

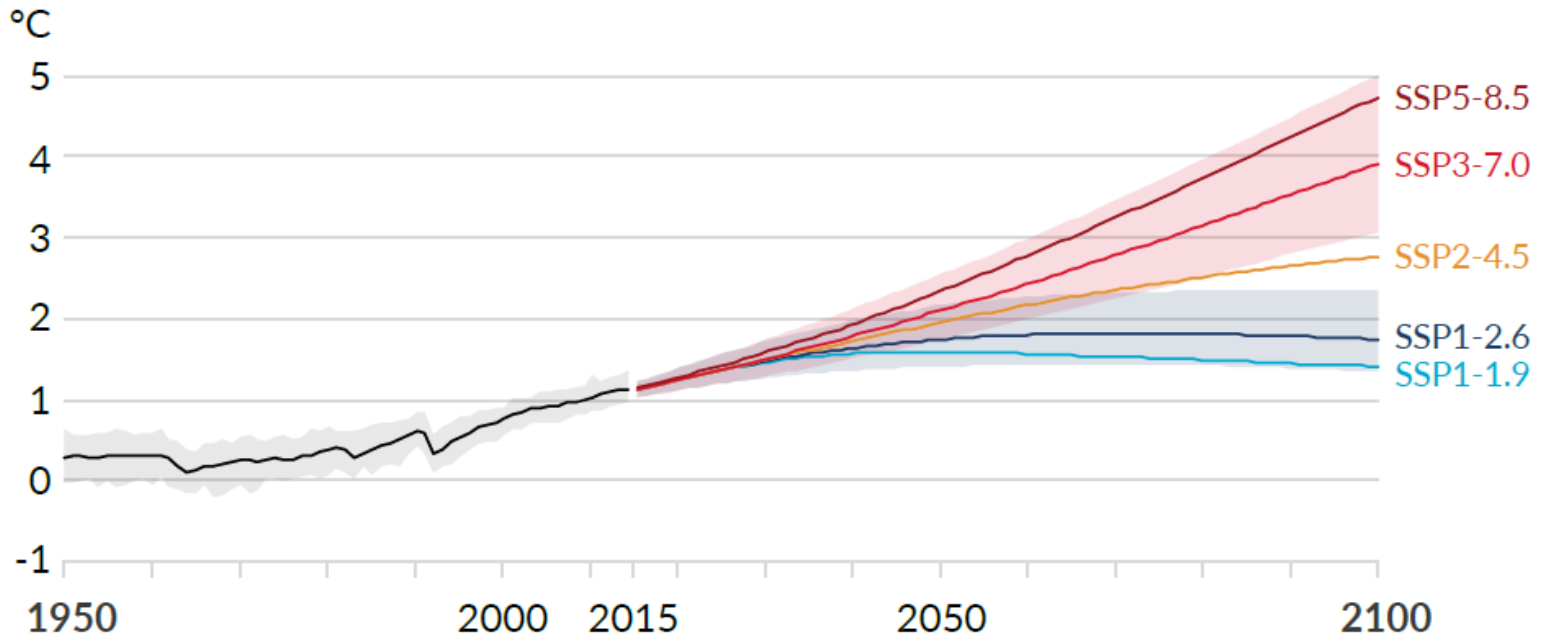
Jusqu'où monte le thermomètre? Effets du changement climatique sur la structure thermique des lacs suisses

Martin Schmid
Cercl'eau, Romanshorn, 15 juin 2022

Remerciements: OFEV (Hydro-CH2018)
Fabian Bärenbold, Damien Bouffard, Love Råman Vinnå



a) Global surface temperature change relative to 1850-1900





Augmentation de la température de l'air (été)

Température

déviation de la période standard 1981-2010

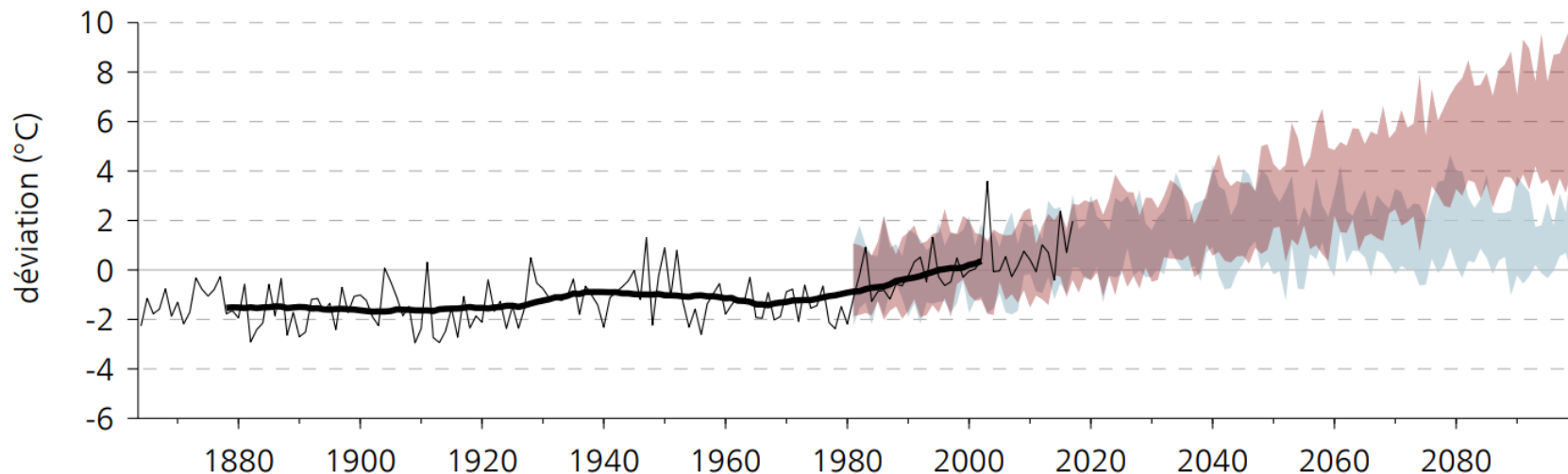
Suisse
été

— observations

— moyenne glissante sur 30 ans

RCP2.6

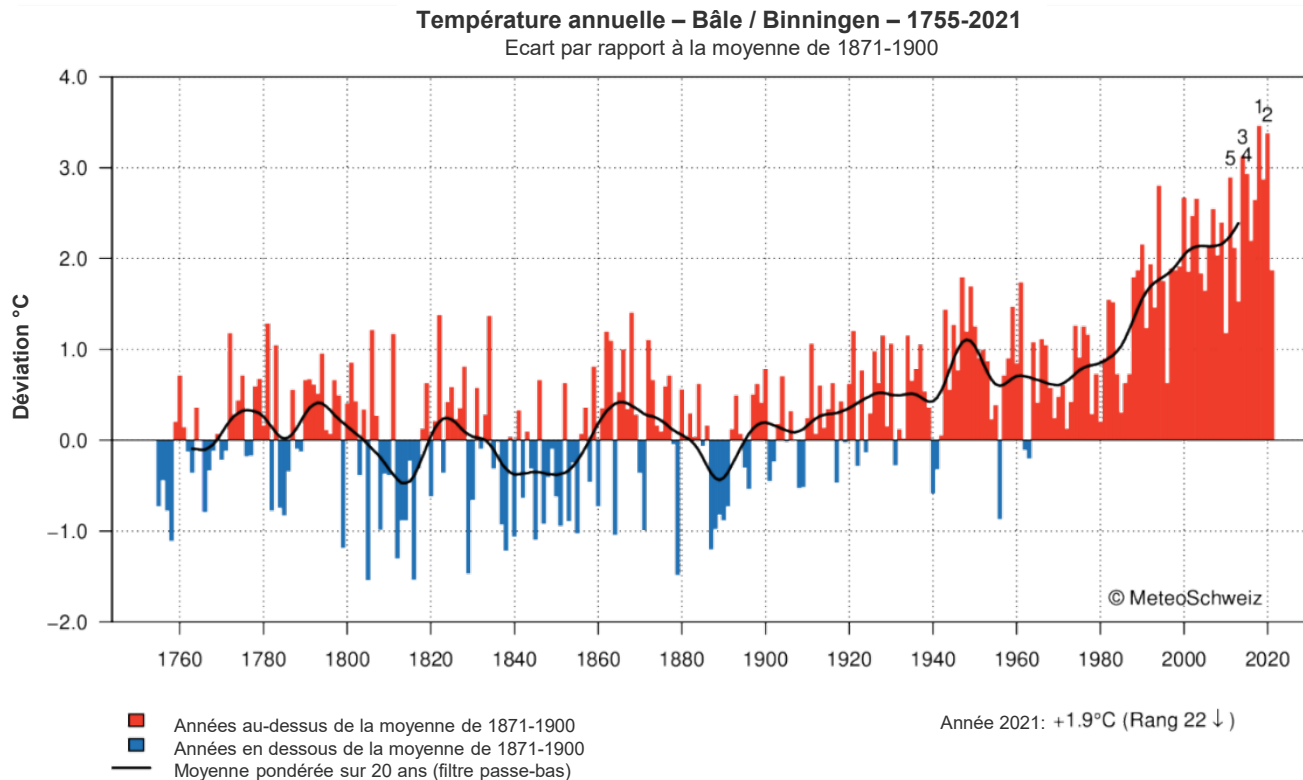
RCP8.5



© scénarios climatiques CH2018

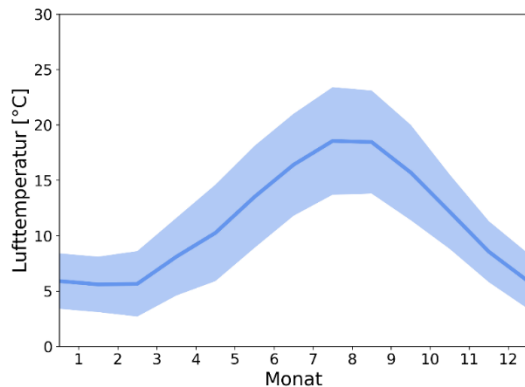


Augmentation de la température de l'air





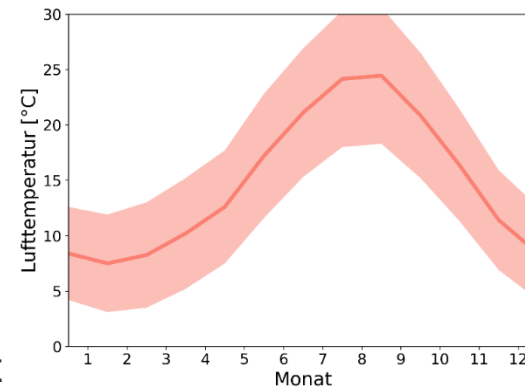
Augmentation de la température de l'air



Sud Angleterre (Londres)



