

Mesure des effets des canicules sur les micro-climats de montagne

Rosalie Bruel^{1,2}, Florent Arthaud^{1,2}, Florence Magnin³,
Raphaëlle Napoleoni⁴, Colin Van Reeth⁵, Vincent Augé⁶,
Clotilde Sagot⁷, Mathieu Fructus⁸, Anne Delestrade⁵,
Carole Birck⁴, Philippe Choler^{9,10}

¹ OFB, DRAS, Service EcoAqua, Thonon-les-bains, France ; ² Pôle R&D ECLA, OFB-INRAE-USMB, Thonon-les-bains, France ; ³ Univ. Savoie Mont-Blanc, CNRS, Edytem, Le Bourget-du-lac, France ; ⁴ Asters-CEN74, Annecy, France ; ⁵ CREA Mont-Blanc ; ⁶ Parc National de la Vanoise ; ⁷ Parc National des Ecrins ; ⁸ Meteo France ; ⁹ Univ. Grenoble Alpes, Univ. Savoie Mont Blanc, CNRS, LECA, Grenoble, France ; ¹⁰ Univ. Grenoble Alpes, Univ. Savoie Mont Blanc, CNRS, LTSER Zone Atelier Alpes, Grenoble, France



4 août 2022, Réserve de Sixt-Passy (74)



4 août 2022, Réserve de Sixt-Passy (74)

En 2022, les lacs sentinelles de la Vanoise, des Ecrins et du Mercantour ont fait face à un été caniculaire inédit

30/09/2022

GÉNÉRAL



Campagne de prélèvements au lac Merlet, en cœur de Parc national de la Vanoise, pour le réseau Lacs Sentinelles © Alice Leroy - Parc national de la Vanoise

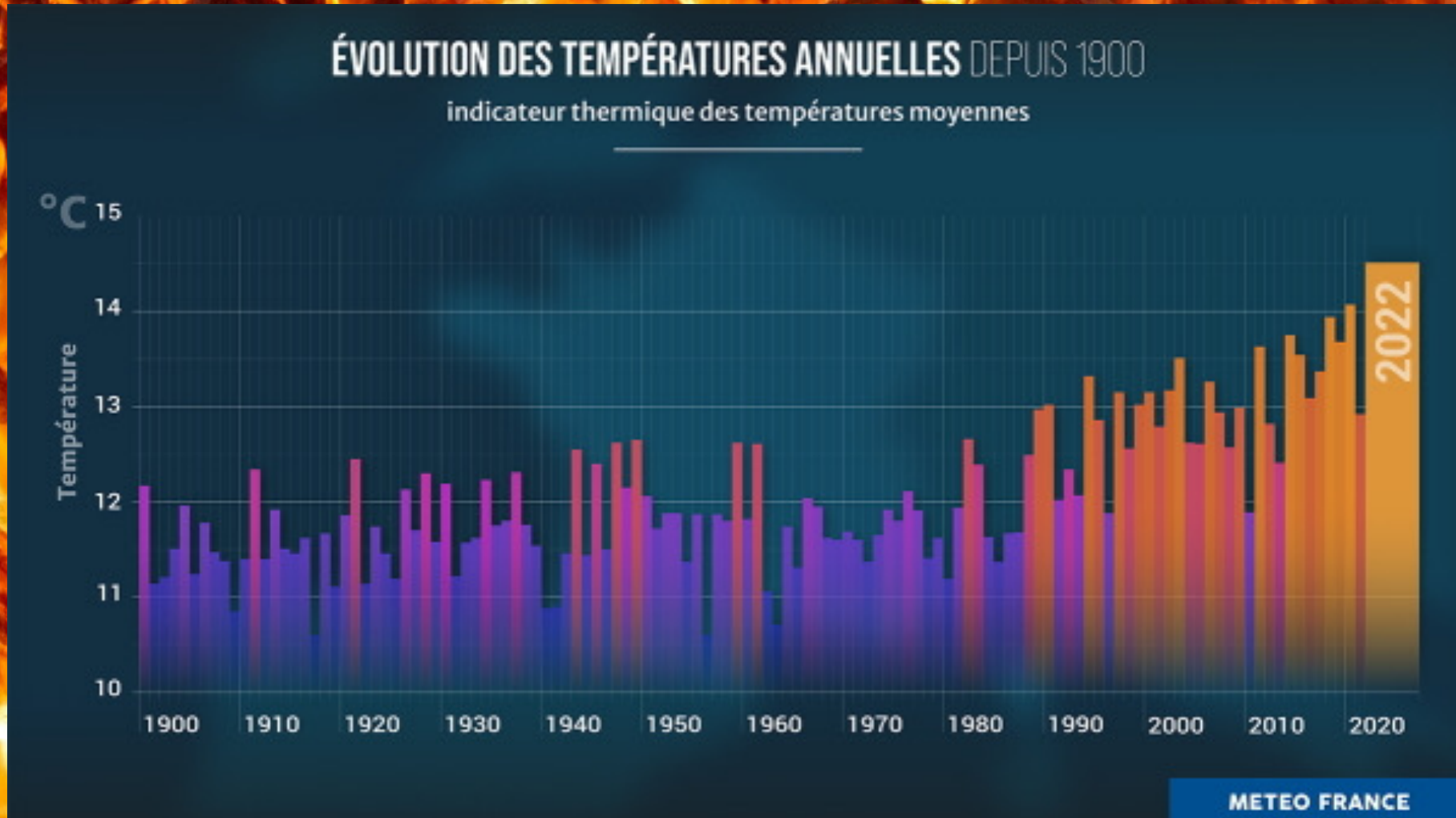
Il fait chaud !



Canicule et sécheresse 2022 dans le vallon de Font Turbat, Parc des Ecrins (© phototèque PNE)



2022 est l'année la plus chaude jamais enregistrée sur le territoire métropolitain depuis le début des relevés en 1900.
(Météo France, 23/01/2023)

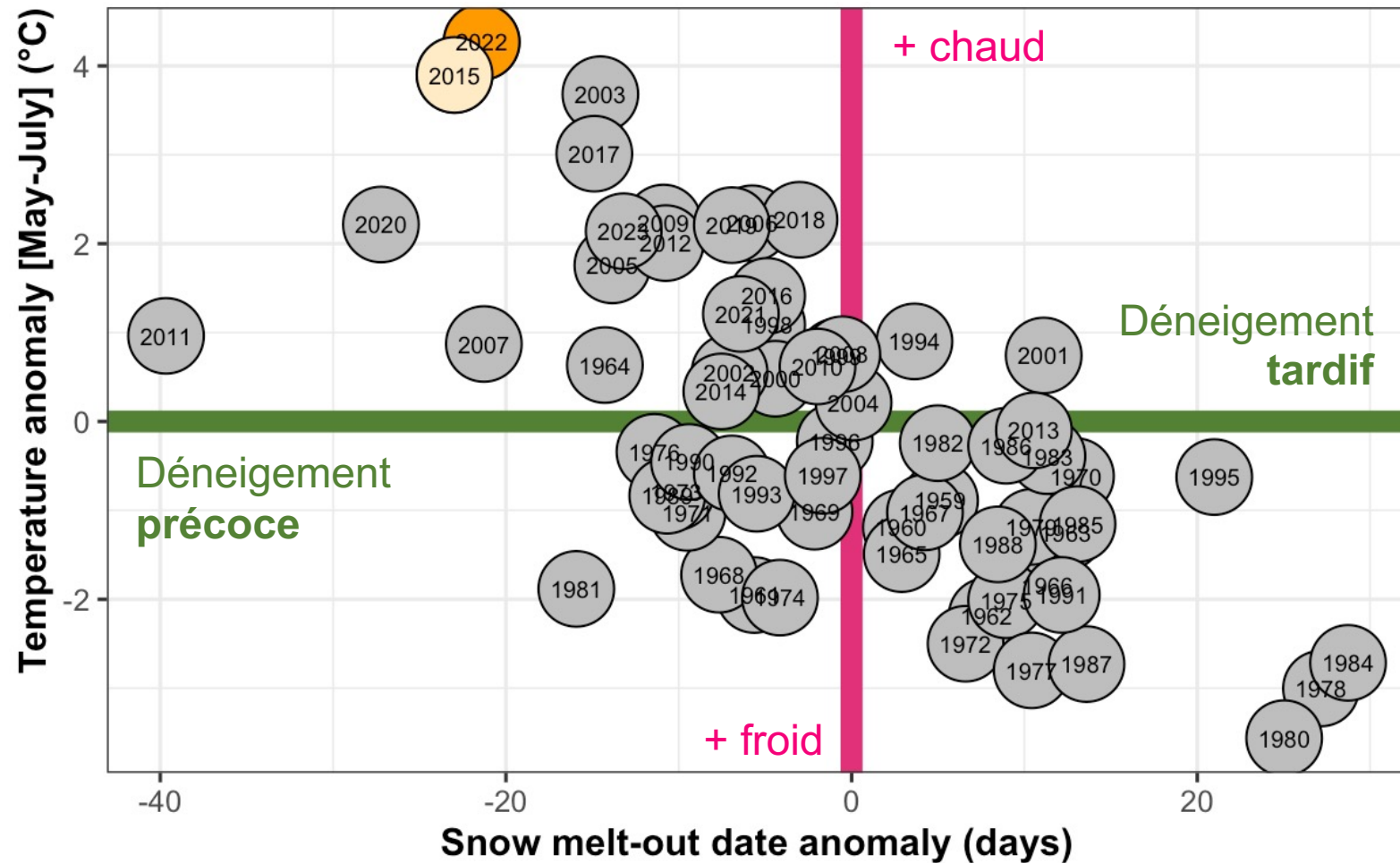


2022 a connu la 2e plus longue période de sécheresse des sols de son histoire.

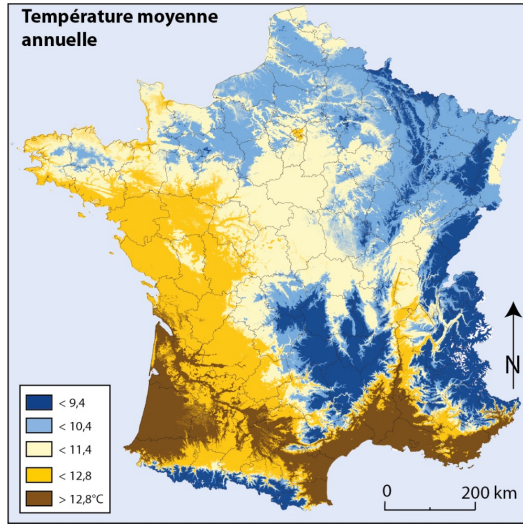
- Déficit persistant de précipitations à partir de la fin de l'hiver 2021-2022.
- Déficit pluviométrie + chaleurs = sécheresse des sols superficiels
➔ $\frac{3}{4}$ de la France concernés
- L'une des 5 sécheresses les plus importantes pour le territoire (selon les données disponibles).



