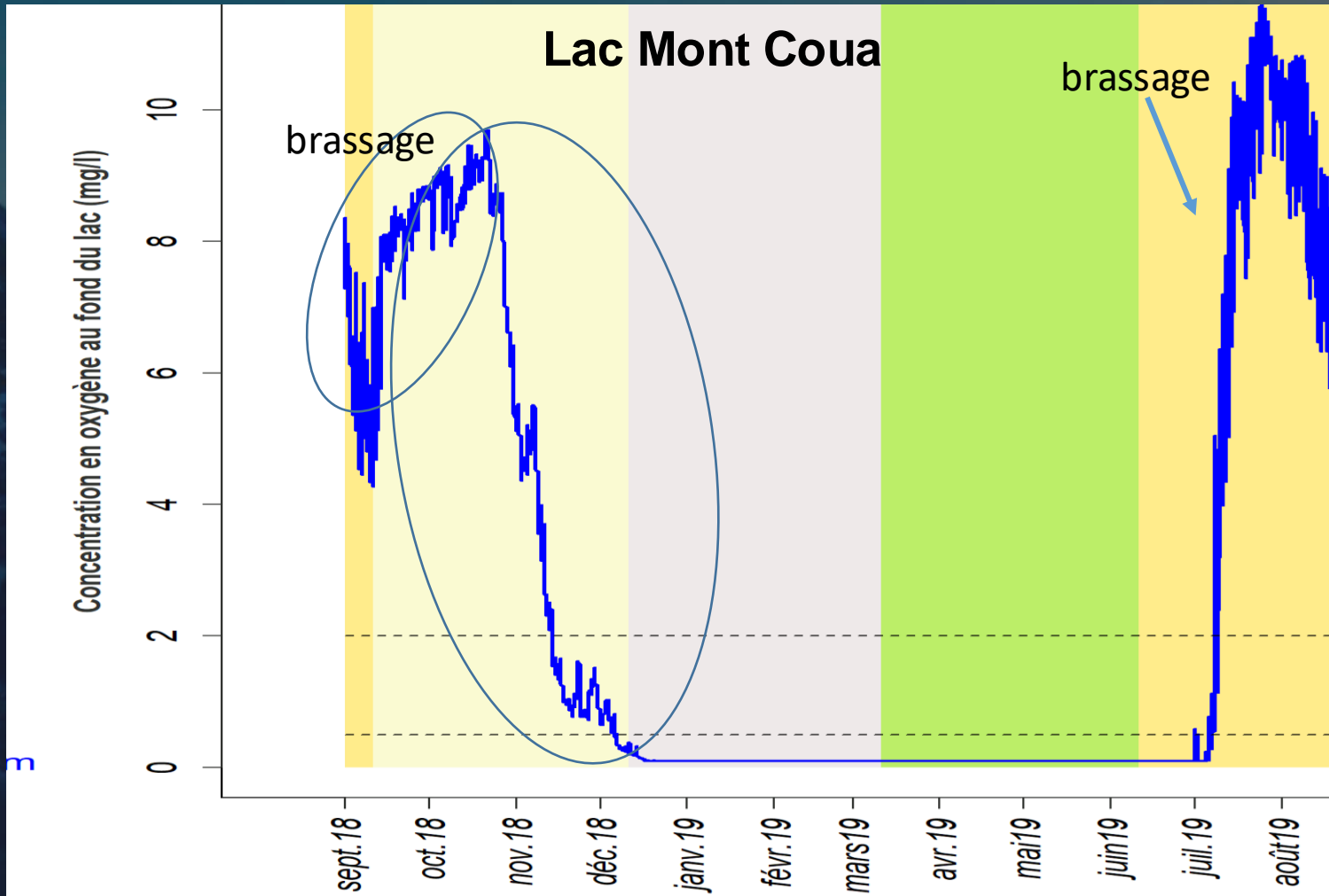
2016



Action 1. création de l'observatoire des lacs d'altitude

Premiers résultats

O₂ au fond du lac au cours de l'année



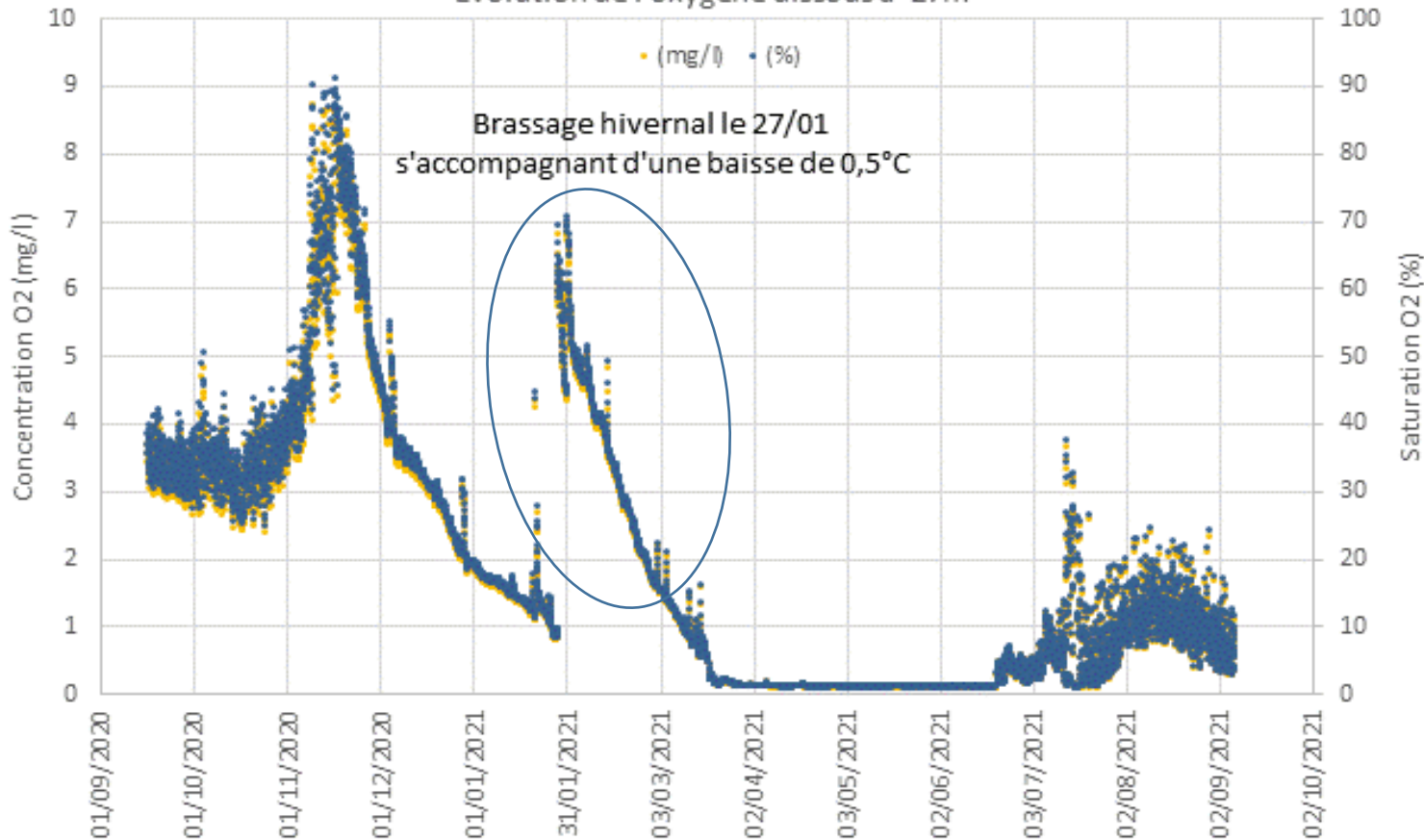
- Brassage automnal = réoxygénation du fond puis diminution de cet oxygène avec sa consommation (plancton, bactéries?)
- Parfois absence d'oxygène plusieurs mois
- Brassage estival

Action 1. création de l'observatoire des lacs d'altitude

Premiers résultats

O₂ au fond du lac au cours de l'année

Lac Merlet supérieur
Evolution de l'oxygène dissous à -27m



→ Brassage automnal =
réoxygénation du fond puis
diminution de cet oxygène avec sa
consommation (plancton,
bactéries?)

→ Parfois absence d'oxygène