Sans protection du climat
Fin du XXI^e siècle



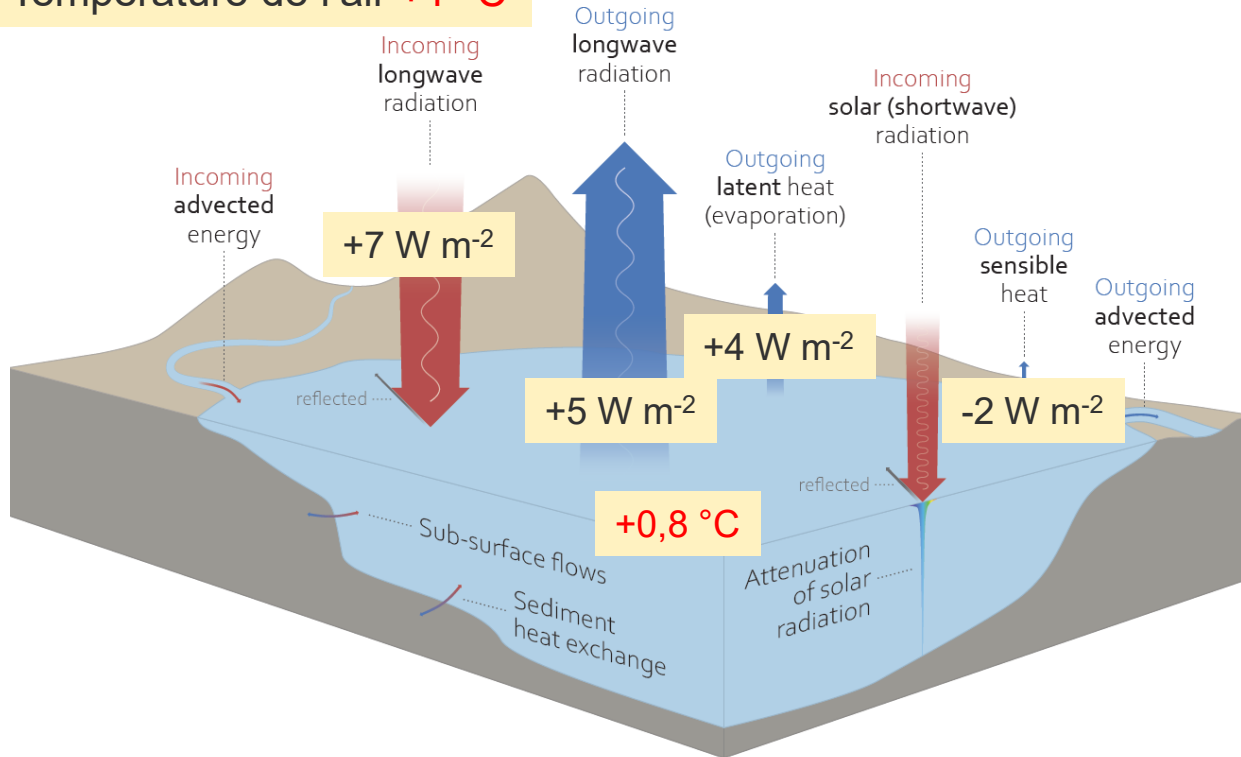
Italie centrale (Rome)



Photos: Wikipedia
(Roger Butterfield, Alejo2083)

Bilan thermique simple

Température de l'air **+1 °C**



A l'équilibre avec l'atmosphère, la surface d'un lac connaît un réchauffement de 80% de celui de l'air.



Réchauffement observé dans les lacs suisses

Depuis ~1980
Augmentation de la température de surface d'environ 0,4 °C par décade

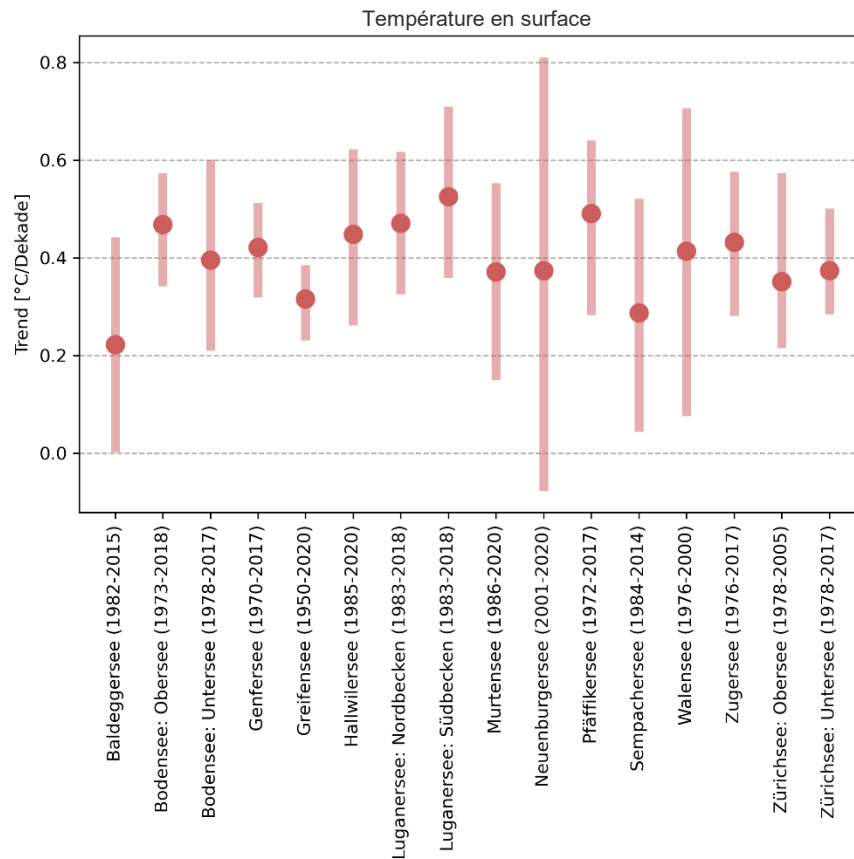


Figure: F. Bärenbold (Eawag)
sur la base de données de monitoring cantonal



Réchauffement observé dans les lacs suisses

Depuis ~1980
Augmentation de la température en
profondeur d'environ 0,1°C par
décade

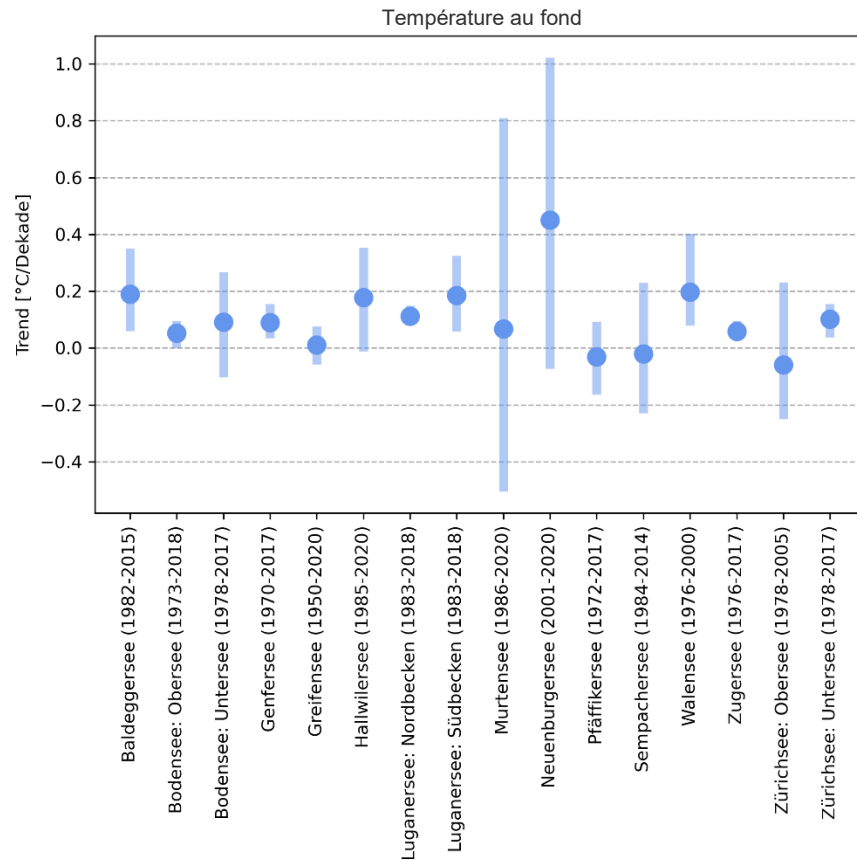
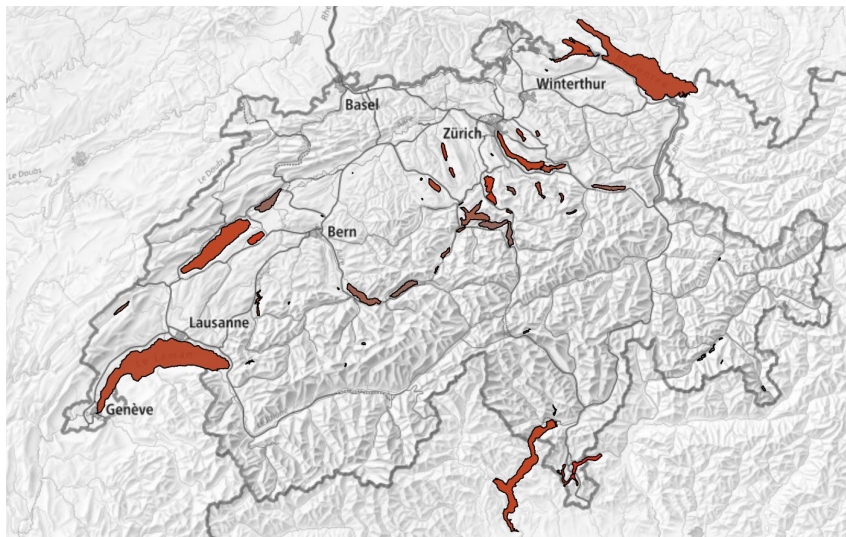


Figure: F. Bärenbold (Eawag)
sur la base de données de monitoring cantonal



Simstrat – Modèle 1D de l'Eawag pour les lacs



Simulations Hydro-CH2018

29 lacs avec scénarii climatiques CH2018 de stations météo proches,
Affluents non pris en compte
(Råman Vinnå et al., 2021)