2022 et 2015 se distinguent par **les températures atteintes** et la **précocité de la fonte des neiges**



Le microclimat



Macroclimat
(Joly et al 2010)

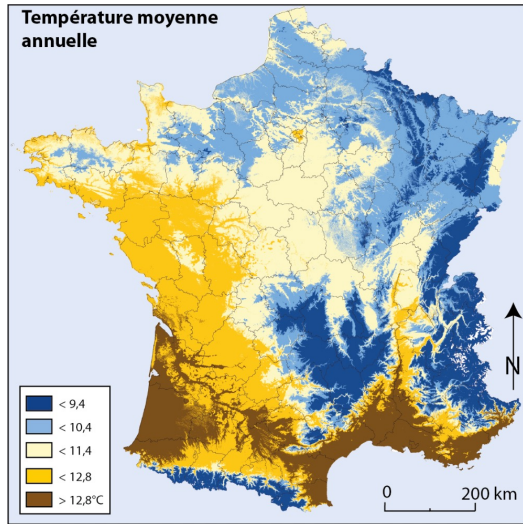


Topoclimat
= climat lié à une région
topographique réduite



Microclimat
= climat dans une zone restreinte qui
peut différer du climat environnant

Le microclimat



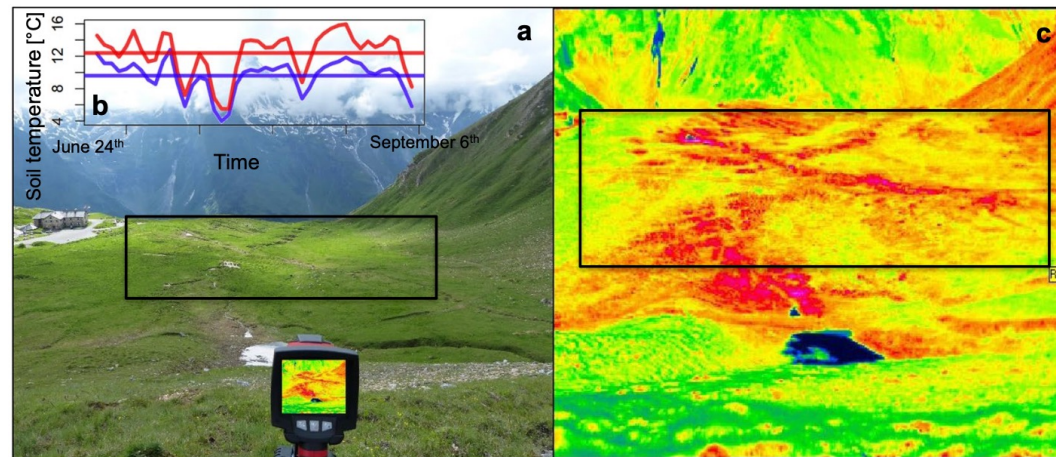
Macroclimat
(Joly et al 2010)



Topoclimat
= climat lié à une région topographique réduite



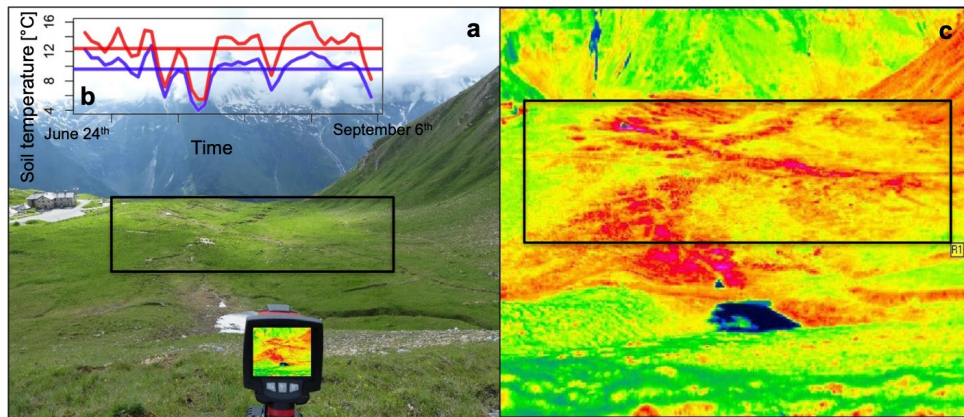
Microclimat
= climat dans une zone restreinte qui peut différer du climat environnant



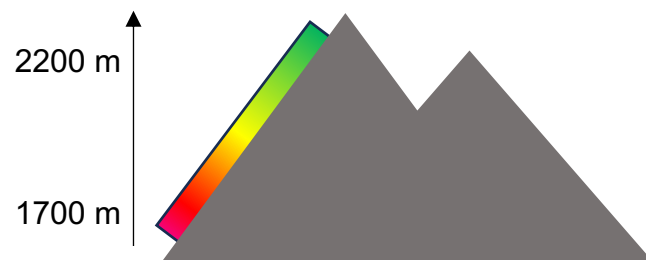
(Ohler, Lechleitner and Junker, 2020)

Le microclimat est également important pour déterminer présences, densités, et fonctions des espèces

La moyenne saisonnière de température des sols entre deux points d'une même prairie peut varier d'une amplitude similaire à l'amplitude de température entre deux points à 500 m d'altitude de différence

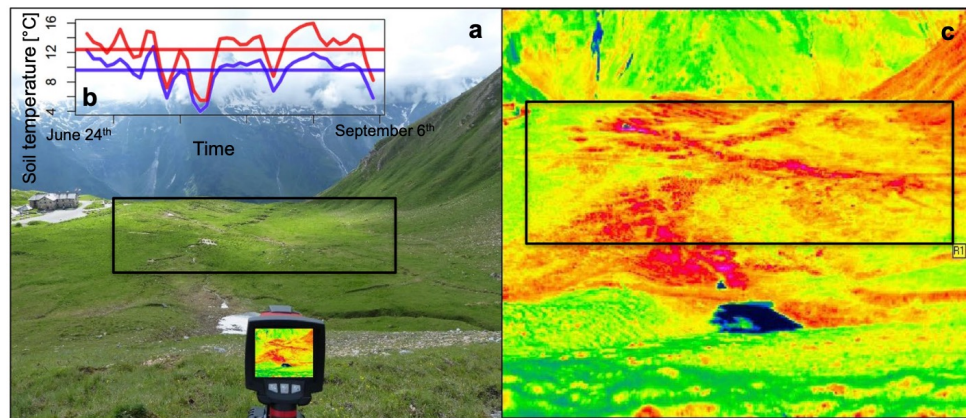


(Ohler, Lechleitner and Junker, 2020)

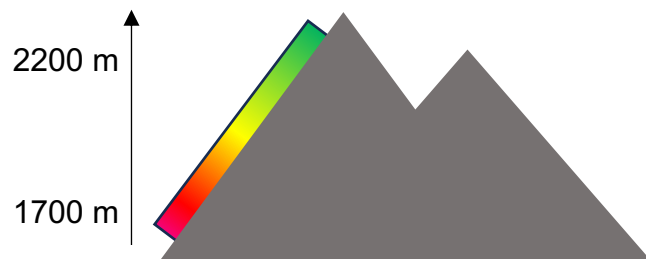


Le microclimat est également important pour déterminer présences, densités, et fonctions des espèces

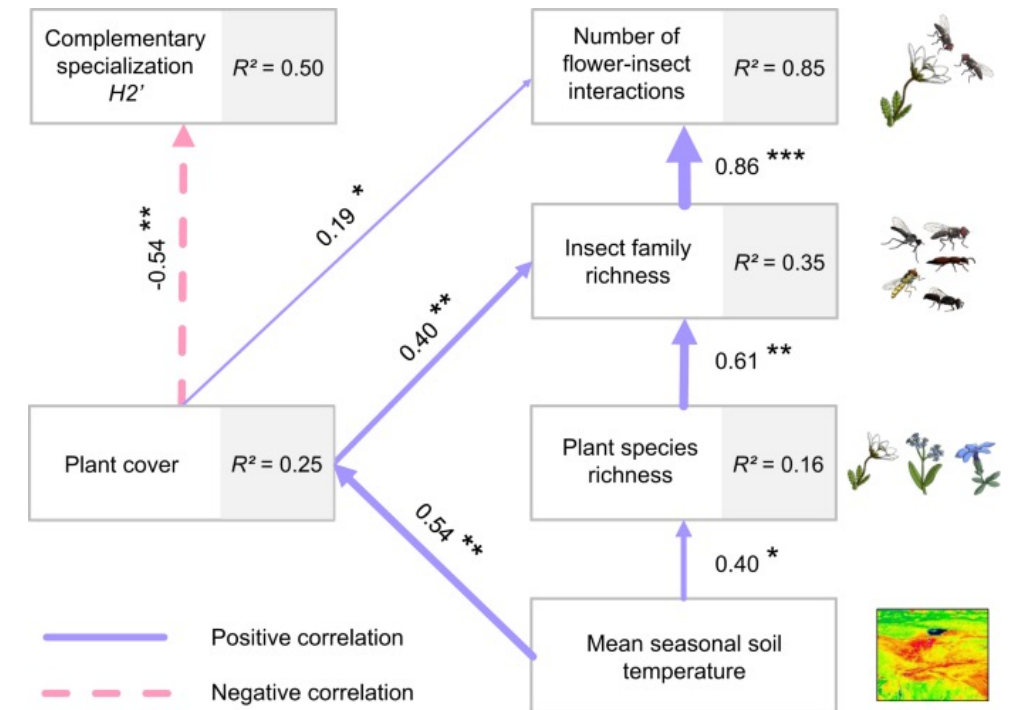
La moyenne saisonnière de température des sols entre deux points d'une même prairie peut varier d'une amplitude similaire à l'amplitude de température entre deux points à 500 m d'altitude de différence



(Ohler, Lechleitner and Junker, 2020)



Conséquences de la température sur la couverture en plantes, la richesse spécifique de plantes, la richesse d'insectes présents localement, et le nombre d'interactions plante-espèce (fonction de l'écosystème).



(Ohler, Lechleitner and Junker, 2020)

Problématique

Quel est l'impact de telles vagues de chaleur et sécheresse sur les lacs d'altitude ?



réseau lacs
sentinelles



Problématique

Quel est l'impact de telles vagues de chaleur et sécheresse sur les lacs d'altitude les microclimats des écosystèmes de montagne ?



Appel à projets de la Zone Atelier Alpes
Édition 2023

Porteurs du projet : C. Birck & P. Choler

Problématique

Quel est l'impact de telles vagues de chaleur et sécheresse sur **les microclimats des écosystèmes de montagne ?**



Appel à projets de la Zone Atelier Alpes
Édition 2023

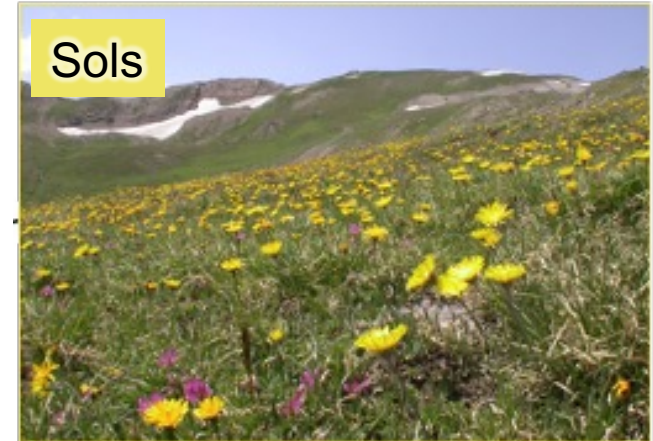
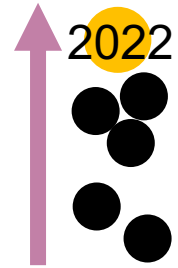
Porteurs du projet : C. Birck & P. Choler

Trois compartiments
sélectionnés :

- **Parois**
- **Sols**
- **Lacs**

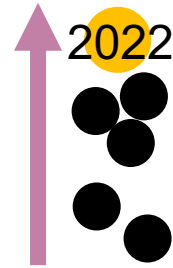
Hypothèses

1) Tous les compartiments montreront une réponse aux vagues de chaleurs (car des observations terrains témoignent de la particularité de l'année)

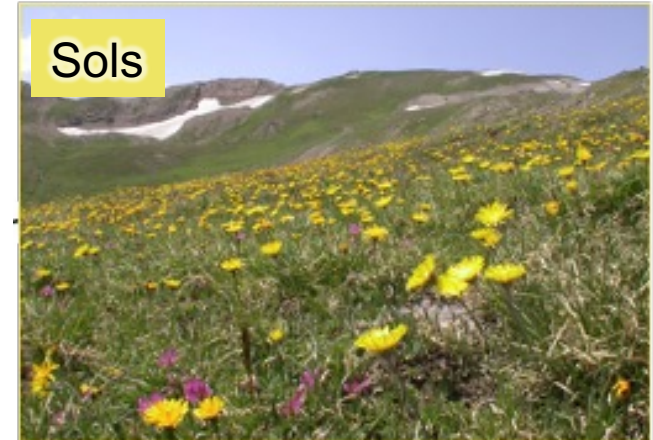
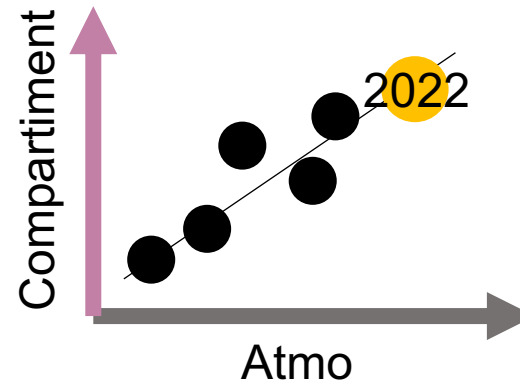