plusieurs mois

→ Brassage estival

→ “accident” de réoxygénation fin
janvier 2021!

→ avalanche

Action 1. création de l'observatoire des lacs d'altitude

Faits marquants

Des changements importants durant les premières années de suivi
→ arrêt de l'influence glaciaire pour les 2 lacs blancs



réseau lacs
sentinelles



→ Transparence= 0,5 m avant 2016
Couleur laiteuse



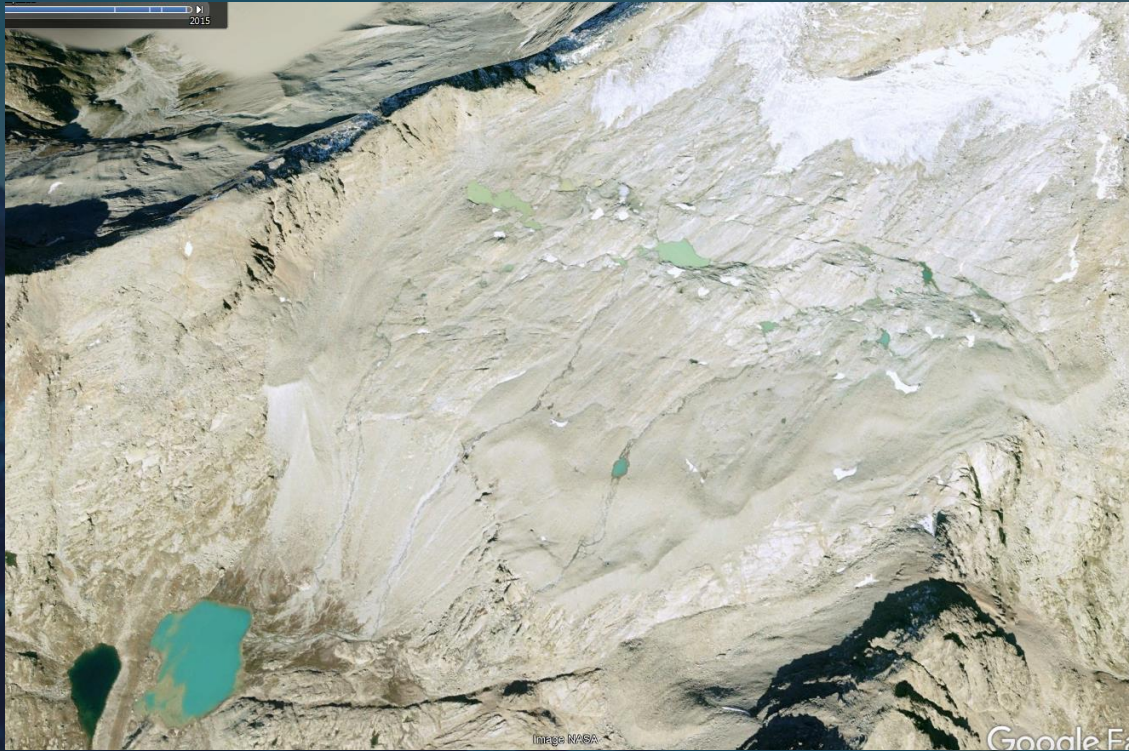
→ Transparence= 5 à 6 m depuis 2017
Couleur turquoise

Lac blanc du Carro

Action 1. création de l'observatoire des lacs d'altitude

Faits marquants

Des changements importants durant les 5 premières années de suivi
-> arrêt de l'influence glaciaire pour les 2 lacs blancs