Application

Tous les lacs $> 2 \text{ km}^2$ ainsi que quelques lacs plus petits

Grandeurs d'entrée

Données météo: MétéoSuisse SwissMetNet

Débits et températures des affluents: données hydrologiques de l'OFEV (pas pour tous les lacs)

Calibration

Avec les données cantonales de monitoring (si disponibles)

Période de simulation

Pour beaucoup de lacs, du 1.1.1981 à aujourd'hui

Parfois moins, selon les données d'entrée disponibles

Mise à jour

Hebdomadaire (tous les lundis)

Site web

<https://simstrat.eawag.ch/>



Simstrat – Températures de surface

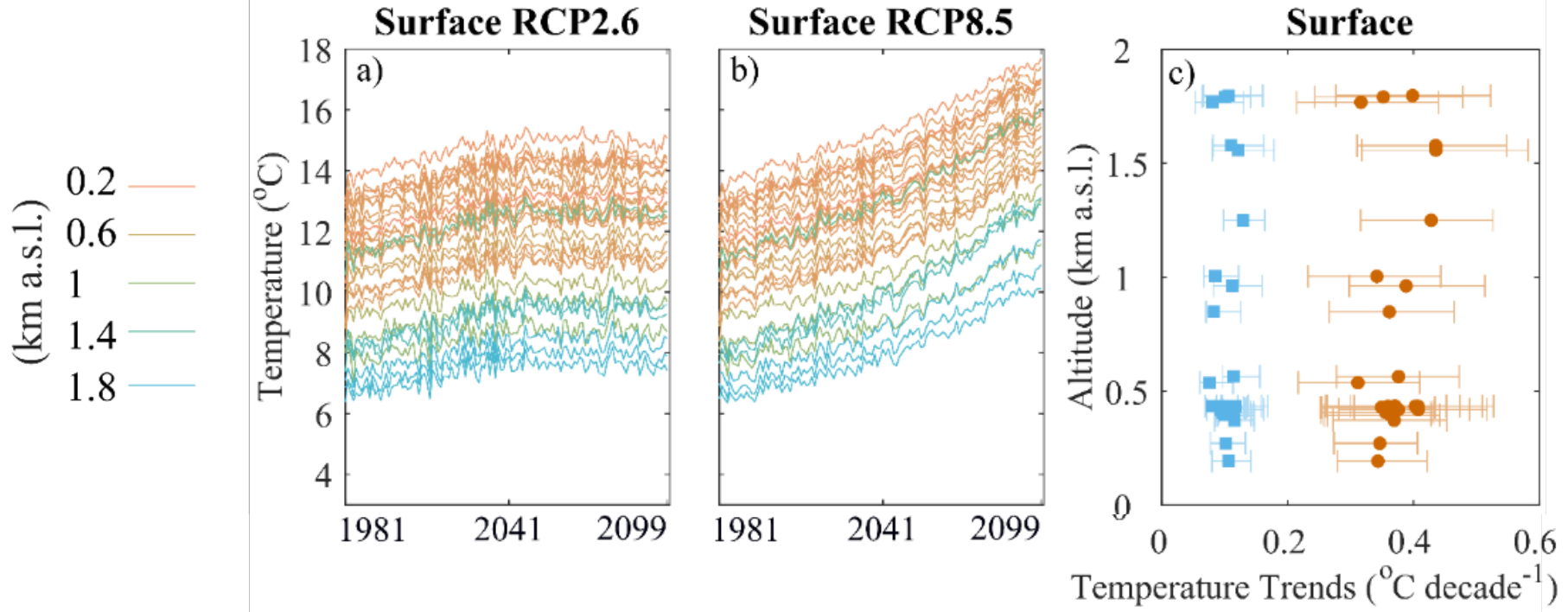


Figure: Råman Vinnå et al., *Communications Earth & Environment* (2021)



Simstrat – Températures de surface (2071-2099)

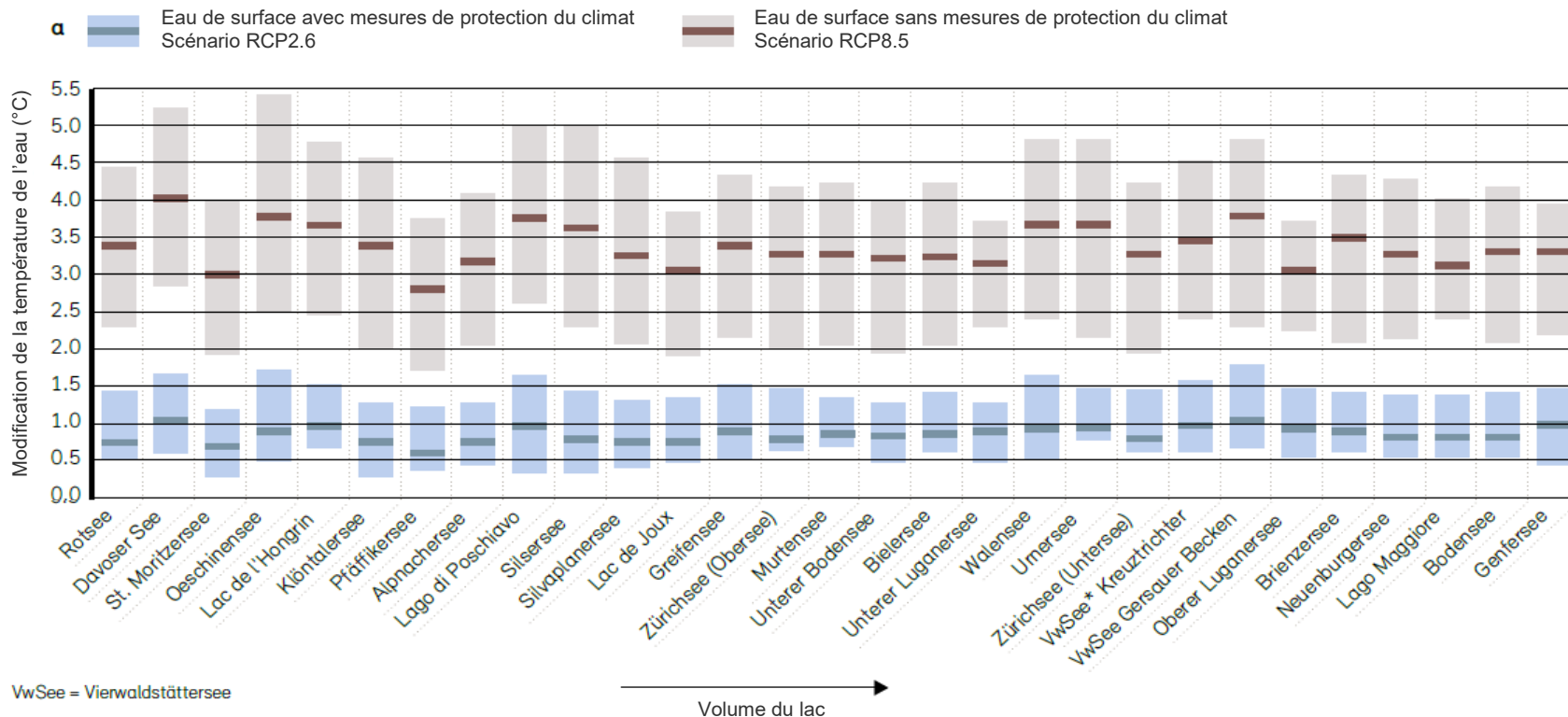
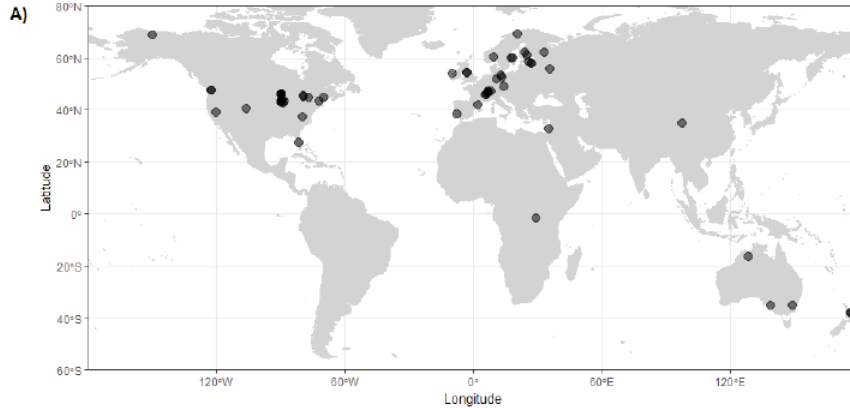
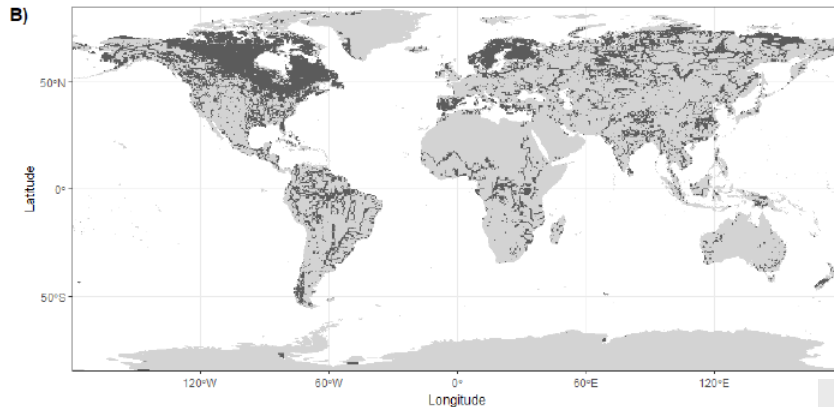


Figure: OFEV, Hydro-CH2018, sur la base de simulations de Råman Vinnå et al. (2021)