Hypothèses

1) Tous les compartiments montreront une réponse aux vagues de chaleurs (car des observations terrains témoignent de la particularité de l'année)

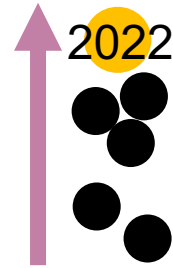


2) Il y aura une relation forçage-réponse

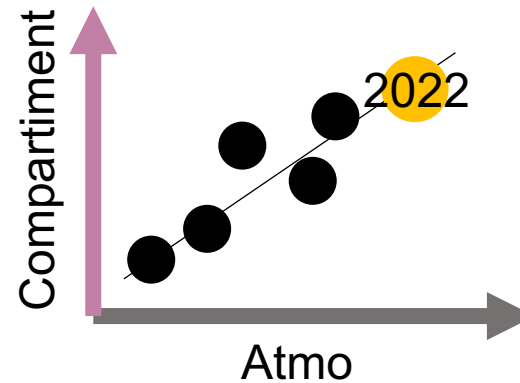


Hypothèses

1) Tous les compartiments montreront une réponse aux vagues de chaleurs (car des observations terrains témoignent de la particularité de l'année)

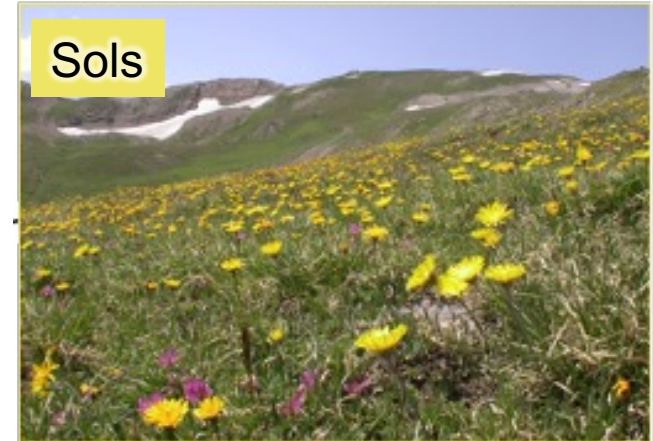


2) Il y aura une relation forçage-réponse



3) Amplitudes de réponses différentes d'un compartiment à l'autre

Couplage compartiment-atmosphère fort pour les lacs, compte-tenu de nos observations terrain.



Étapes du projet **CHAUD**

Réponse à l'appel à projets de la ZAA 2023



Appel à projets de la Zone Atelier Alpes
Édition 2023

UN SEUL FICHIER au FORMAT PDF à envoyer à zaa-direction@services.cnrs.fr
avant le 18 janvier 2023 à 12h avec le sujet : AP2023-ZAA

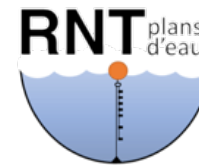
Titre du projet :	CHAUD : Chaleur Historique sur les Alpes – Unité et Diversité de la réponse des socio-écosystèmes de montagne
-------------------	---

Porteurs du projet :
Carole Birck & Philippe Choler

Appel à contributions
(identifications des sites et réseaux)



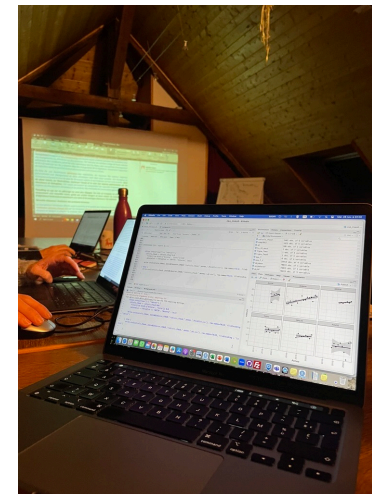
réseau lacs
sentinelles



(Parois, sols, lacs)

Réflexion sur des indicateurs de la canicule par compartiments, puis entre compartiments

Groupe de travail (Bauges, Novembre 2023)

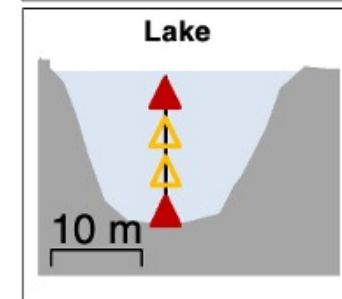
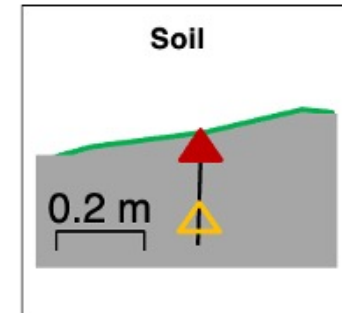
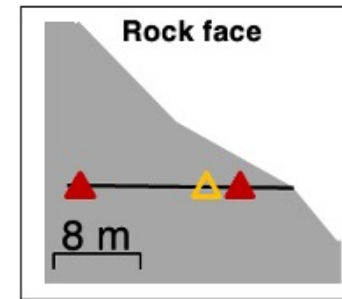
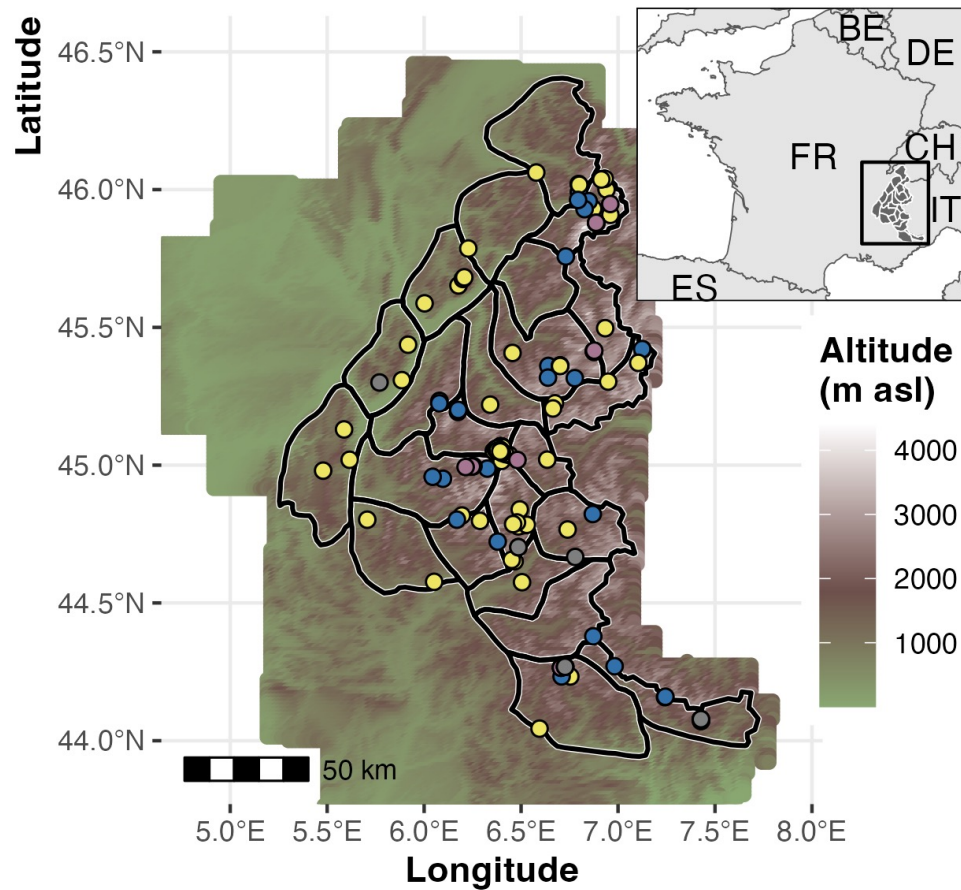


Article en préparation
(réunions tous les 2 mois)