→ 2006
Couleur laiteuse



→ 2012 / 2015
Couleur turquoise

Lac blanc du Carro

Action 1. création de l'observatoire des lacs d'altitude

Faits marquants

Des changements importants durant les 5 premières années de suivi

-> arrêt de l'influence glaciaire pour les 2 lacs blancs

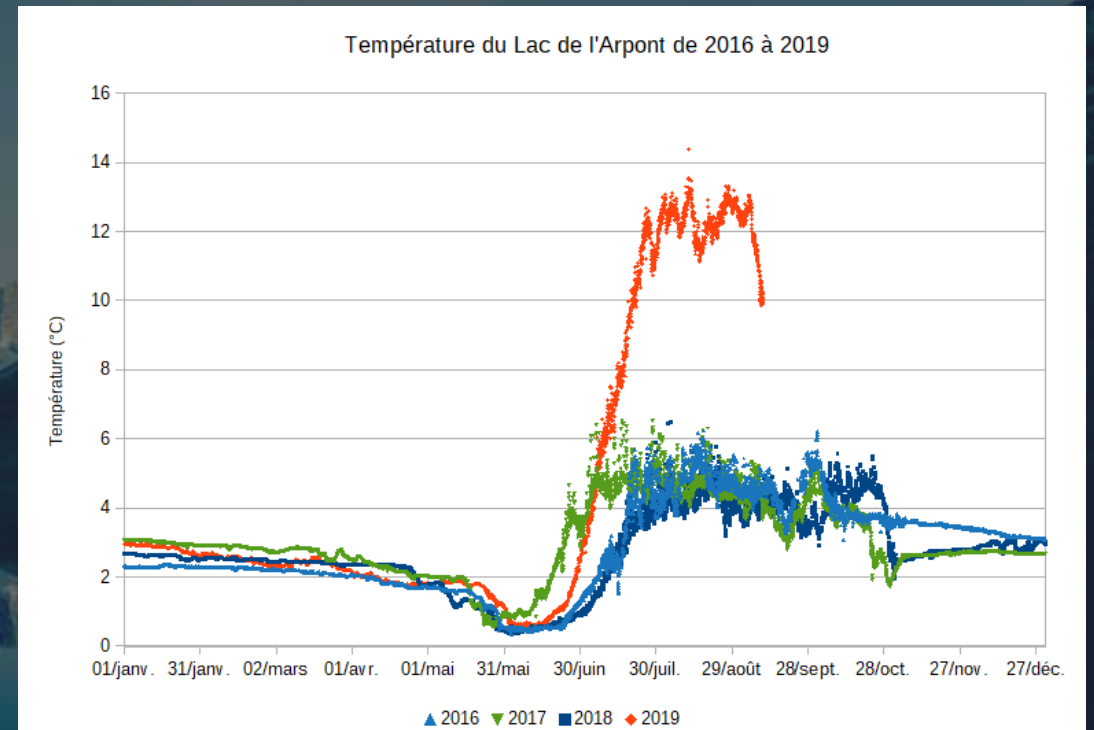


→ Transparence= 0,2 à 0,9 m de 2015 à 2018 ;

3,4m en 2019

Couleur laiteuse

Lac de l'Arpont



→ Température ne dépassant pas 6°C en été de 2016 à 2018

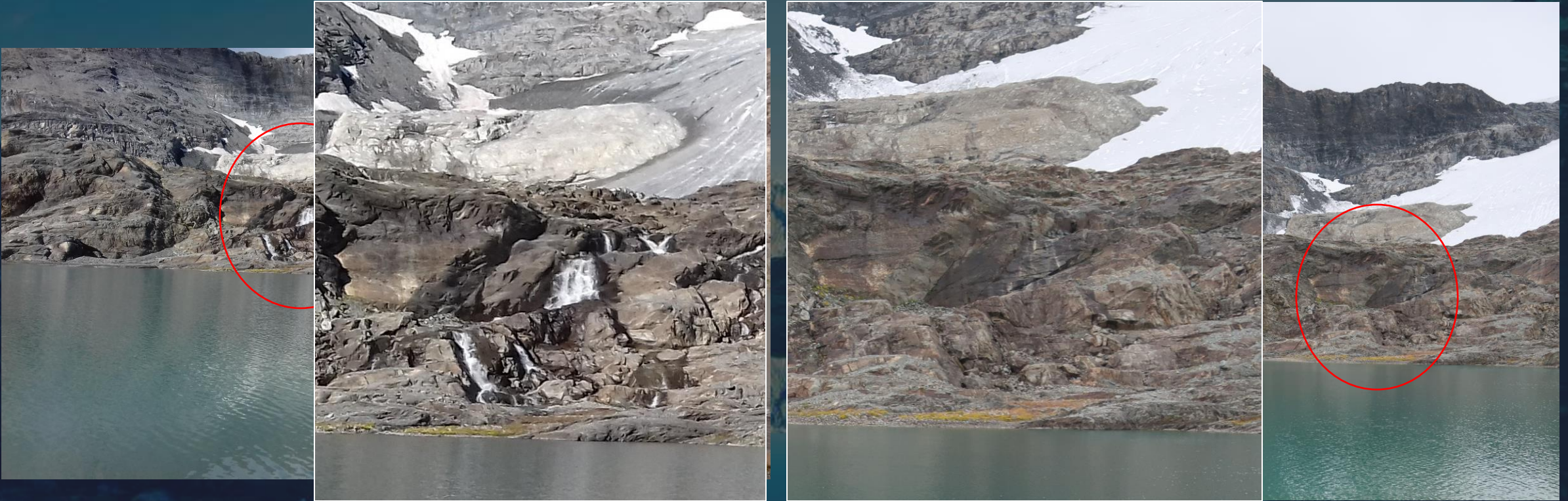
Température atteignant 14°C en 2019,
17°C en 2022