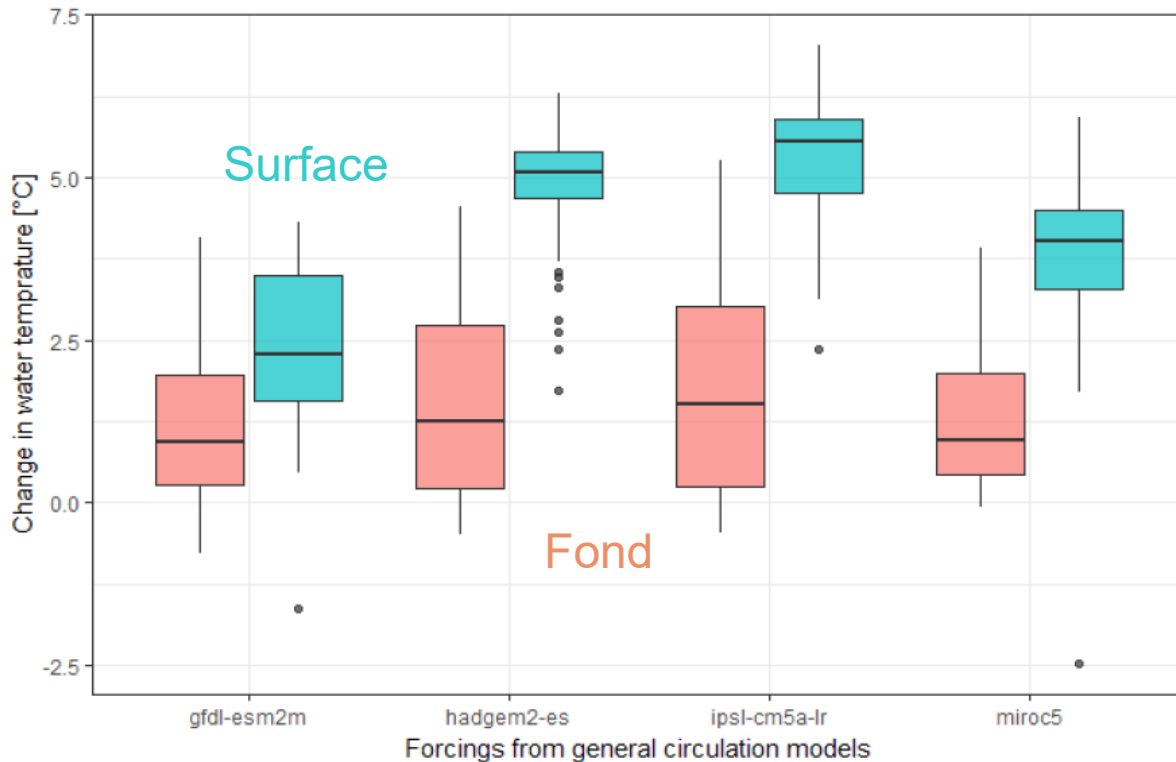


Simulations ISIMIP Lake Sector
(Inter-Sectoral Impact Model
Intercomparison Project)

Simulations localisées
52 lacs et 10 réservoirs
calibrées avec des données de mesure



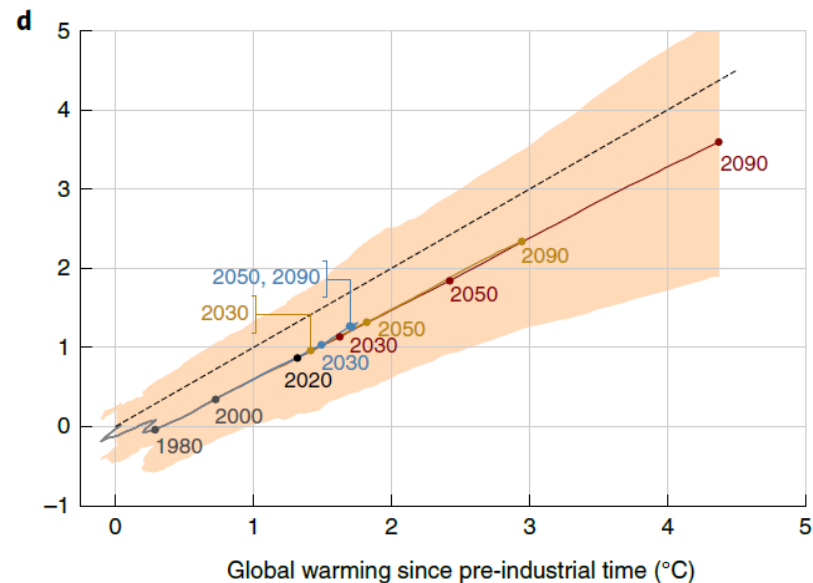
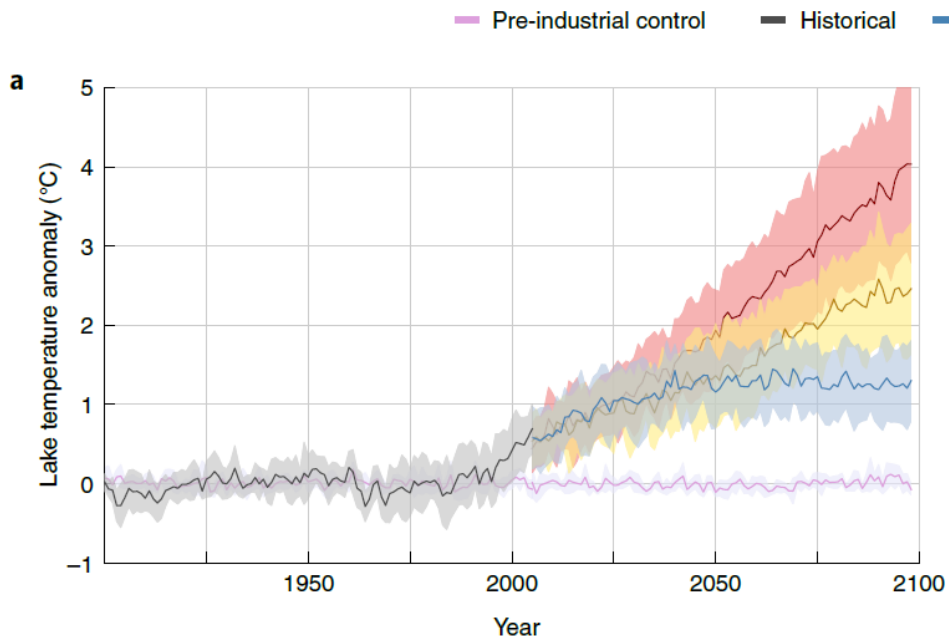
Simulations planétaires
Lacs « représentatifs » dans chaque maille
de $0.5 \times 0.5^\circ$ du réseau quadrillé, figurant
dans la base de données HydroLAKES
(Messenger et al., 2016).



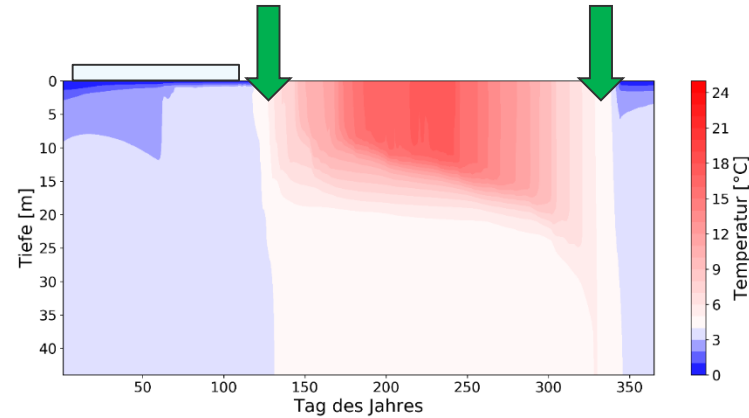
Simulations ISIMIP
2070-2099 par rapport à
l'ère préindustrielle
RCP 8.5
Modèle GOTM
Quatre modèle climatiques
mondiaux différents