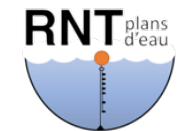


Préparation des données et calculs d'indicateurs

Méthodes : Sites et observatoires mobilisés



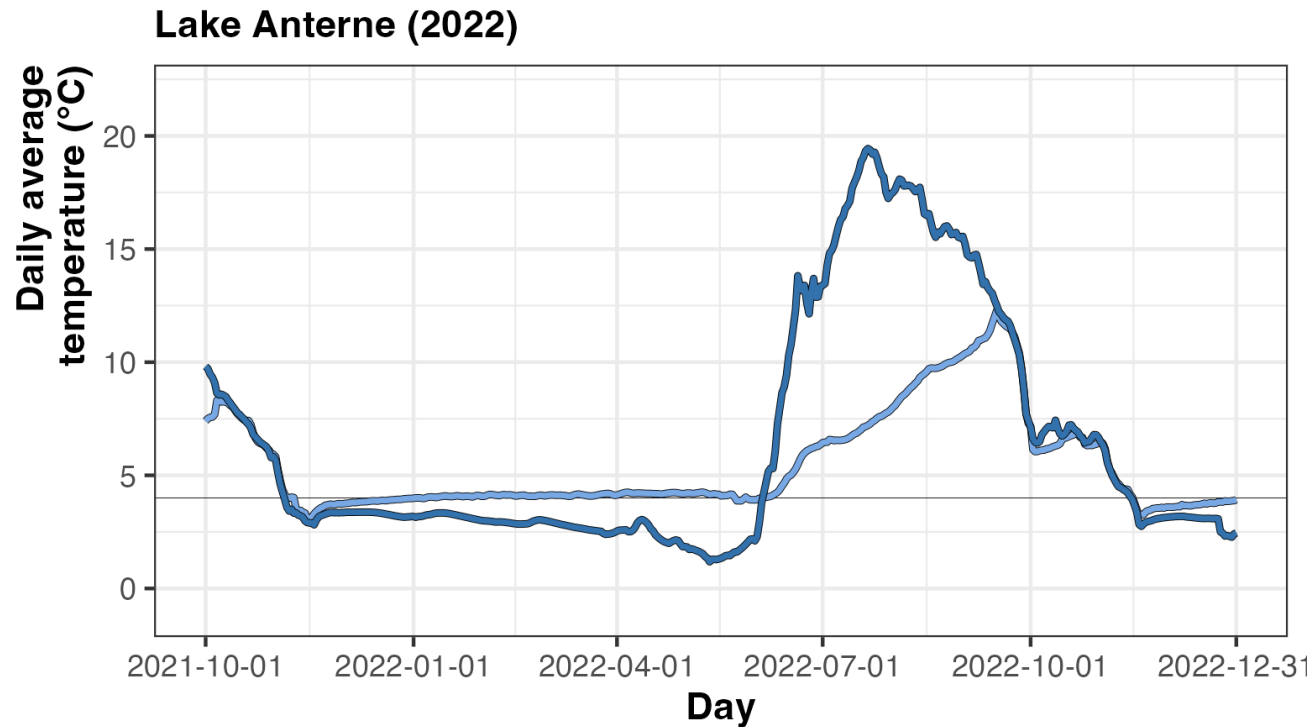
réseau lacs sentinelles



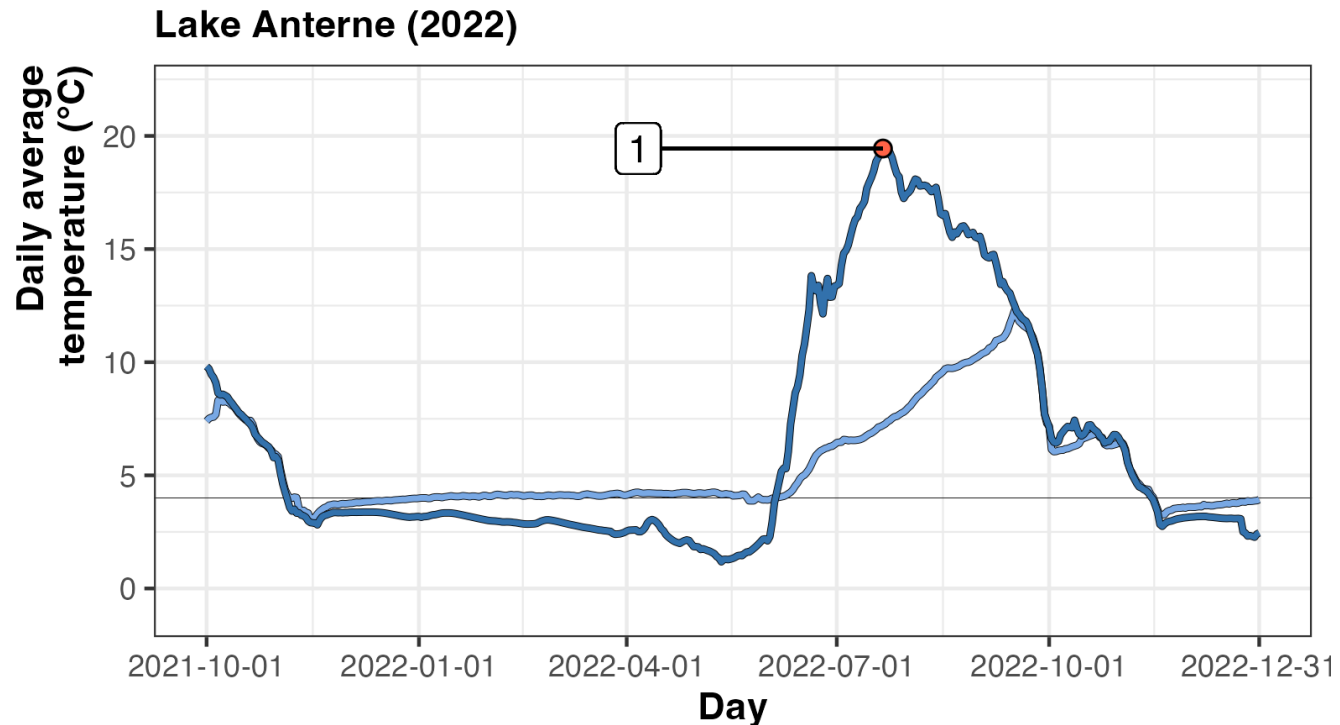
+ Forçage atmosphérique : données S2M
(Vernay et al. 2022)



Méthodes : Choix de 4 indicateurs **comparables entre compartiments** pour caractériser les vagues de chaleur

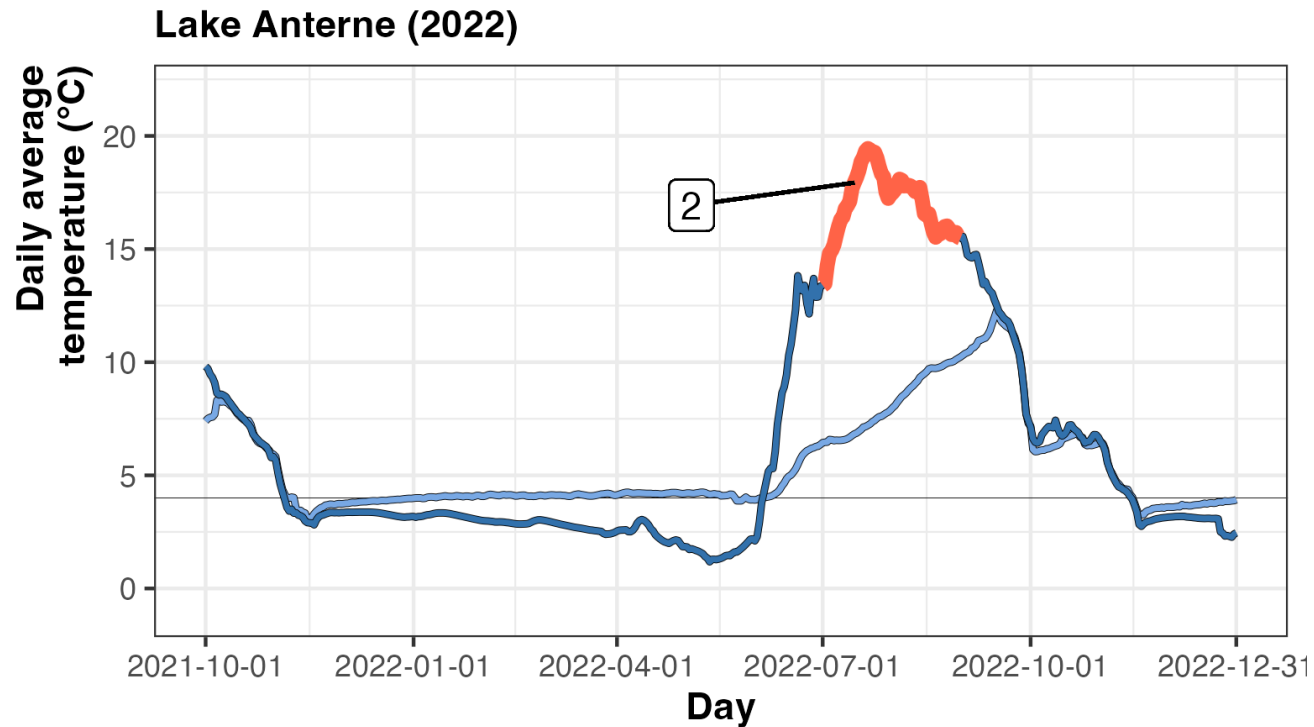


Méthodes : Choix de 4 indicateurs **comparables entre compartiments** pour caractériser les vagues de chaleur



Température horaire maximale

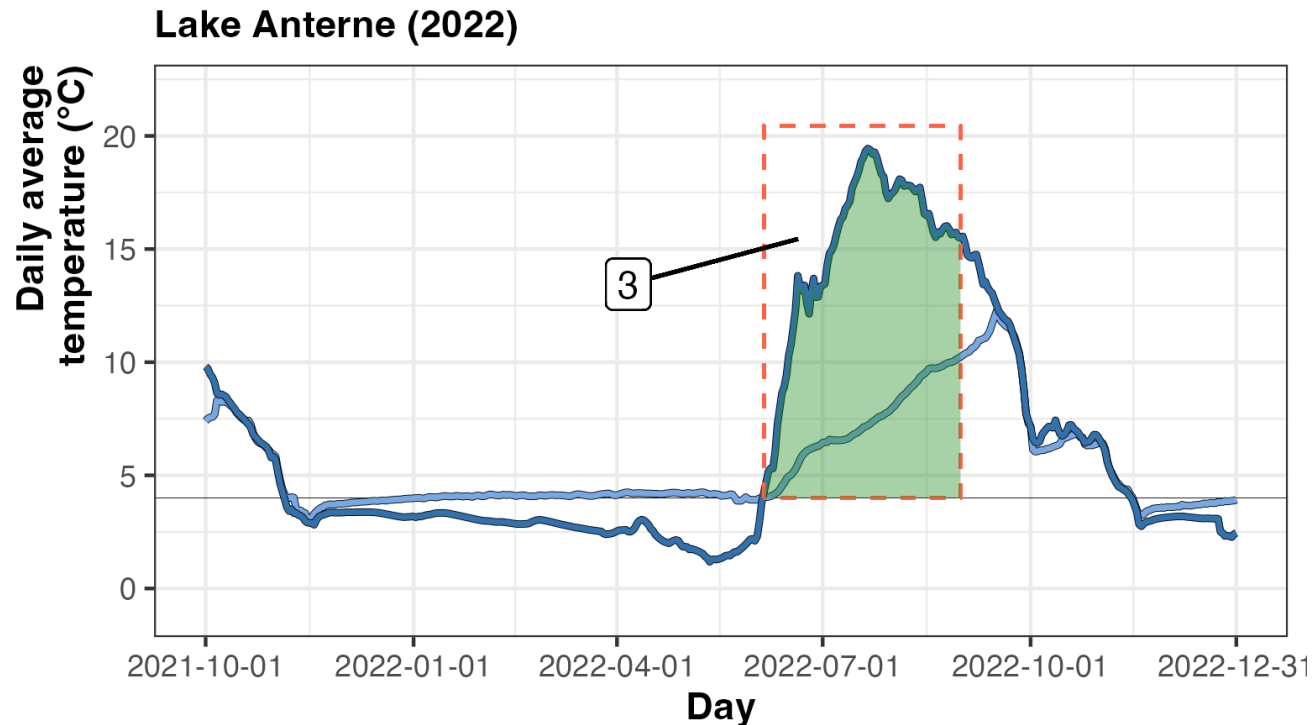
Méthodes : Choix de 4 indicateurs comparables entre compartiments pour caractériser les vagues de chaleur



Température moyenne juillet-août

Température horaire maximale

Méthodes : Choix de 4 indicateurs comparables entre compartiments pour caractériser les vagues de chaleur

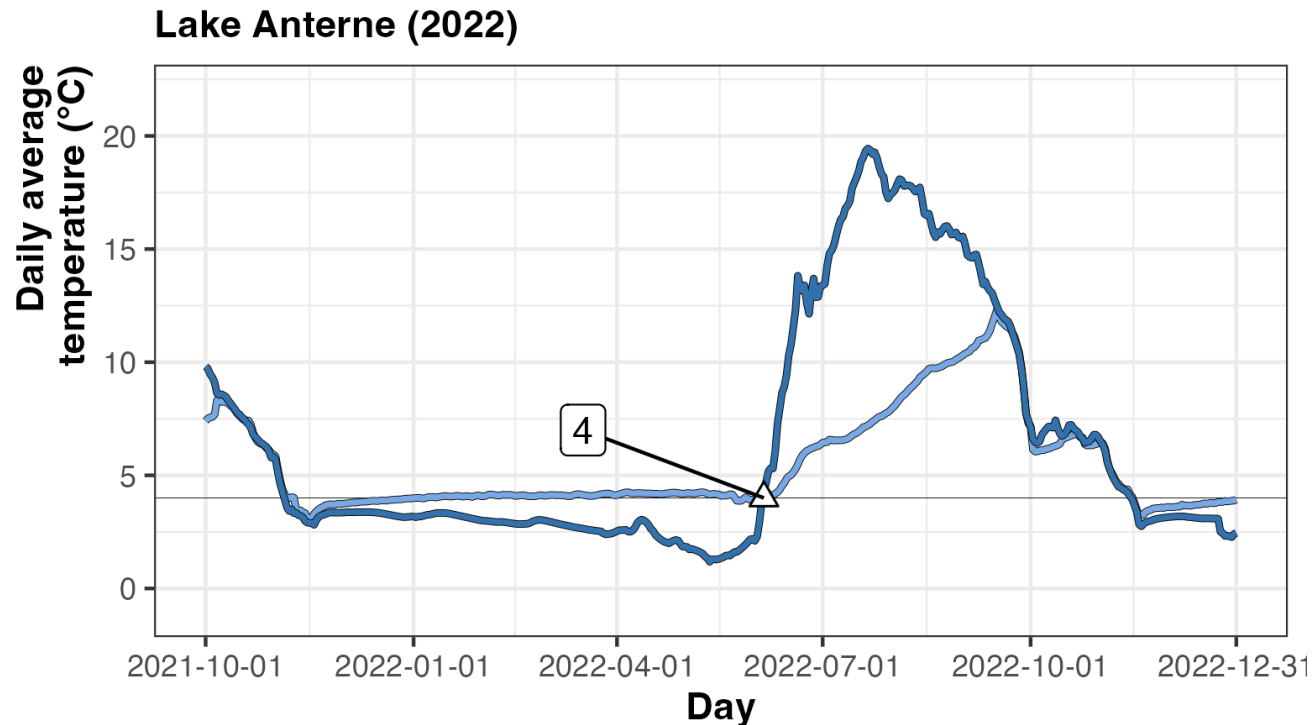


Température moyenne juillet-août

GDD:TDD $DD_n = \sum_{i=1}^n \max(T_{daily_i} - T_{base}, 0)$

Température horaire maximale

Méthodes : Choix de 4 indicateurs comparables entre compartiments pour caractériser les vagues de chaleur