Action 1. création de l'observatoire des lacs d'altitude

Faits marquants

Des changements importants durant les 5 premières années de suivi

-> arrêt de l'influence glaciaire pour les 2 lacs blancs



→ Transparence= 0,2 à 0,9 m de 2015 à 2018 ;

3,4m en 2019

Couleur laiteuse

Lac de l'Arpont

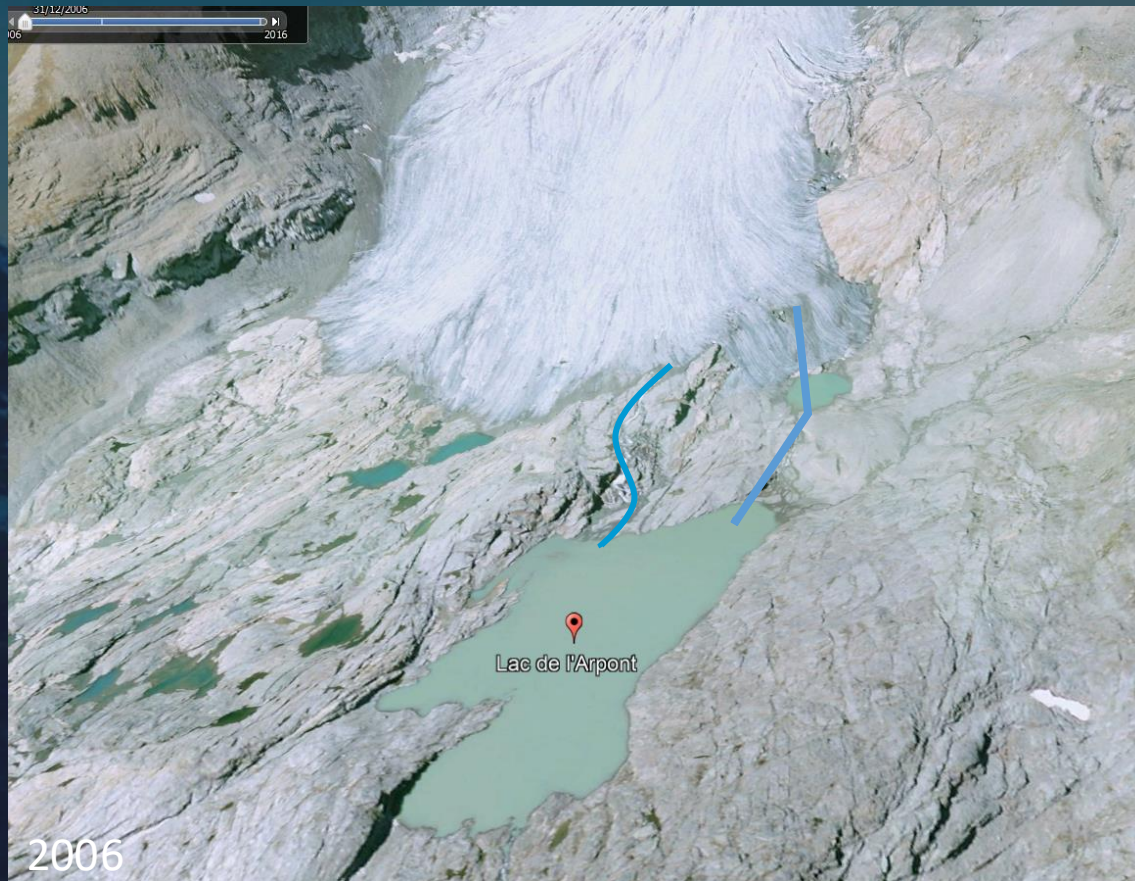
→ Température ne dépassant pas 6°C en été de 2016 à 2018

Température atteignant 14°C en 2019,
17°C en 2022

Action 1. création de l'observatoire des lacs d'altitude

Faits marquants

Des changements importants durant les 5 premières années de suivi
-> arrêt de l'influence glaciaire pour les 2 lacs blancs