Températures de surface – Simulations ISIMIP, 5 modèles pour les lacs



Le climat du lac – Régime de mélange



Régime dimictique

Mélange deux fois par an

Couche de glace éventuelle en hiver

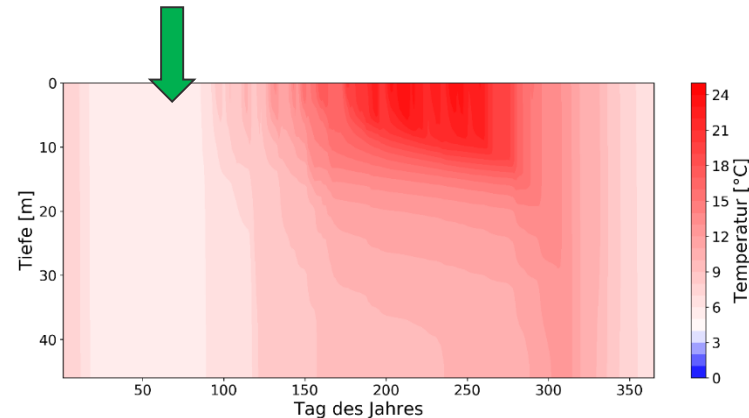
Climat
+ chaud



Hydro-CH2018

Sans protection du climat: 7 lacs sur 8 simulés

Avec protection du climat: 3 lacs sur 8 simulés



Régime monomictique

Mélange 1 x par an

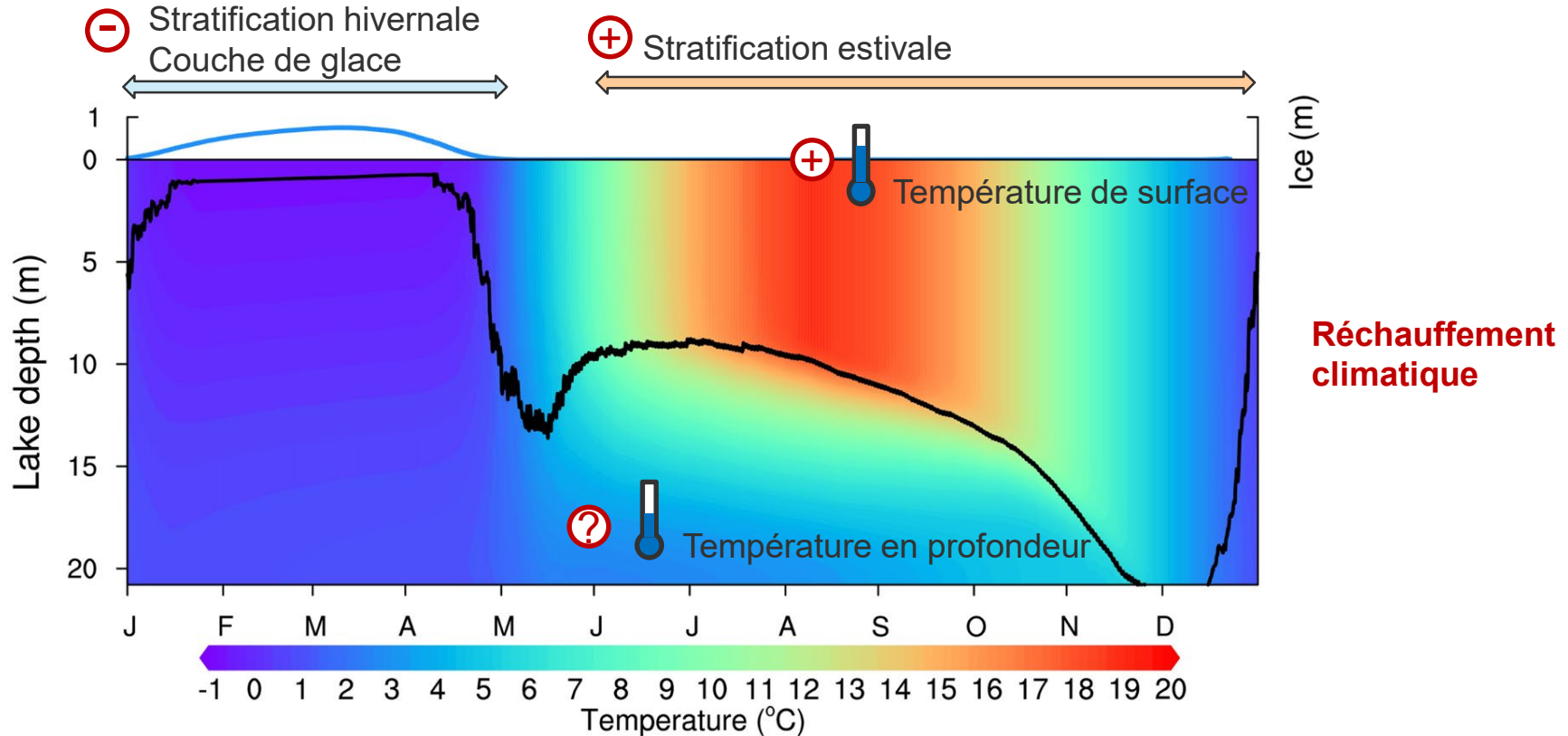
Pas de glace



oligo-/méromictique

Brassage complet
certaines années
seulement

Le climat du lac – Comment se modifie-t-il?





Simstrat – Températures en profondeur (2071-2099) **eawag** aquatic research

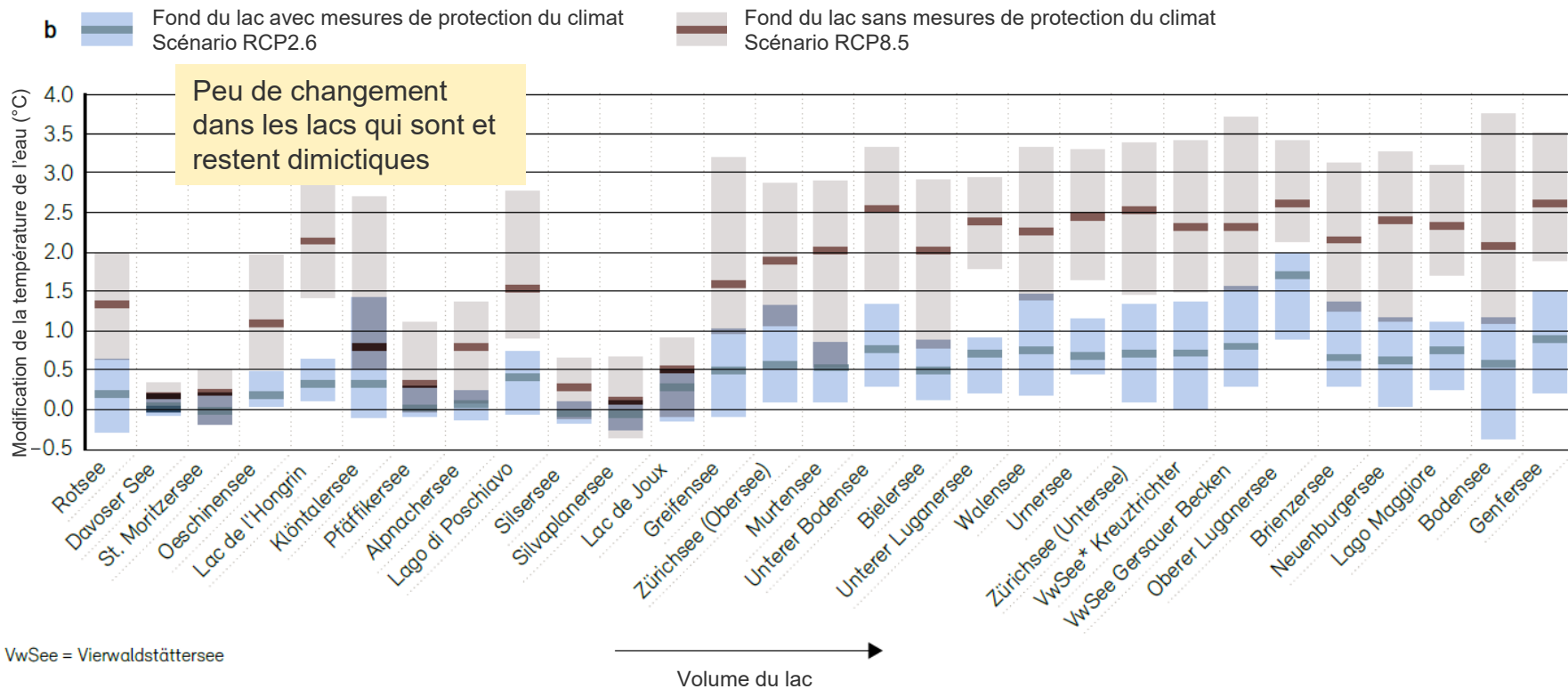


Figure: OFEV, Hydro-CH2018, sur la base de simulations de Råman Vinnå et al. (2021)



Modification observée de la stagnation estivale

Depuis ~1980
Augmentation de la durée de
stagnation estivale d'environ une
semaine par décennie

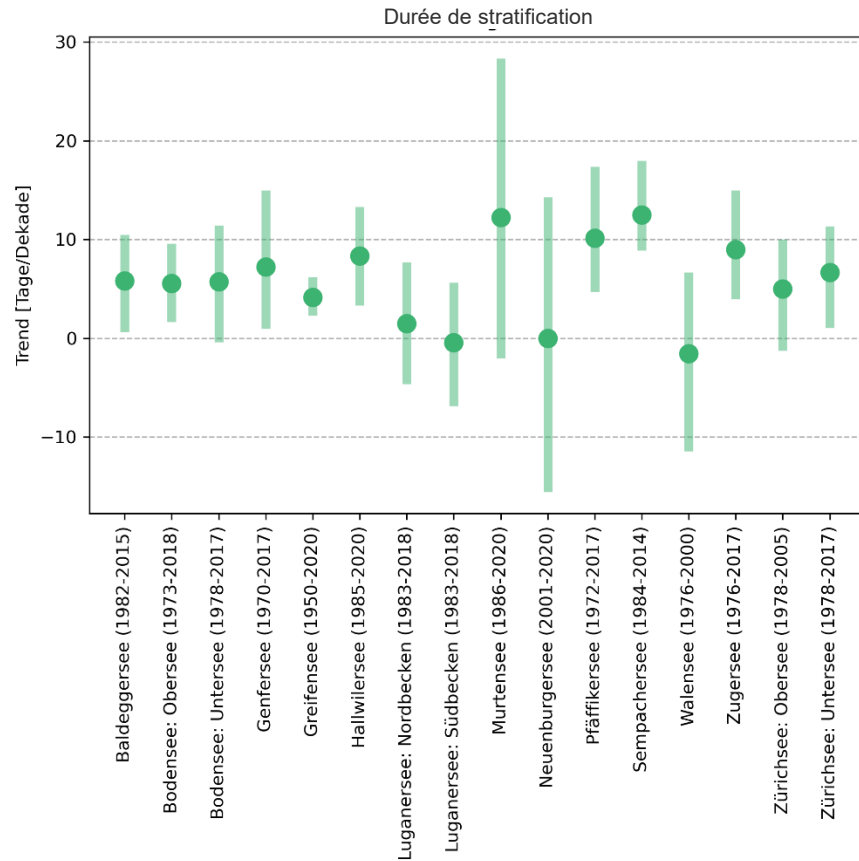
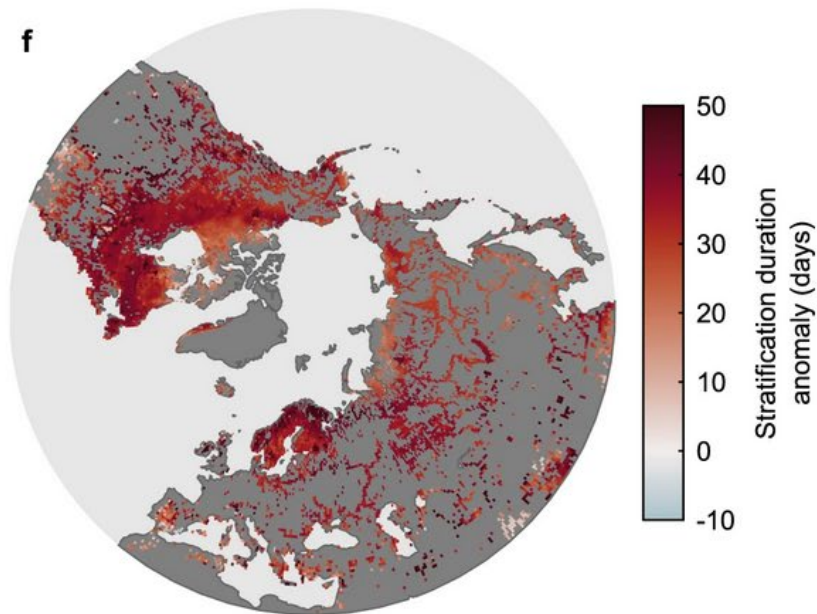
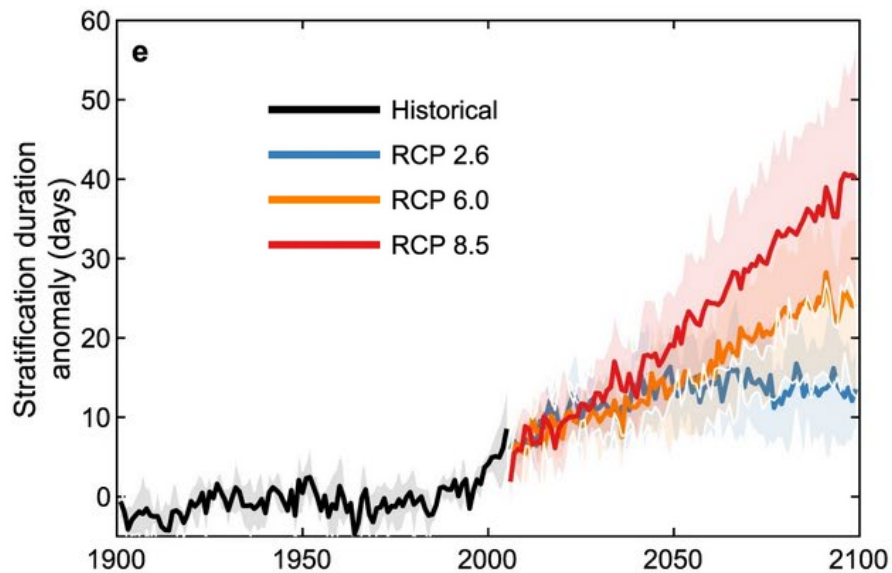