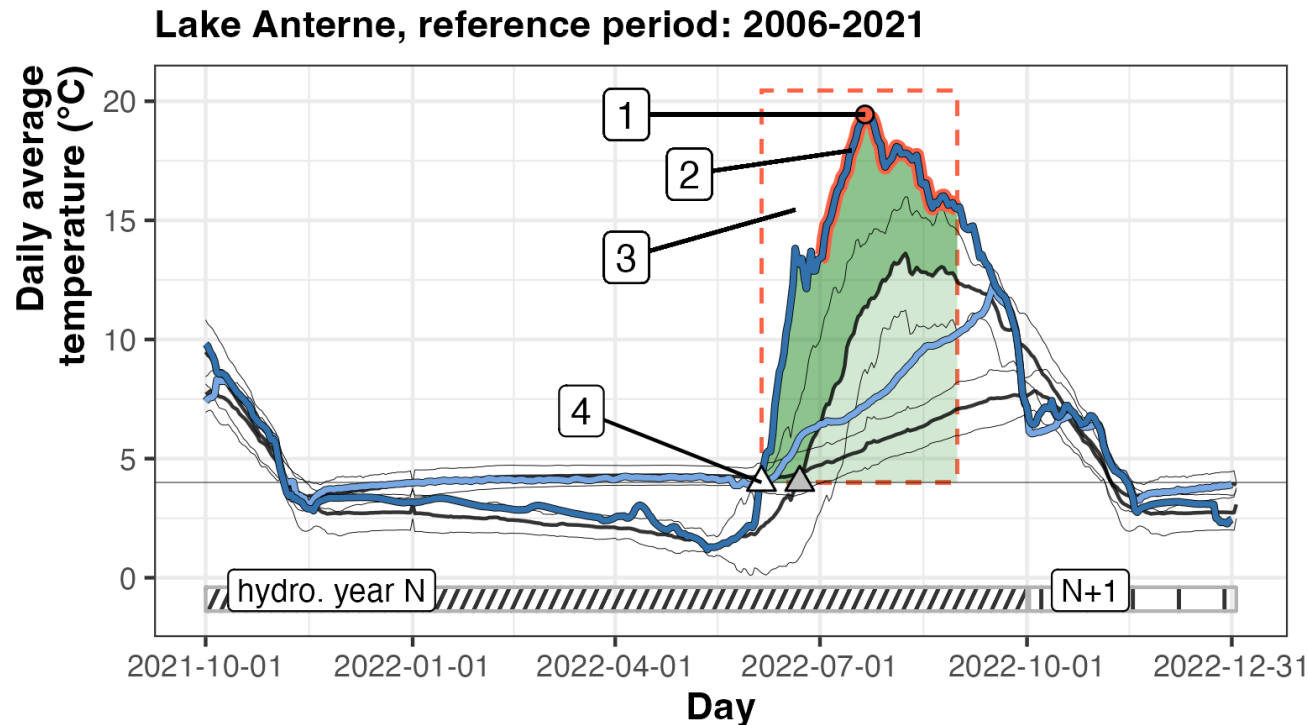
Température moyenne juillet-août

GDD:TDD

Température horaire maximale

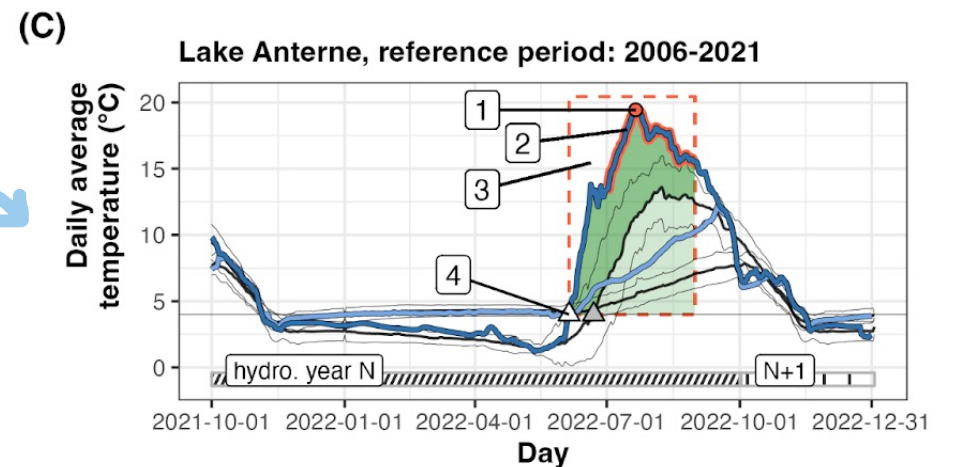
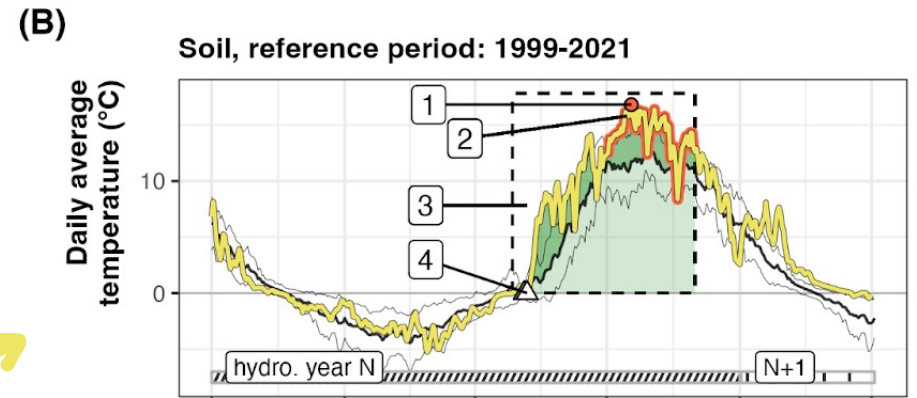
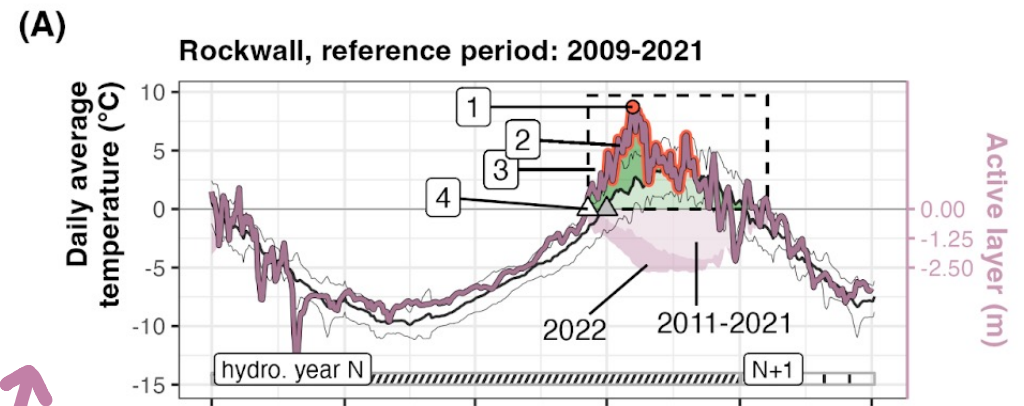
Jour de brassage printannier

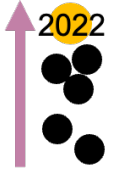
Méthodes : Choix de 4 indicateurs comparables entre compartiments pour caractériser les vagues de chaleur



1. Température horaire maximale
2. Température moyenne juillet-août
3. GDD:TDD
4. Jour de brassage printannier

Méthodes : Choix de 4 indicateurs comparables entre compartiments pour caractériser les vagues de chaleur



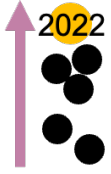


1. Anomalies : travail sur 2015 et 2022

Valeur de l'indicateur année vague de chaleurs - moyenne des autres années = **Anomalie**

Exemple, $T_{\text{juillet-août}}$, Malrif (05), 2015 : 14,5 °C - 12.7°C = **1.78°C**

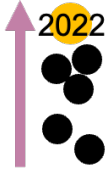
Exemple, $T_{\text{juillet-août}}$, Malrif (05), 2022 : 14,9 °C - 12.7°C = **2.22°C**



1. Anomalies : travail sur 2015 et 2022

Valeur de l'indicateur année vague de chaleurs	-	moyenne des autres années	= Anomalie
Exemple, $T_{\text{juillet-août}}$, Malrif (05), 2015 : 14,5 °C	-	12.7°C	= 1.78°C
Exemple, $T_{\text{juillet-août}}$, Malrif (05), 2022 : 14,9 °C	-	12.7°C	= 2.22°C
Exemple, $T_{\text{juillet-août}}$, Arpont* (73), 2015 : 4,4 °C	-	7.96°C	= -3.56°C
Exemple, $T_{\text{juillet-août}}$, Arpont* (73), 2022 : 14,5 °C	-	6.7°C	= 7.8°C

(* déconnection du lac de l'Arpont et de son glacier en 2019)



1. Anomalies : travail sur 2015 et 2022

Valeur de l'indicateur année vague de chaleurs

- moyenne des autres années = **Anomalie**

Exemple, $T_{\text{juillet-août}}$, Malrif (05), 2015 : 14,5 °C

- 12.7°C

= 1.78°C

Exemple, $T_{\text{juillet-août}}$, Malrif (05), 2022 : 14,9 °C

- 12.7°C

= 2.22°C

Exemple, $T_{\text{juillet-août}}$, Arpont (73), 2015 : 4,4 °C

- 7.96°C





= -3.56°C

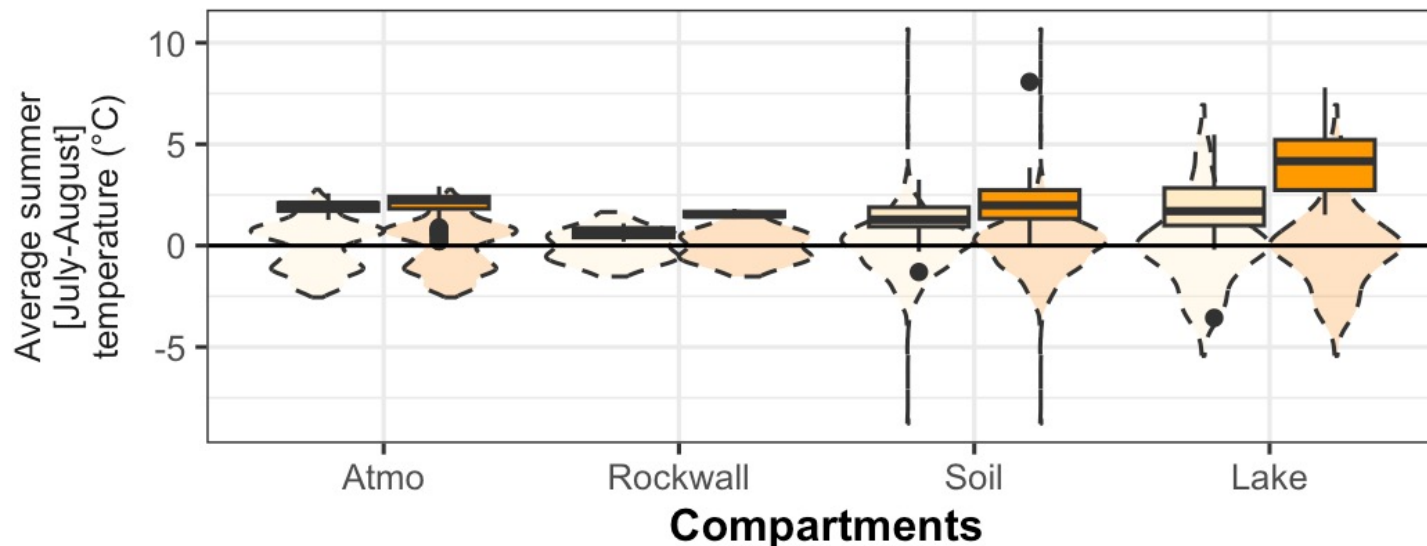
Exemple, $T_{\text{juillet-août}}$, Arpont (73), 2022 : 14,5 °C