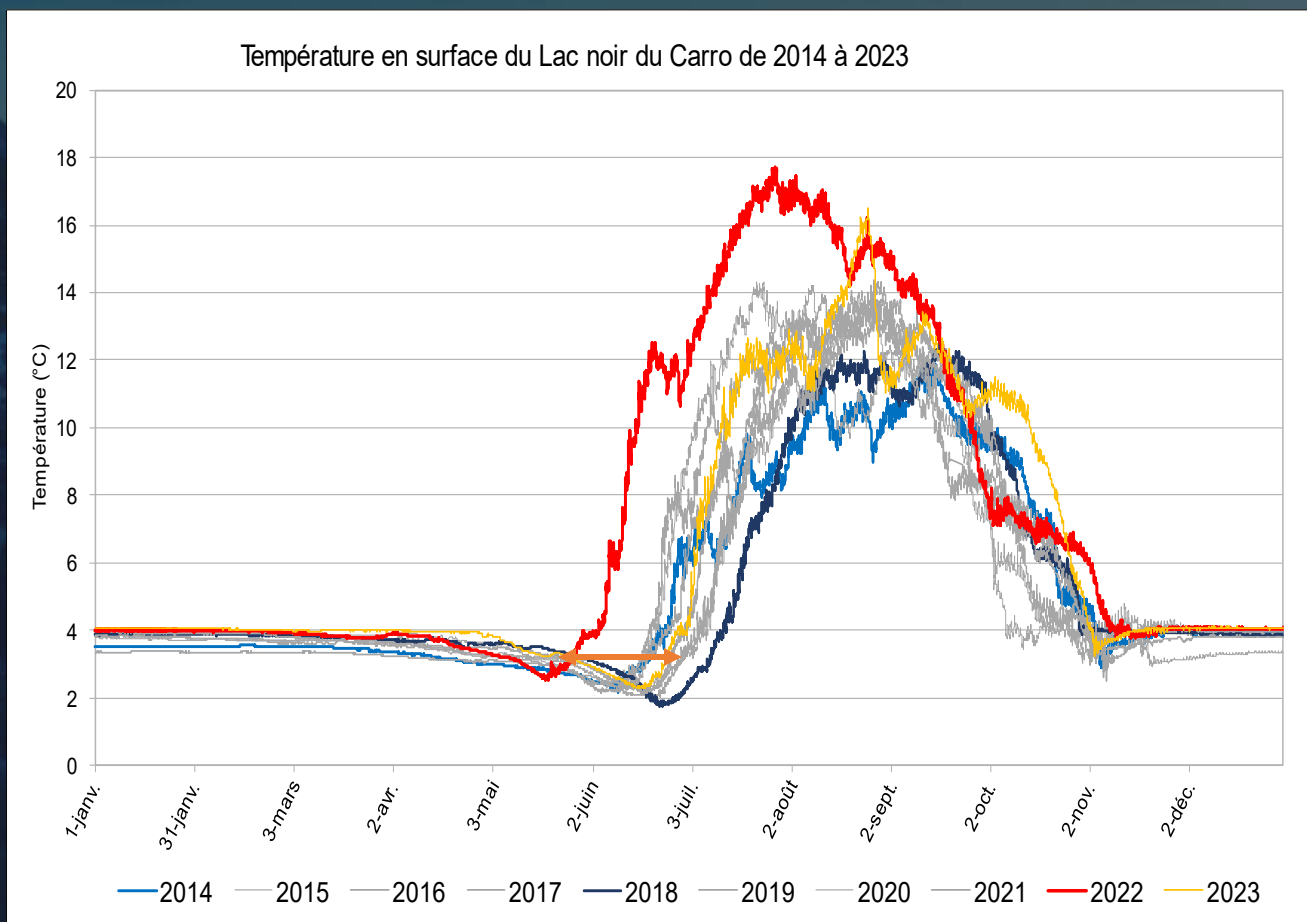
Lac de l'Arpont

Action 1. création de l'observatoire des lacs d'altitude

Faits marquants

2022 : une année exceptionnelle, préfiguration des évolutions futures?

-> désenglacement très précoce (1 mois d'avance), augmentation des températures rapides et ne s'arrêtant qu'aux 1ers orages d'août.



	max absolu	nb jours >8°C	nb jours >10°C	nb jours >12°C	nb jours >14°C	nb jours >16°C
2014	12,0	89	49	0	0	0
2015	14,3	94	79	44	8	0
2016	14,4	76	59	48	6	0
2017	14,1	98	71	44	1	0
2018	12,6	78	62	13	0	0
2019	13,9	93	74	49	0	0
2020	14,1	72	62	28	2	0
2021	14,1	90	74	47	1	0
2022	17,7	113	104	88	65	32
2023	16,5	109	96	57	12	4

+1 à 4°C selon les lacs

2023 : pic canicule & chaleur en octobre

Action 1. création de l'observatoire des lacs d'altitude

Faits marquants

2022 : une année exceptionnelle, préfiguration des évolutions futures?

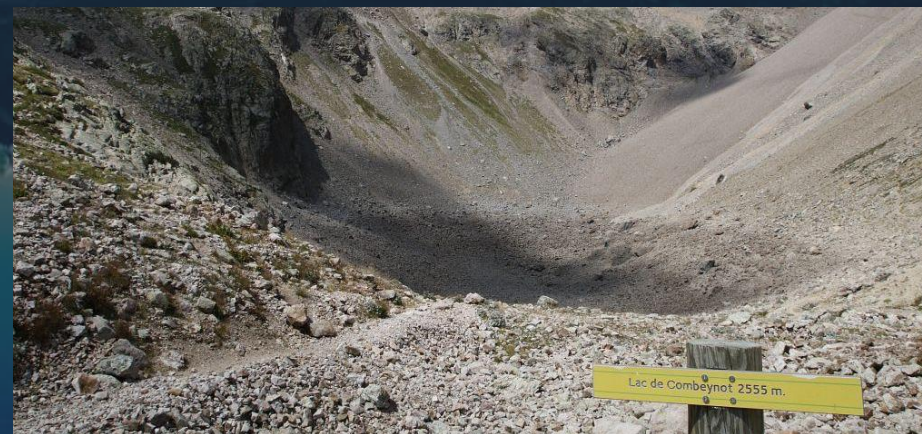
-> une baisse importante du niveau de certains lacs.



réseau lacs
sentinelles



Lac des Echines (Champagny en Vanoise)



Lac de Combeynot en août 2019 (en haut) et en août 2022 (en bas) (Parc national des Ecrins)