Figure: F. Bärenbold (Eawag)
sur la base de données de monitoring cantonal



Stratification estivale – Tendances à l'échelle planétaire





Simstrat – Stratification estivale (2071-2099)

 Avec mesures de protection du climat – RCP2.6 (2085)  Sans mesures de protection du climat RCP8.5 (2085)

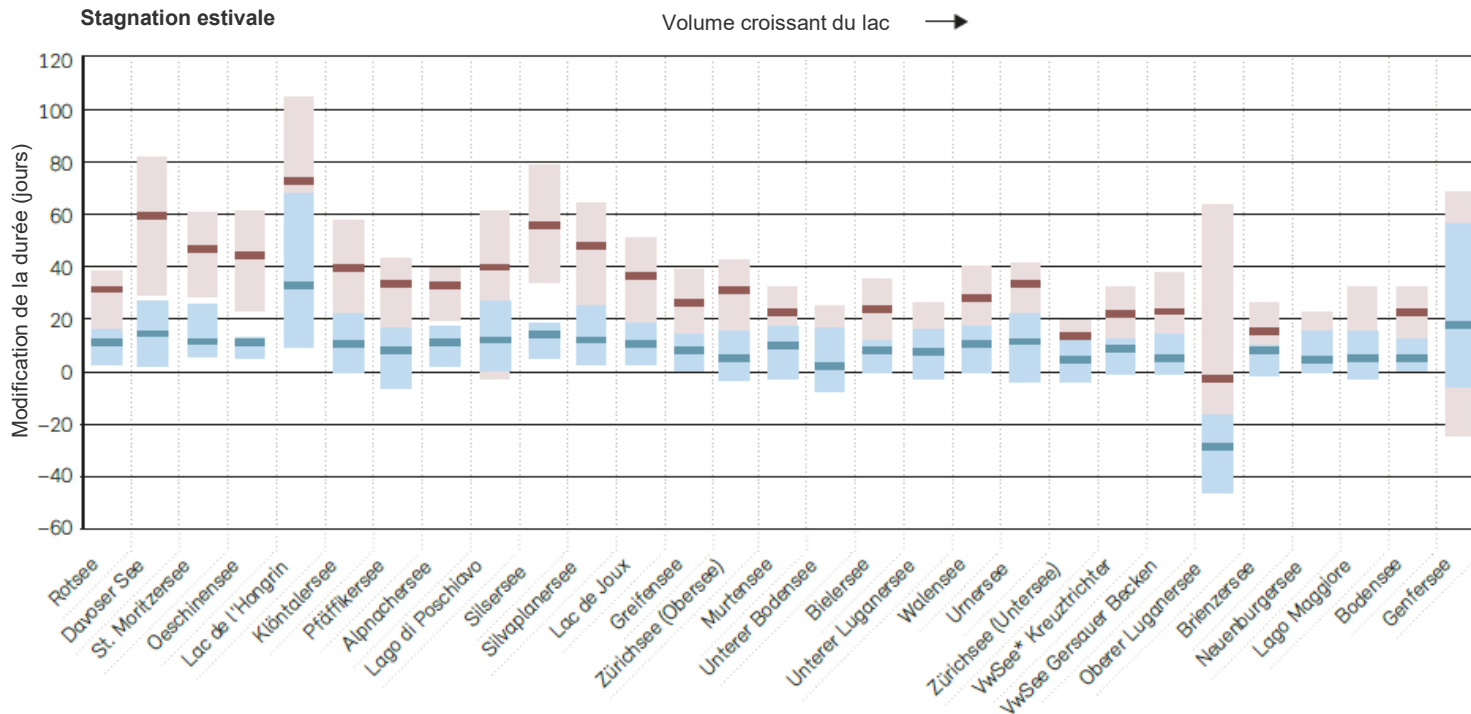
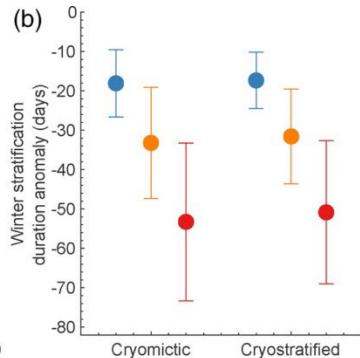
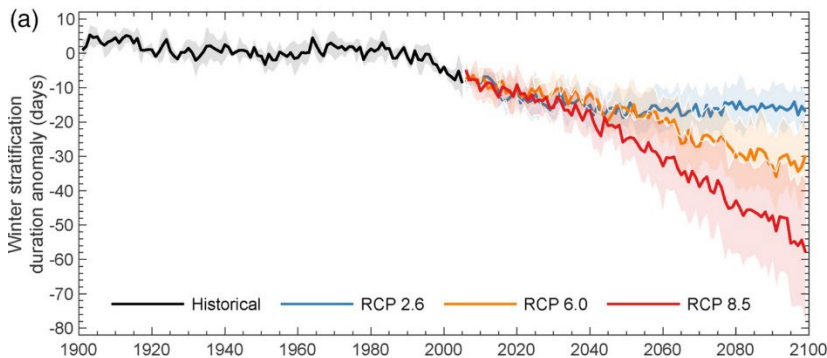


Figure: OFEV, Hydro-CH2018, sur la base de simulations de Råman Vinnå et al. (2021)



Stratification hivernale – Tendances à l'échelle planétaire **eawag** aquatic research



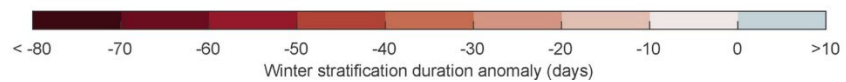
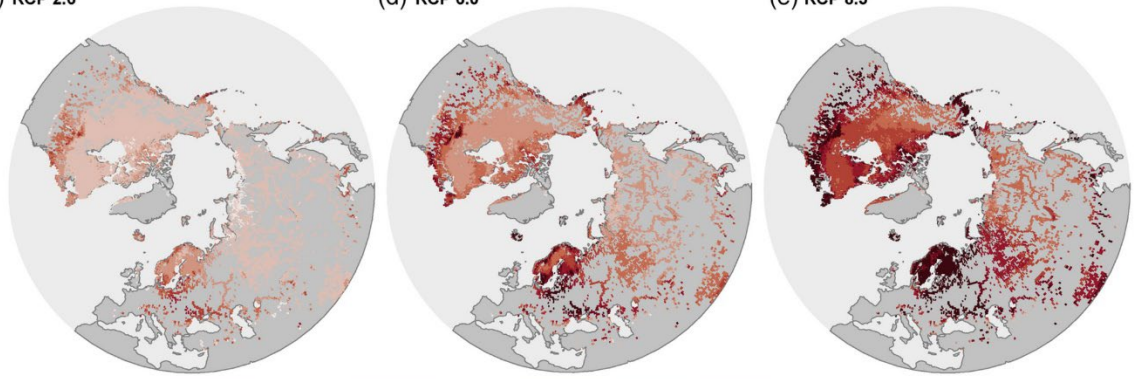
Simulations du modèle ALBM

Période d'inversion plus courte en hiver

(c) RCP 2.6

(d) RCP 6.0

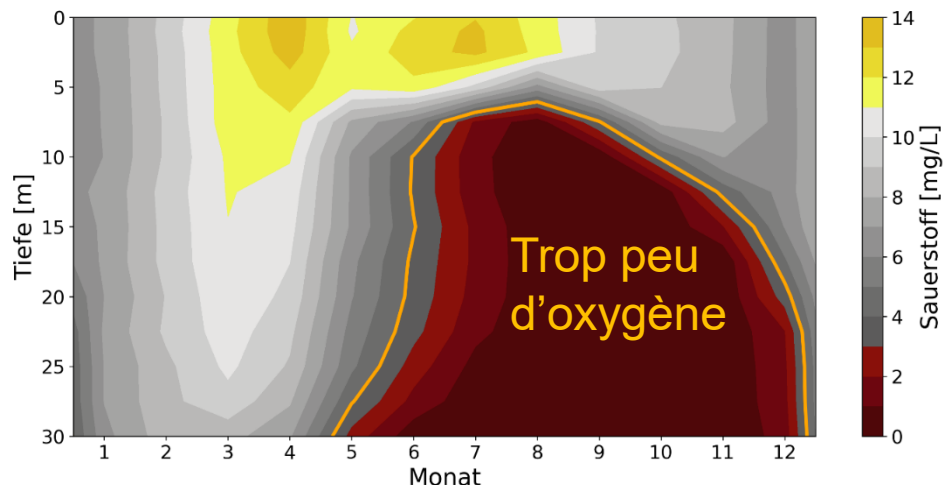
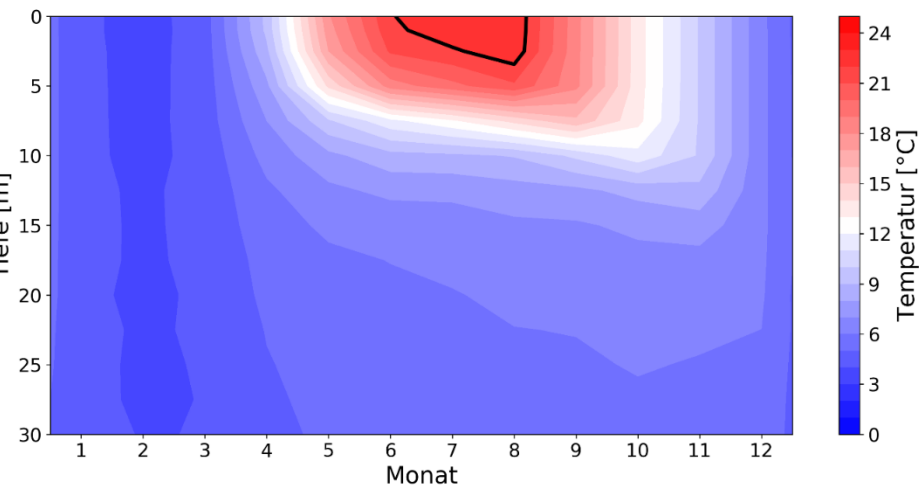
(e) RCP 8.5