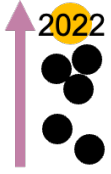
- 6.7°C

= 7.8°C

Dataset

 Heat wave year  Reference years  2015  2022





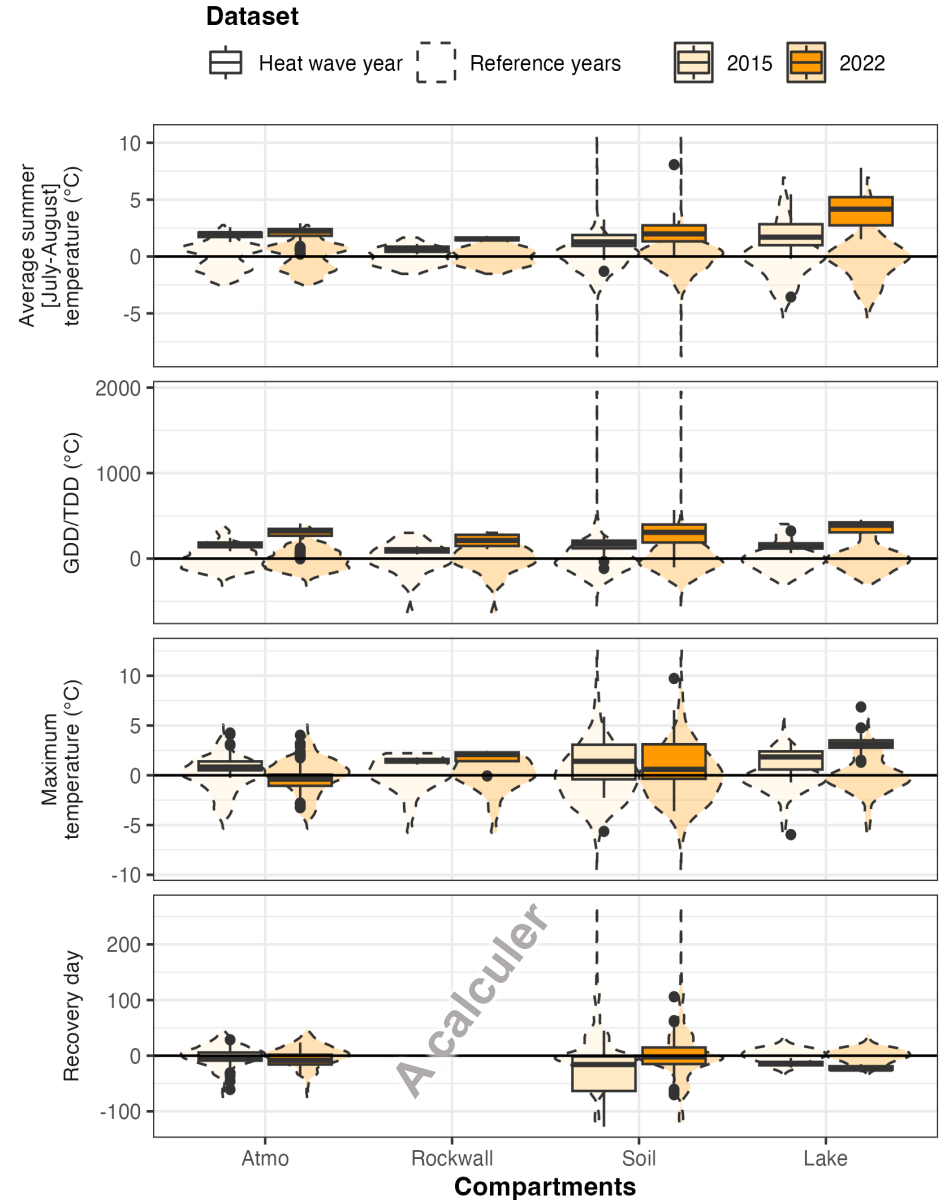
1. Anomalies :

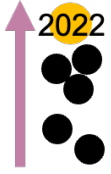
- travail sur 2015 et 2022
- 3 compartiments + atmo
- 4 indicateurs

Réponses des indicateurs années de canicules vs. autres années:

Indicateur	Atmo		Rockwall		Soil		Lake	
	2015	2022	2015	2022	2015	2022	2015	2022
Temp. juillet-août	****	****	ns	***	****	****	**	****
GDD/TDD	****	****	*	****	****	****	*	****
Tmax	****	***	**	*	**	*	ns	****
Recovery day	*	****	A calculer		***	ns	****	****

Differences in indicator values between the heat waves years and the rest of the available data





1. Anomalies :

- travail sur 2015 et 2022
- 3 compartiments + atmo
- 4 indicateurs

Réponses entre compartiments (années de canicules)

Year	group1	group2	Temp. juillet-août	GDD/TDD	Tmax	Recovery day
2015	Atmo	Soil	**** (5.13)	*** (3.9)		
2015	Atmo	Lake		*** (5.07)		
2015	Lake	Soil		* (2.45)		
2022	Lake	Atmo	**** (5.8)		**** (12.78)	** (3.61)
2022	Lake	Rockwall	**** (6.59)		* (3.1)	
2022	Lake	Soil	*** (4.68)		* (2.58)	
2022	Rockwall	Atmo			* (4.41)	
2022	Soil	Atmo			* (3.09)	
2022	Atmo	Lake		**** (9.65)		
2022	Soil	Lake		*** (3.89)		

GDD

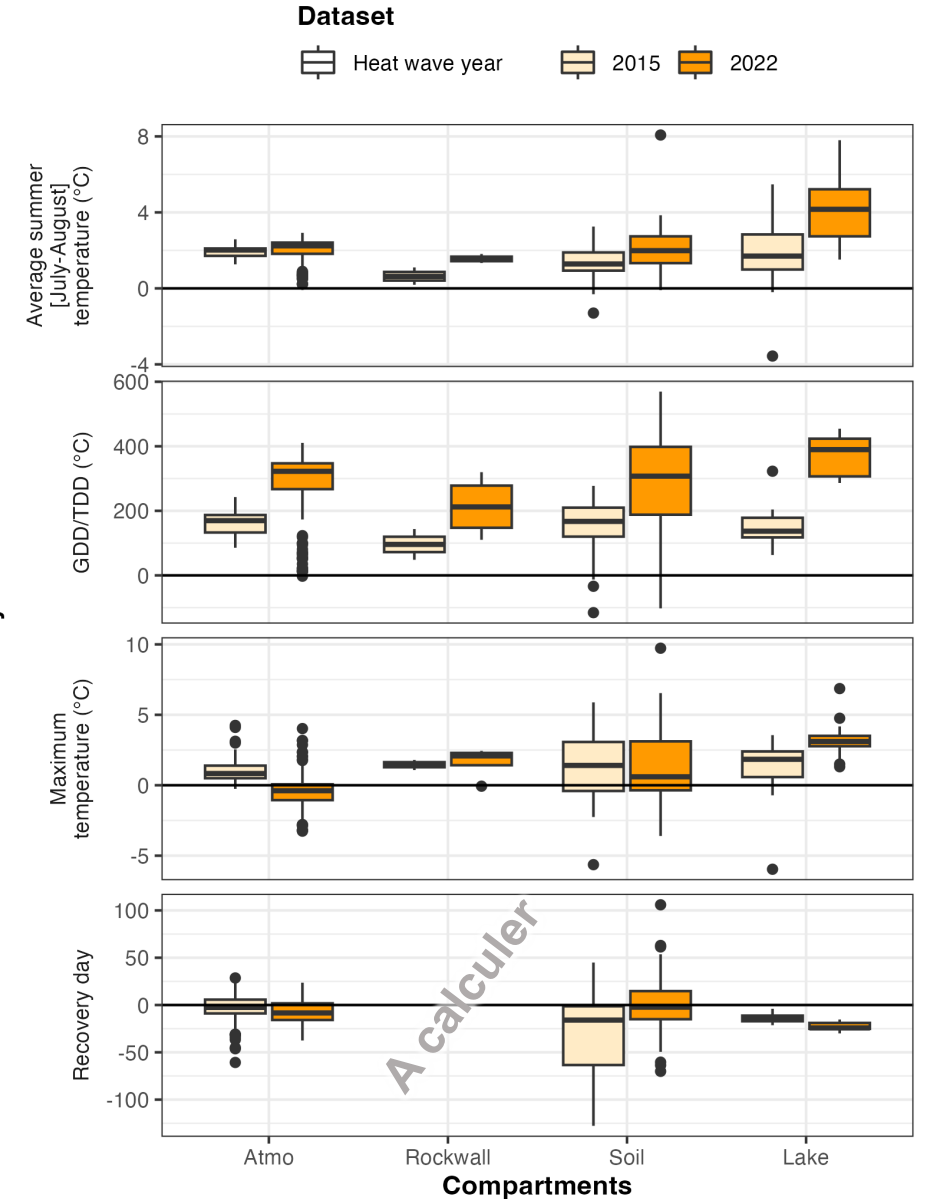
En 2015 :
Lac < Atmo
Lac > Sol

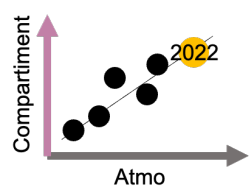
En 2022 :
Lac < Atmo
Lac < Sol

T_{juillet-août} - T_{max}

En 2022 :
Lac > Atmo
Lac > Parois
Lac > Sol

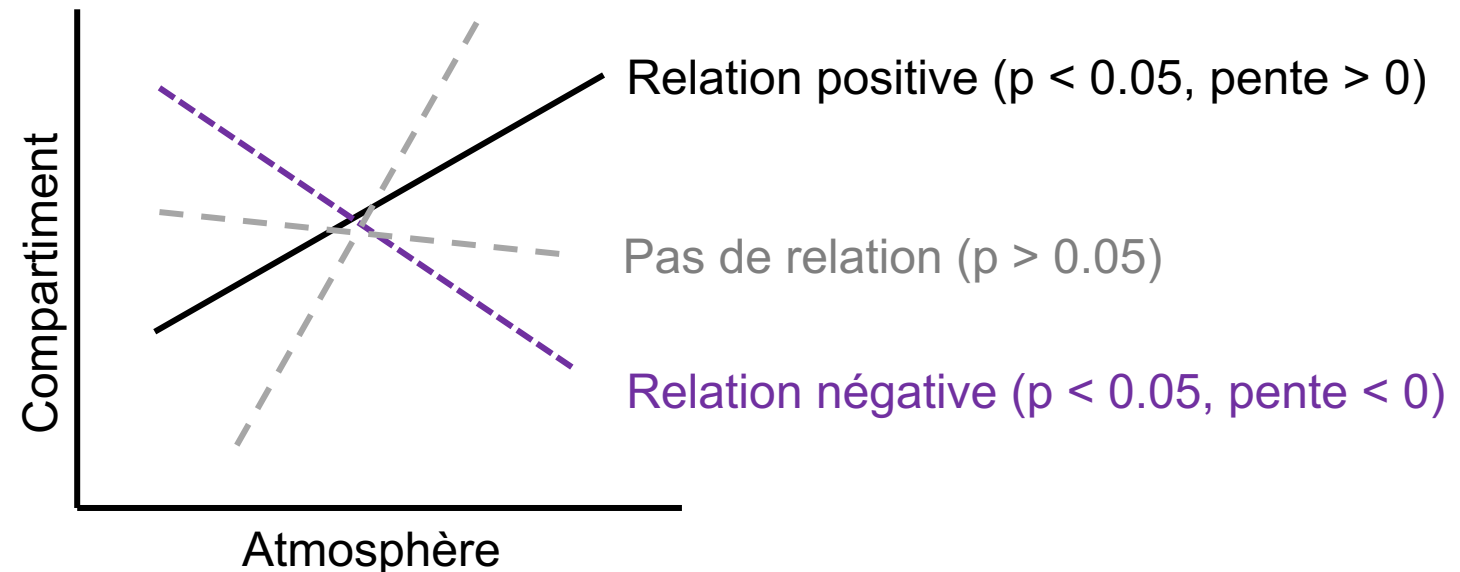
Differences in indicator values between the heat waves years and the rest of the available data