Action 1. création de l'observatoire des lacs d'altitude

Faits marquants : les pluies diluviennes du 5/09/2024



réseau lacs
sentinelles

**Précipitations ~ 100mm
sur la Haute-Maurienne**

→ arrivée massive d'eau du
BV

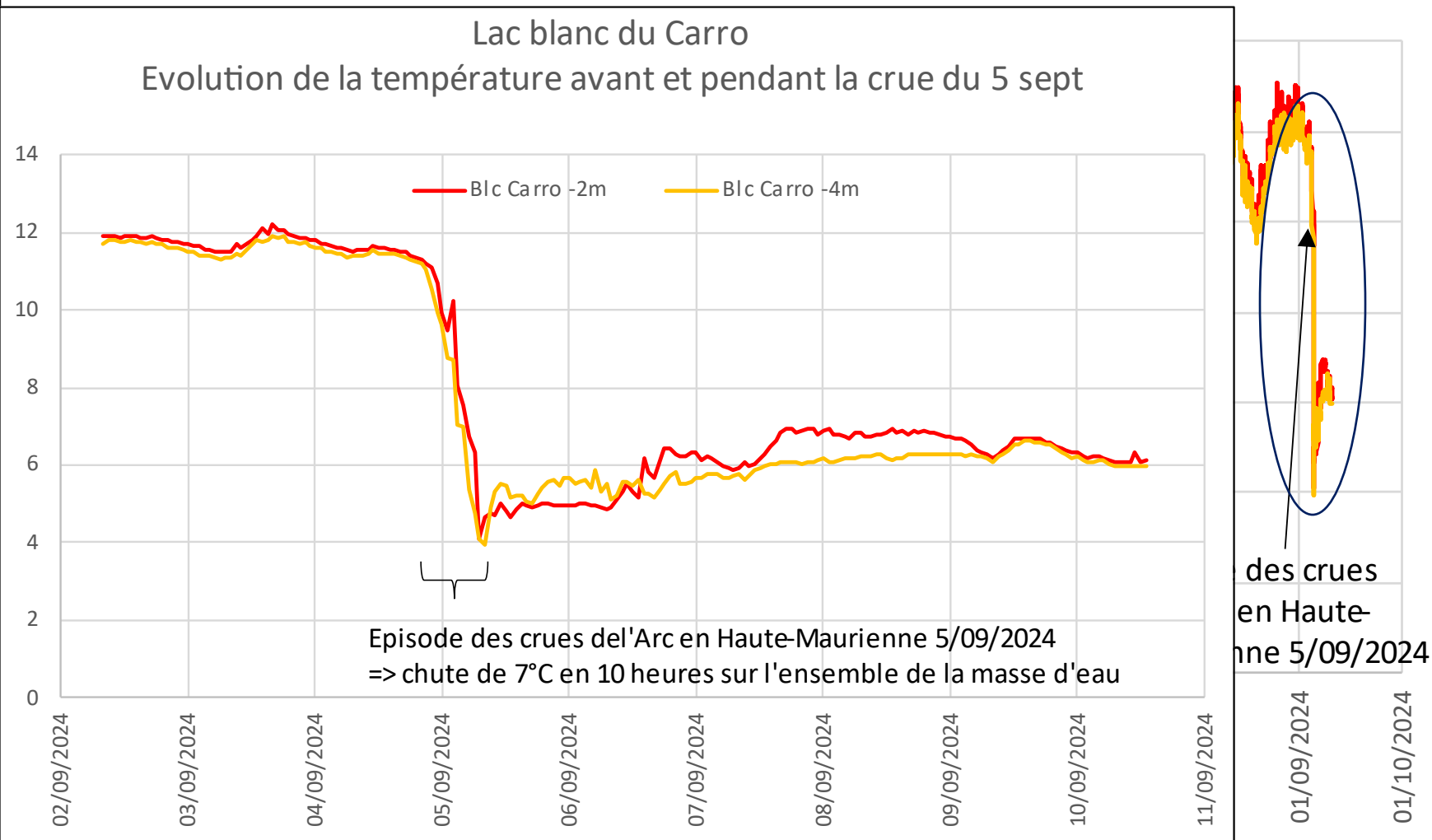
→ débordement du lac
(+1m?)

Photo et vidéo du 5/09 de Nicolas Lemoine,
gardien du Refuge du Carro

Action 1. création de l'observatoire des lacs d'altitude

Faits marquants : les pluies diluviennes du 5/09/2024

Lac blanc du Carro
Evolution de la températures 2023-2024



Précipitations ~ 100mm sur la Haute-Maurienne

→ chute de 7°C en 10 heures !

→ transparence : 0,2m! (fond=6m en année „normale“)

Nota : ligne de capteurs déplacée juste au droit de l'arrivée des eaux du BV ; données de la sonde relevées le 11/09 au centre du lac donne 7°C à -2m et 6,2°C à -4m

**2019, 2020 :
Recherche de microplastiques**

Suivi des lacs d'altitude



Sites ateliers et études

- Protocole + lourd
- Implication des chercheurs
- Appui des gestionnaires et usagers
- Résultats valorisés - nouveautés
-

2024 : Identification des algues



2021 : Etude sur le zooplancton
Sur 108 lacs français et italiens



**2023 et 2024 :
Cycle du phosphore et de l'azote**



2020 : Installation de station météo



**2023 & 2024 : Impact
du vairon sur le
triton alpestre**



Outils de Communication

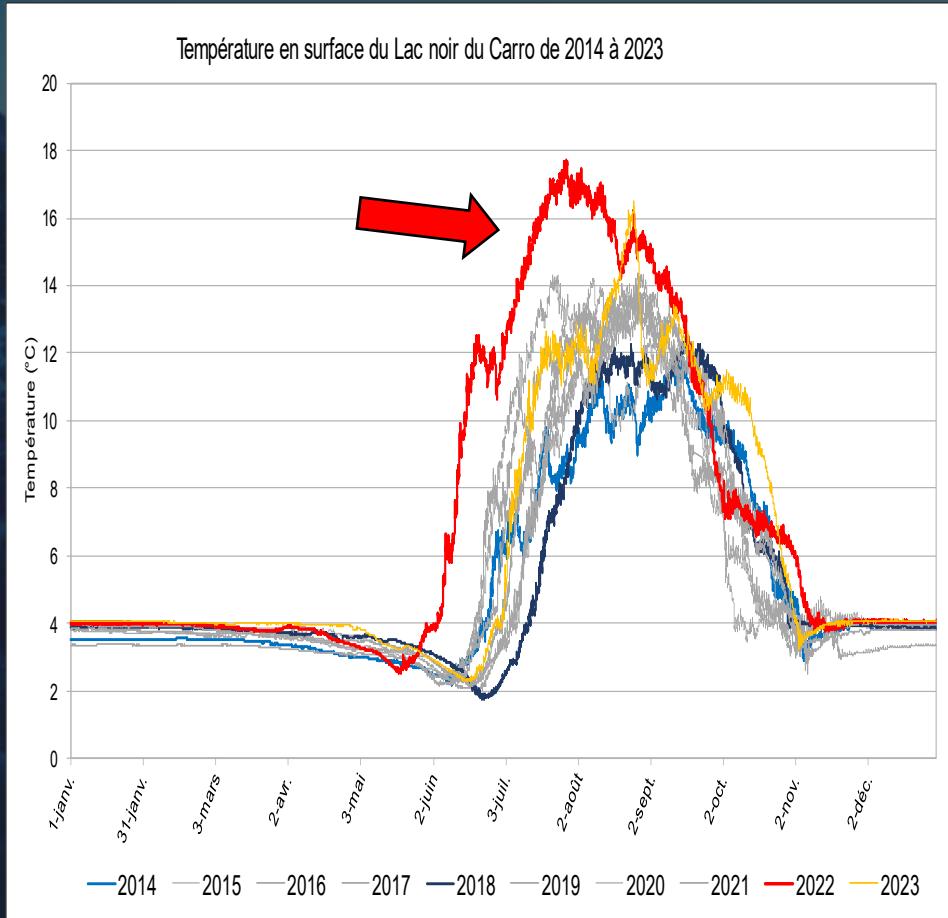
- Un site internet : www.lacs-sentinelles.org
- Des fiches sur 20 questions/réponses sur les lacs d'altitude : www.lacs-sentinelles.org/fr/pages/20-questions-lacs-altitude
- Un livret illustré
- Un « escape game » sur les lacs