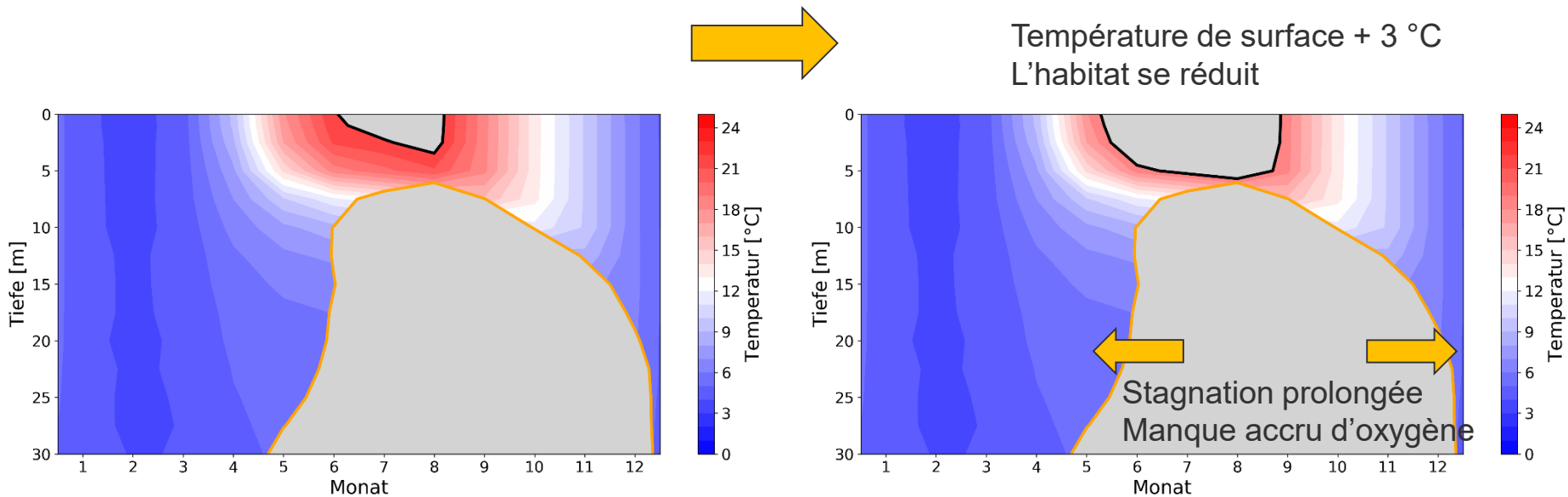
Source: Woolway et al., *Limnology and Oceanography Letters* (2021)

Habitat disponible pour les poissons d'eau froide

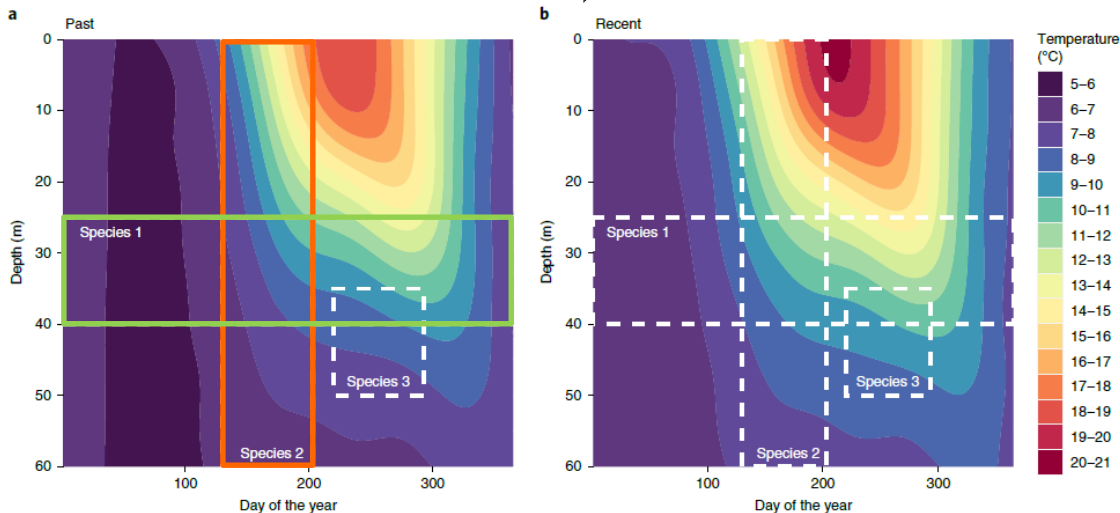
Trop chaud



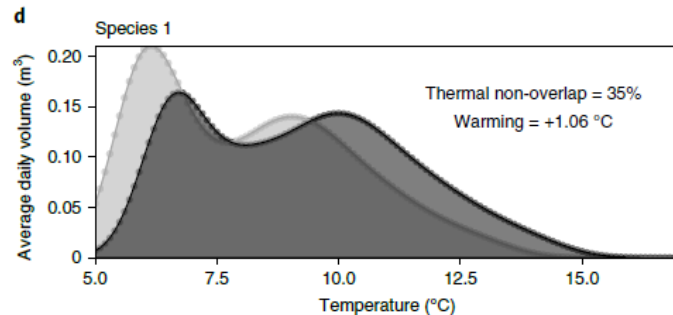
Habitat disponible pour les poissons d'eau froide



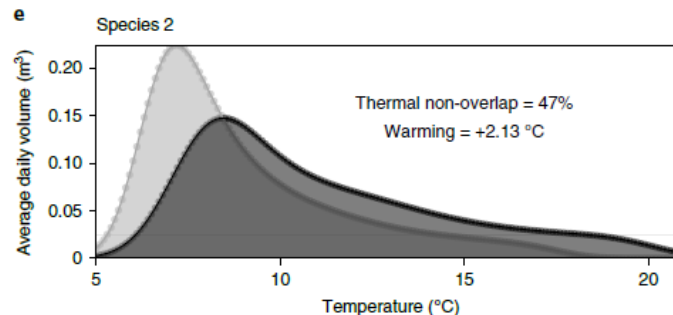
Modifications de la structure thermique suite au changement climatique