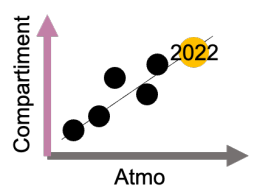




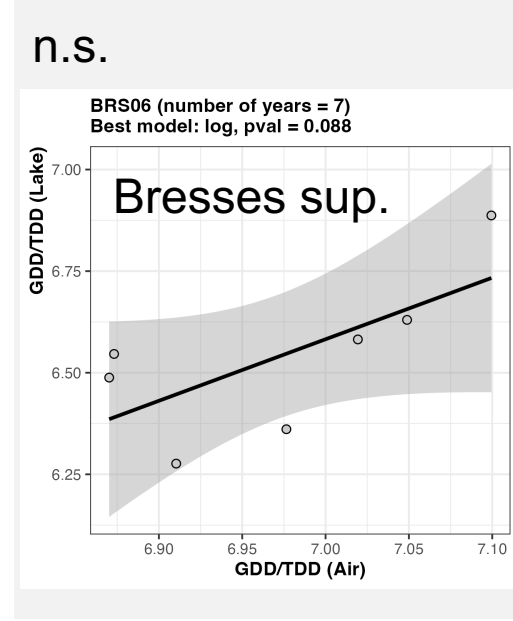
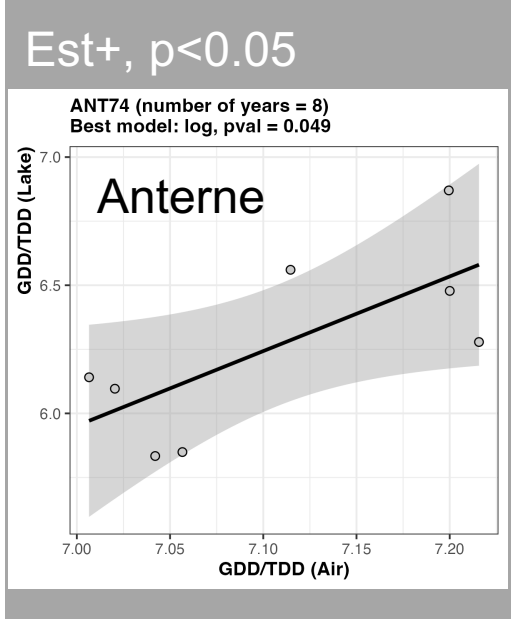
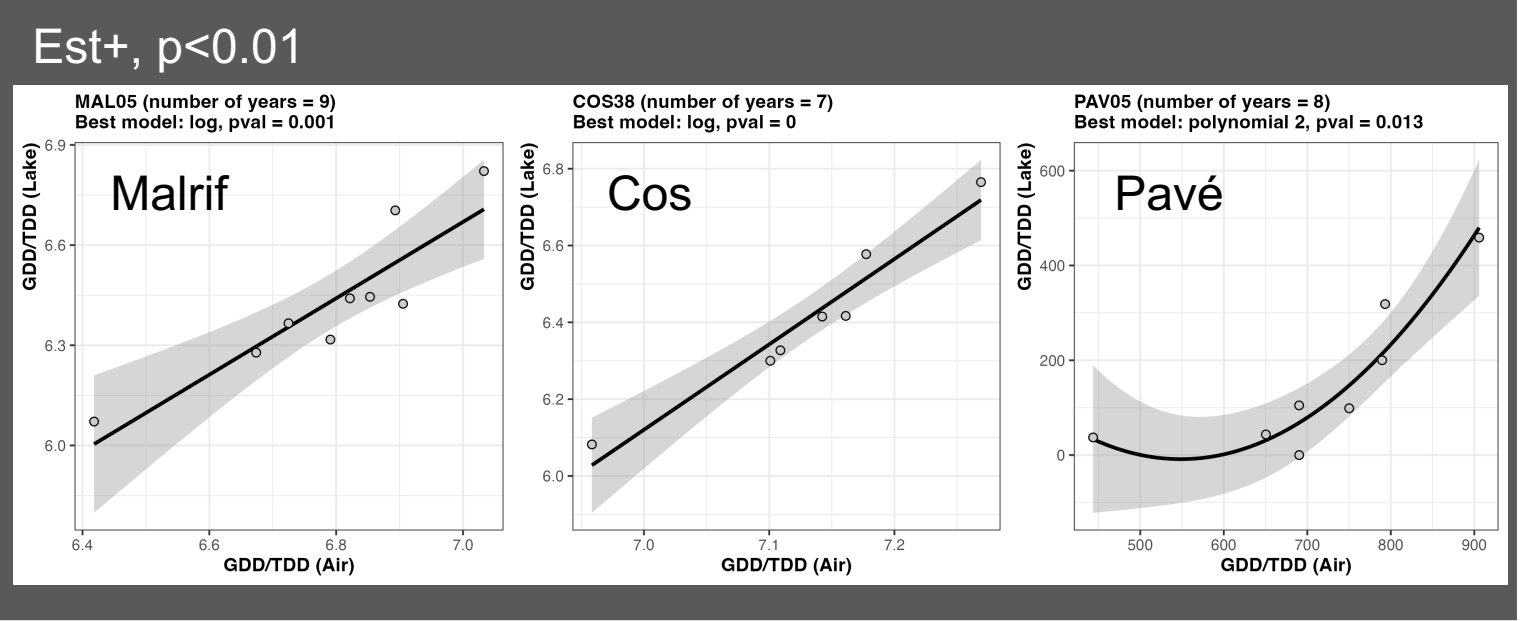
2. Relations forçage - réponse

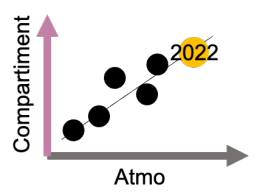
1. Sélection des sites avec 5+ années de données
2. Tests de relations :
 - Linéaire données brutes
 - Linéaires données transformées en log10
 - Modèle polynomial d'ordre 2 (relation en cloche ou amplifiée)
3. Choix du meilleur modèle selon critère AIC
4. Extraction
 - Niveau de significativité (3 niveaux : n.s., $p < 0.05$, $p < 0.01$)
 - Pente



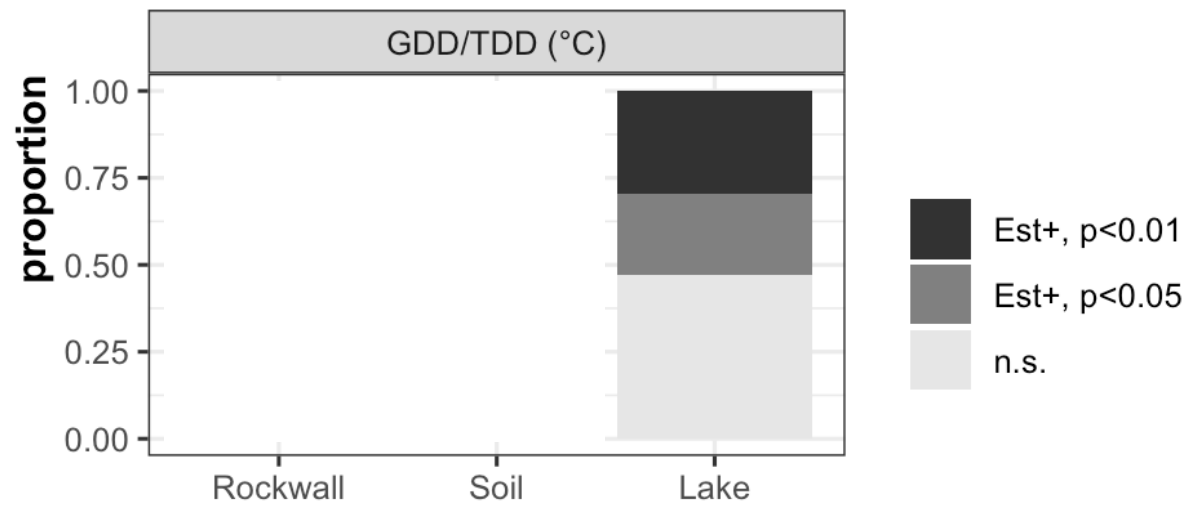
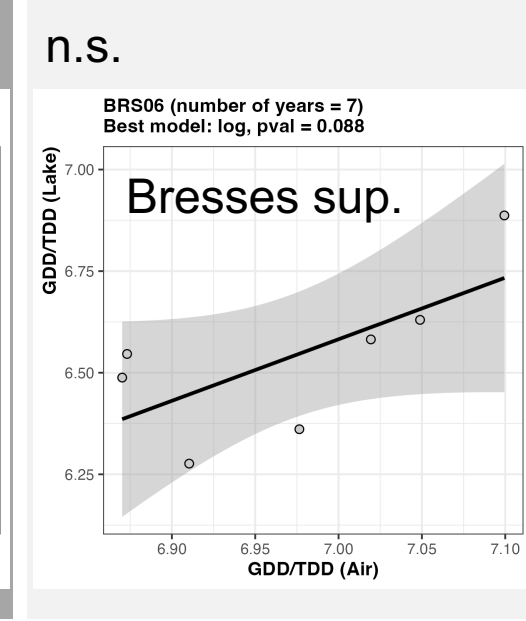
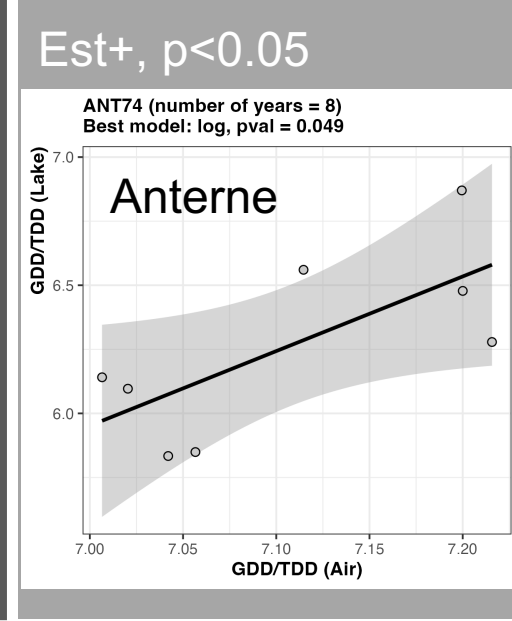
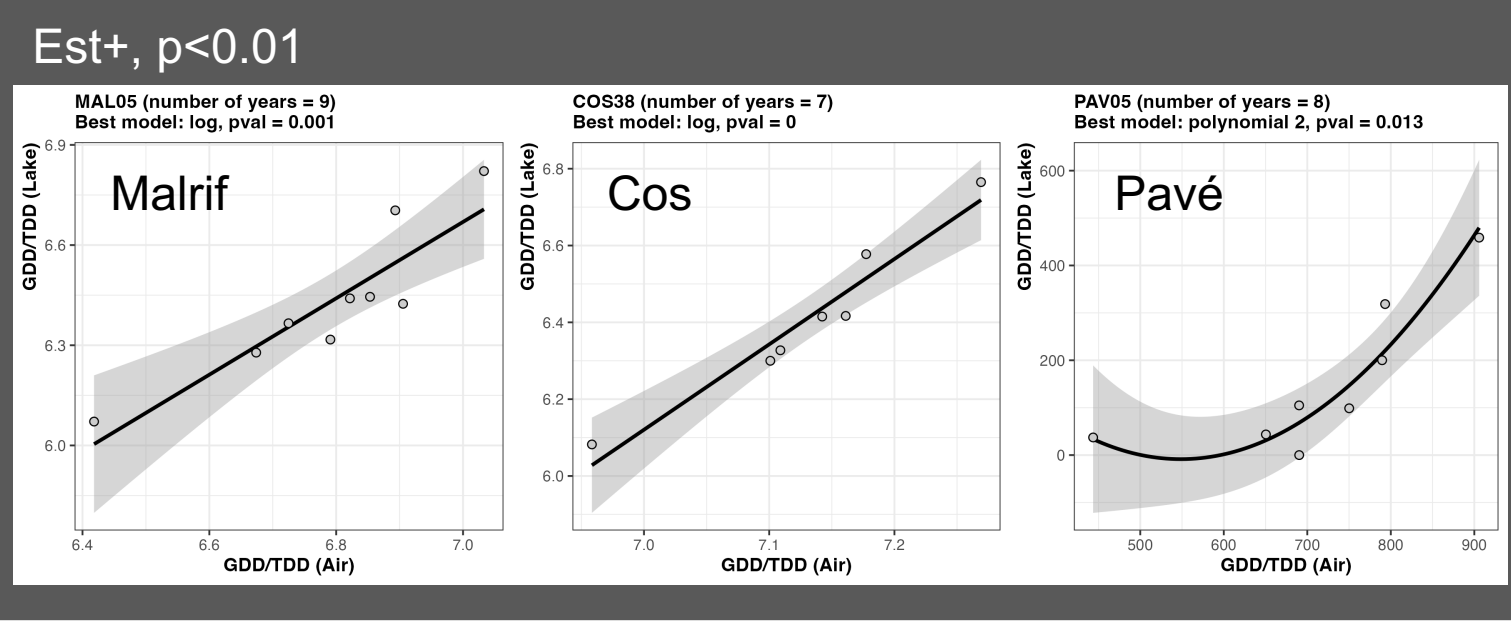