Outils de **Communication**

Canicule de l'été 2022

- Températures records enregistrées en 2022
- Publication d'un communiqué de presse partagé par de nombreux médias
- Impact de ces températures records en cours d'étude => *projet CHAUD*



Outils de Communication

Plusieurs articles scientifiques publiés

Article publié sur l'oxygène au fond des lacs



Publication & synthèses



Bilan des 10 ans

- Historique du réseau, sa genèse, ses projets fondateurs, son organisation et l'implication des gestionnaires, usagers et chercheurs
- La description de l'Observatoire des lacs d'altitude
- Les principales avancées scientifiques
- les outils de valorisation et de communication développés par les membres du réseau.

LIMNOLOGY
and
OCEANOGRAPHY

ASLO

Limnol. Oceanogr. 68, 2023, 1233-1246
© 2023 The Authors. Limnology and Oceanography published by Wiley Periodicals LLC on behalf of Association for the Sciences of Limnology and Oceanography. DOI: 10.1002/lno.12541

Near-bed stratification controls bottom hypoxia in ice-covered alpine lakes

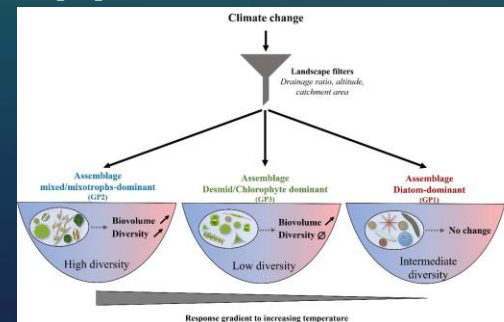
Marie-Elodie Perga ^{1,2*}, Camille Minaudo ^{3,4}, Tomy Doda ⁵, Florent Arthaud ⁶, Harsh Beria ⁷, Hannah E. Chmiel ⁴, Nicolas Escoffier ¹, Thibault Lambert ¹, Raphaëlle Napoleoni ⁸, Biel Obrador ⁹, Pascal Perolo ¹, Janine Rüegg ¹, Hugo Ulloa ¹⁰, Damien Bouffard ^{1,5}

- ¹Faculty of Geoscience and Environment, University of Lausanne, Lausanne, Switzerland
²Geopolis, UNIL (on behalf of the Lacs Sentinelles Network), Lausanne, Switzerland
³Department of Evolutionary Biology, Ecology and Environmental Sciences, University of Barcelona, Barcelona, Spain
⁴Physics of Aquatic Systems Laboratory, Margaretha Kamprad Chair, Institute of Environmental Engineering, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne, Switzerland
⁵Department of Surface Waters—Research and Management, Eawag, Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Kastanienbaum, Switzerland
⁶UMR CARRTEL, University Savoie-MontBlanc, Le Bourget du Lac, France
⁷Department of Environmental Systems Science, ETH Zurich, Zurich, Switzerland
⁸ASTERS (on behalf of the Lacs Sentinelles Network), Pringy, France
⁹Institut de Recerca de la Biodiversitat (IRBio), University of Barcelona, Barcelona, Spain
¹⁰Department of Earth and Environmental Science, University of Pennsylvania, Philadelphia, Pennsylvania

2 articles en cours de publication sur les données de phyto et zooplancton à l'échelles des 30 lacs du réseau

Vulnerable but not equal: mountain lakes exhibit heterogeneous patterns of phytoplankton responses to climate change

Dory et al, in prep



Global Change Biology

Long-term changes of zooplankton in high mountain lakes result from a combination of local and global threats

Journal:	Global Change Biology
Manuscript ID:	GCB-24-1403
Wiley - Manuscript type:	Research Article
Date Submitted by the Author:	17-May-2024
Complete List of Authors:	Tiberti, Rocco; Università della Calabria, DiBEST Dory, Flavia; Università degli Studi di Milano-Bicocca, Department of Earth and Environmental Sciences Arthaud, Florent; Université Savoie Mont Blanc - Campus du Bourget-du-Lac, UMR CARRTEL Augé, Vincent; Parc National Vanoise Biró, Carole; Conservatoire d'espaces naturels de Haute-Savoie -ASTER Cavalli, Laurent; Mediterranean Institute of Biodiversity and Marine and Continental Ecology Fontaneto, Diego; Water Research Institute National Research Council Verbania Branch Napoleoni, Raphaëlle; Conservatoire d'espaces naturels de Haute-Savoie -ASTER Perga, Marie-Elodie; Institut de dynamique des Surfaces Terrestres, Faculté des géosciences et environnement; Université de Lausanne Sabas, Ibor; Universität Innsbruck Saut, Clotilde; Parc National des Ecrins

Journée scientifique 2024 du Parc national de la Vanoise Les lacs d'altitude



Quelques résultats issus du réseau :

1ers résultats du projet PLOUF (R. Bruel – R. Napoléoni)
Résultats du projet CHAUD sur les lacs (R. Bruel)
Résultats analyses des données phytoplancton (F. Dory)
Résultats des données zooplancton et Projet LIFE RESQUE
ALPYR (L. Bello)

Autres résultats de la recherche :

Etude et thèse sur les microplastiques (D. Gateuille)
Analyse des données poissons (V. Frossard)
L'azote dans les lacs de haute montagne (M. Page)

Panorama et résultats marquants des autres projets
réalisés ou en cours en Vanoise (F. Arthaud)

Les lacs d'altitude...