Espèces à l'habitat de profondeur définie



Espèces à l'occurrence saisonnière



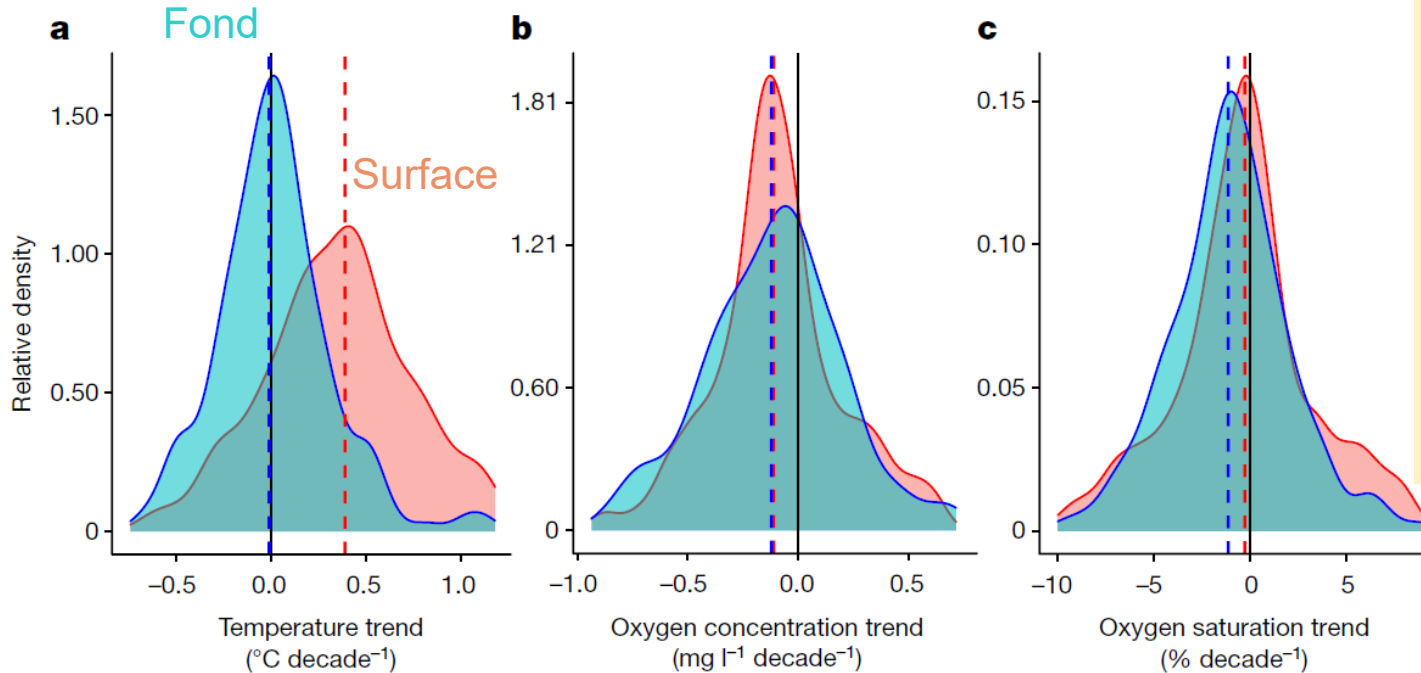


Oxygène – Tendances à l'échelle planétaire

Température

Concentration d'O₂

Saturation en O₂



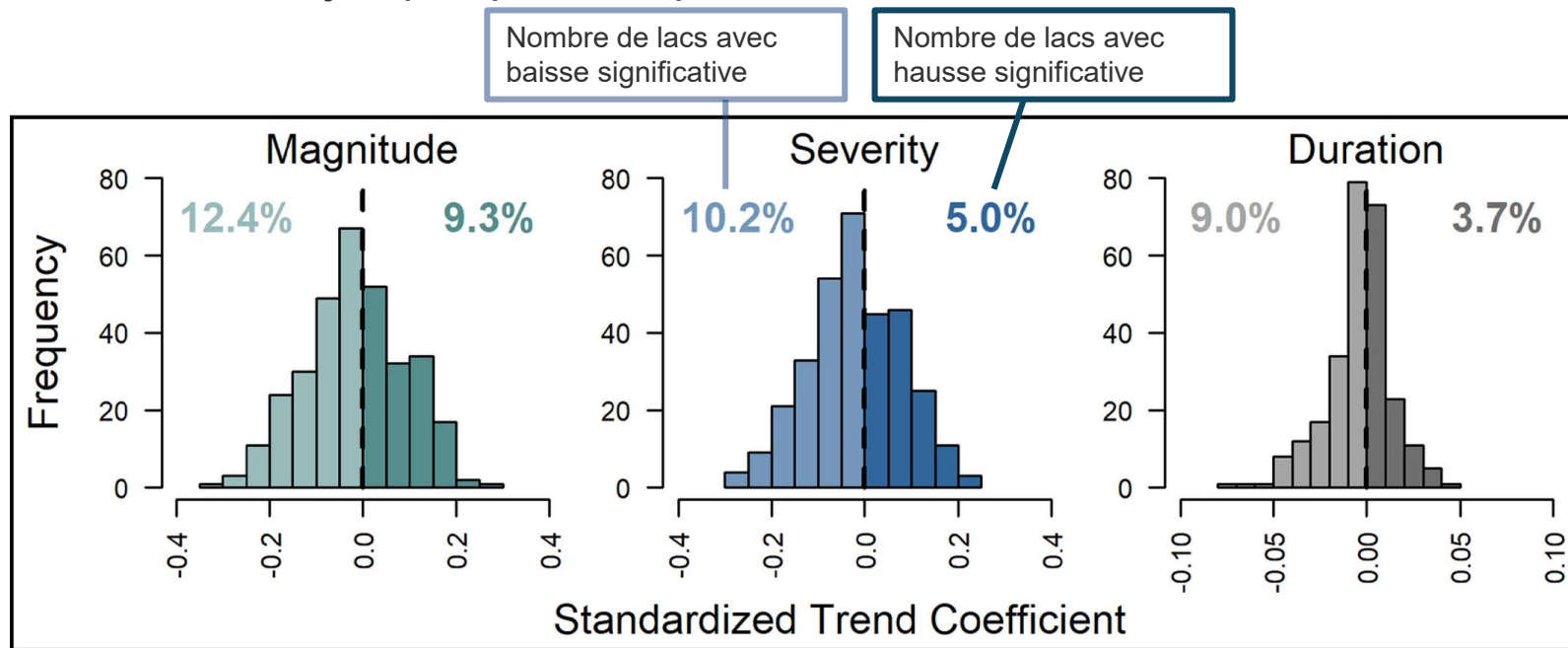
La teneur en oxygène tend globalement à baisser dans les lacs

En surface, moins de dissolution

En profondeur, une stagnation prolongée



363 lacs aux USA: jusqu'à présent, pas de tendance claire observée





Effets sur le phytoplancton?

Observations de l'état mondial par satellite

Ho et al. (2019)

Augmentation du phytoplancton dans les deux tiers des 71 grands lacs observés

Fang et al. (2022)

Augmentation des blooms de phytoplancton dans les deux tiers des 703 lacs observés. Baisse dans le dernier tiers, disparités géographiques

Difficile de distinguer les effets du changement climatique des autres phénomènes (eutrophisation, par exemple)

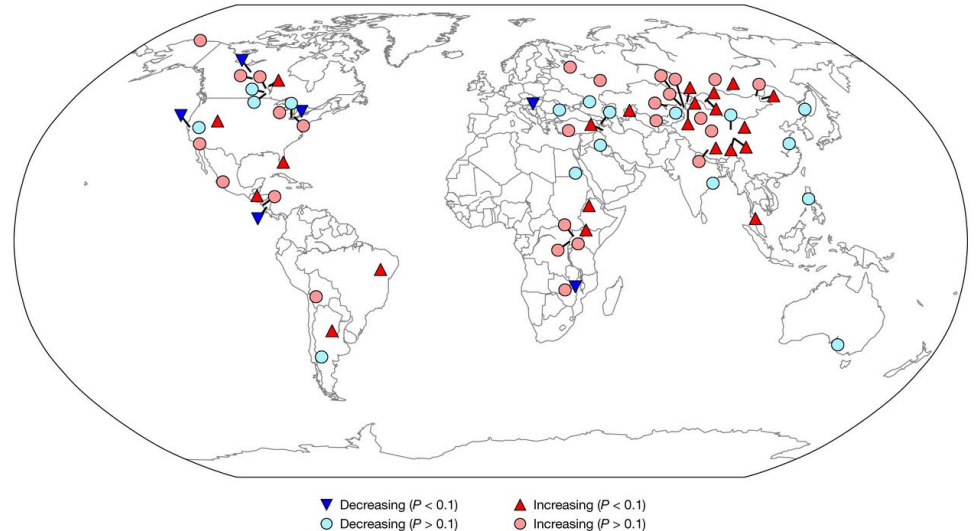


Figure: Ho et al, Nature (2019)

Questions en suspens: quels effets collatéraux sont importants?

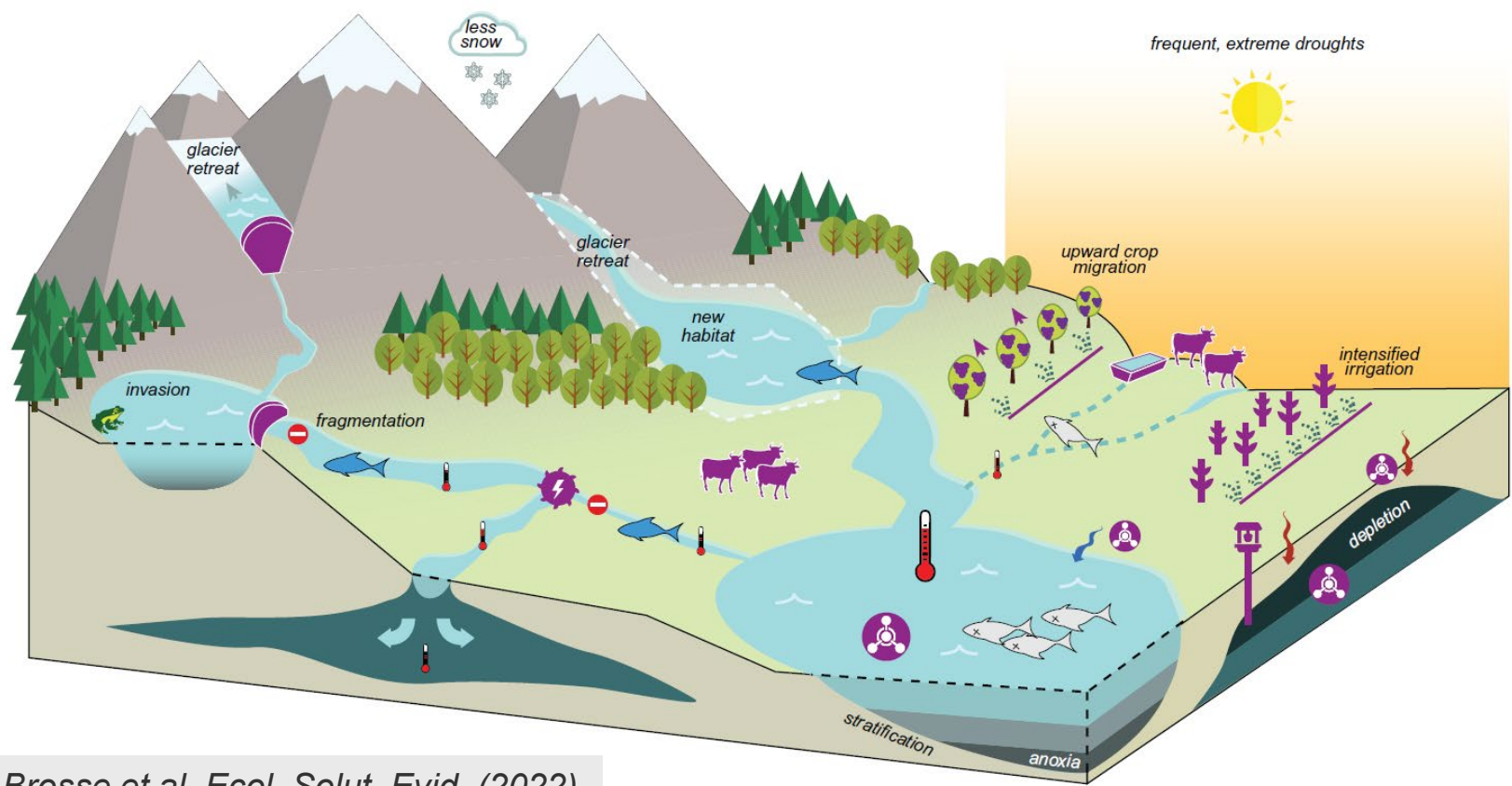
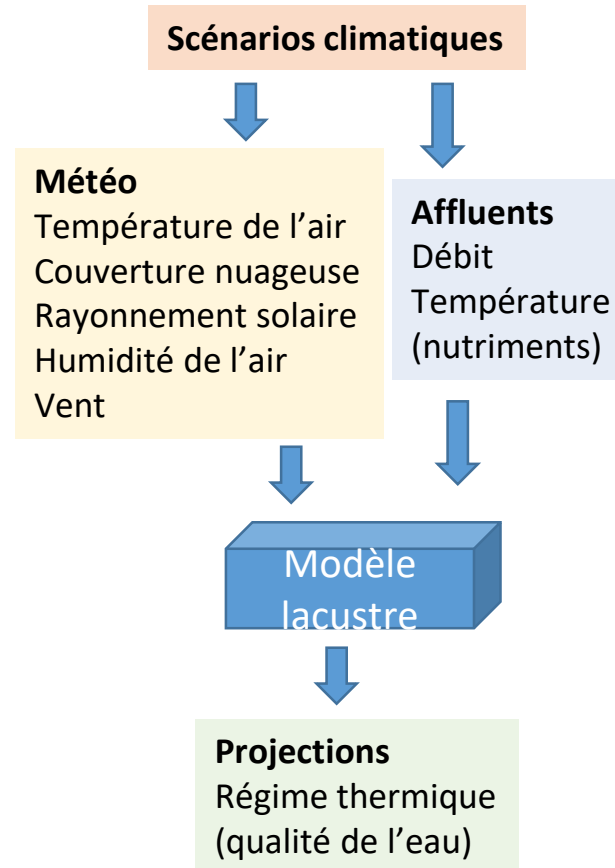


Figure: Brosse et al. Ecol. Solut. Evid. (2022)



Questions en suspens: quels effets collatéraux sont importants?