1. des écosystèmes particuliers et sensibles
2. Le réseau Lacs Sentinelles et ses premiers résultats
3. **Présentation des résultats**



Parc national
de la Vanoise



Un grand merci à toutes les
personnes engagées



Merci pour votre attention



réseau lacs
sentinelles

www.lacs-sentinelles.org

Asters-CEN74

raphaelle.napoleoni@cen-haute-savoie.org

Carrtel – Université Savoie Mont-Blanc / OFB

florent.arthaud@univ-smb.fr

Parc national de la Vanoise

vincent.auge@vanoise-parcnational.fr

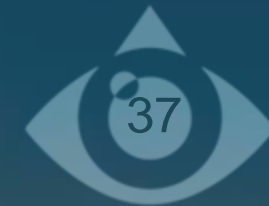
Avec le concours de J.B. BOSSON (Asters)

Gestionnaires d'espaces protégés



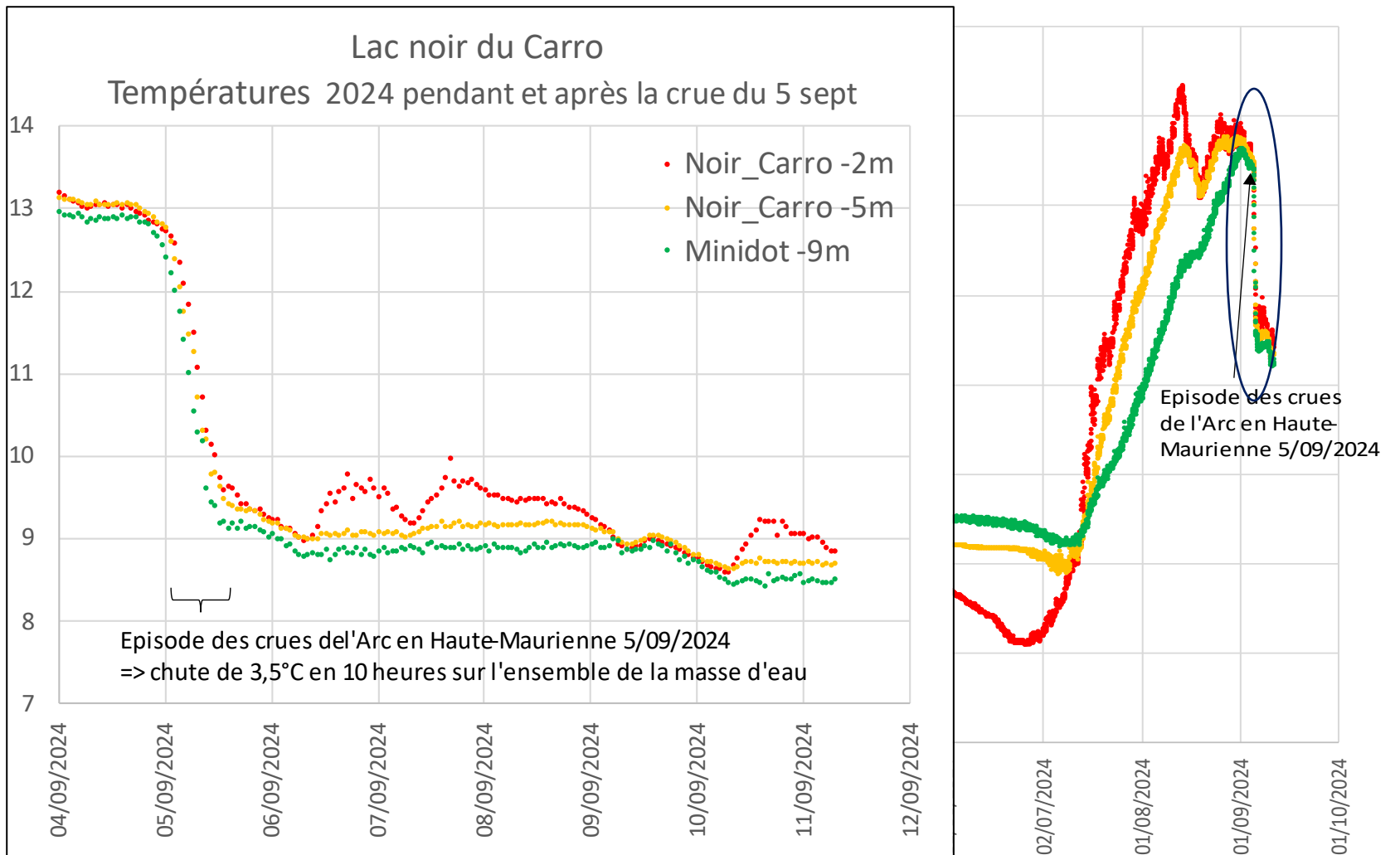
Action 1. création de l'observatoire des lacs d'altitude

Faits marquants : les pluies diluviennes du 5/09/2024



réseau lacs
sentinelles

Lac noir du Carro
Températures 2023-2024 (Tinytag & Minidot)



**Précipitations ~ 100mm
sur la Haute-Maurienne**

→ chute de 3,5°C en 10 heures

Transparence : 4,5m (9-11m en année „normale“)