2. Relations forçage - réponse

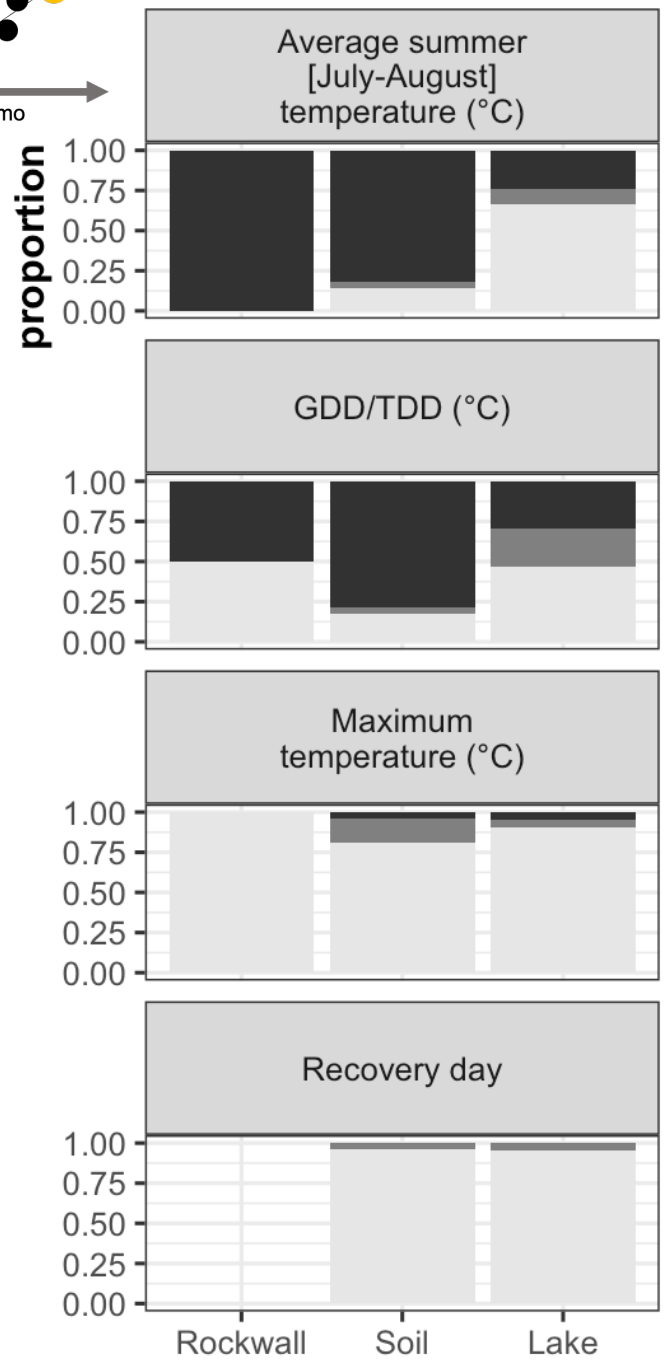
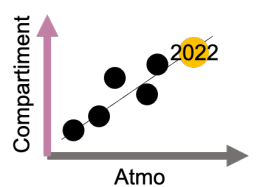




2. Relations forçage - réponse





Pour les lacs :
 50% → pas de relation forçage - réponse
 50% → relation positive



- Les indicateurs plus intégrateurs montrent un lien plus fort entre forçage et réponse.
- Hétérogénéité des compartiments

- Pas de lien entre la précocité du réchauffement de l'air et celui du compartiment, ni avec les Tmax

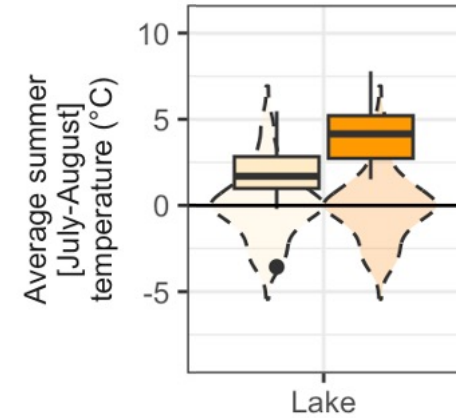
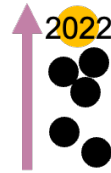
 Résultats préliminaires

 Seulement 1-2 sites pour rockwall !

Discussion

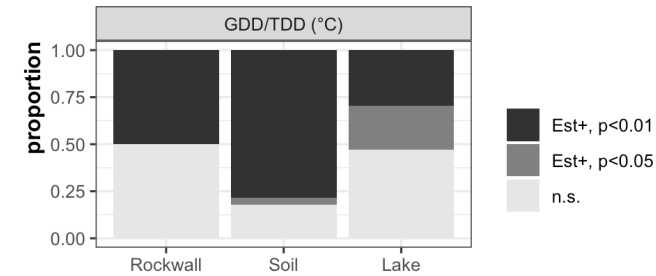
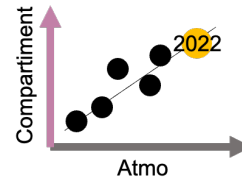
1) Tous les compartiments montreront une réponse aux vagues de chaleurs

Oui



2) Il y aura une relation forçage-réponse

Oui, mais indicateur- et compartiment-dépendant



3) Amplitudes de réponses différentes d'un compartiment à l'autre

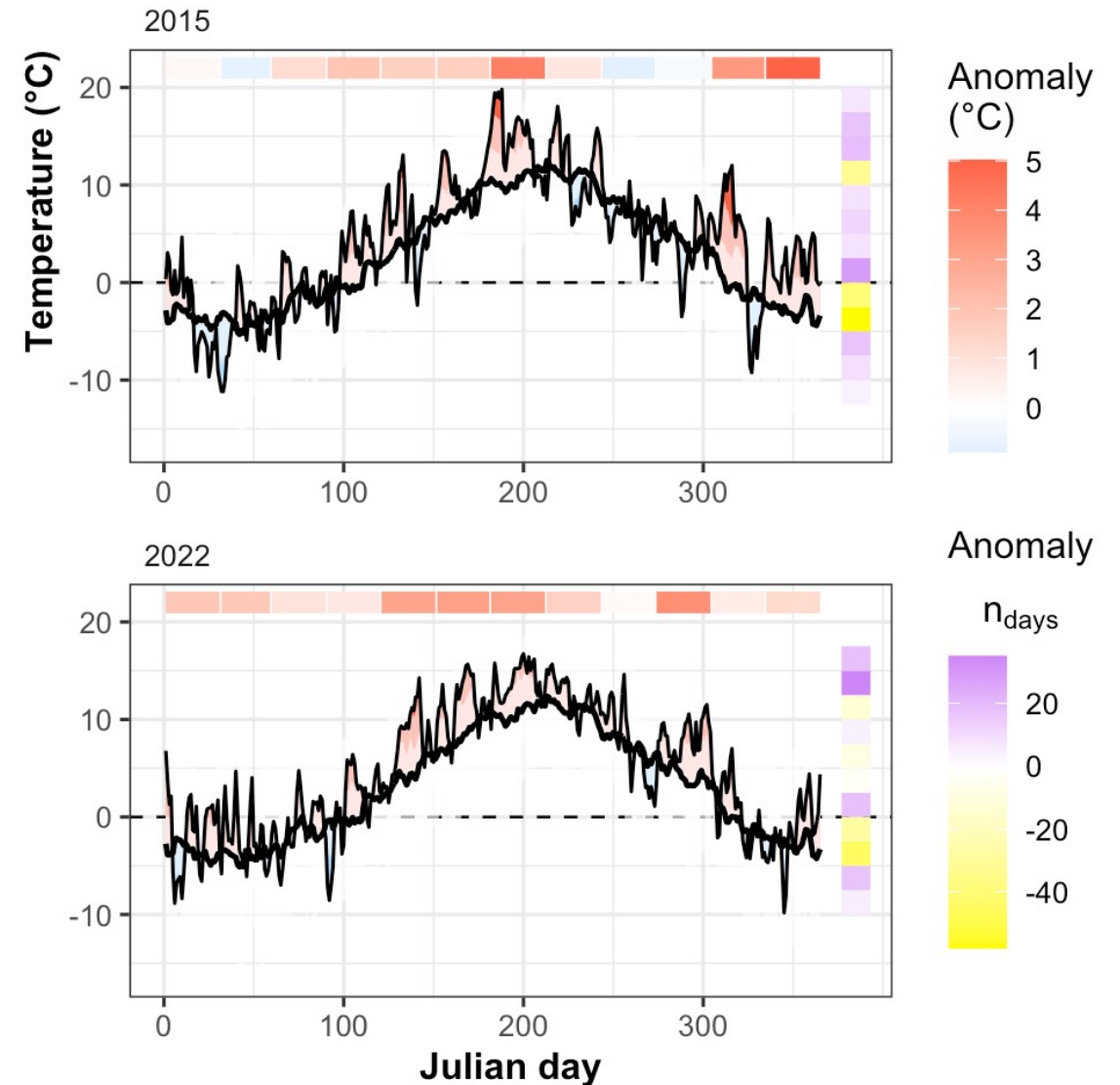
Oui, mais contrairement à nos hypothèses, les lacs ne présentent pas un couplage si fort.

≠ profondeurs des capteurs ?
Effet cumulatif des canicules ?

Trajectoire non-linéaire (ex: Arpont) ?
Alimentation glacier ?

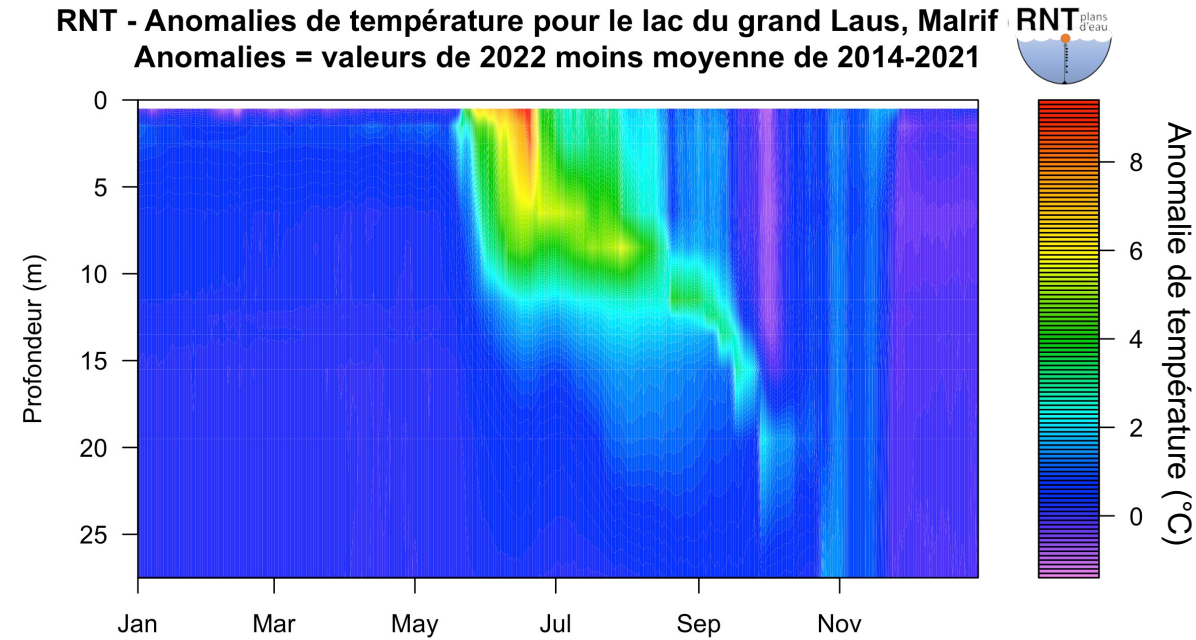
Discussion

- 2022 et 2015 sont deux années caniculaires mais différentes : timing et intensité.
- Réponse générale de tous les compartiments aux indicateurs intégratifs (GDD / Tsummer) → Il faut des indicateurs intégratifs pour caractériser l'impact des canicules.
- Besoin d'aller plus loin dans l'interprétation + discuter les autres facteurs de contrôle de la température (exemple, apport des glaciers).
- Nécessité d'avoir des suivis long terme et haute fréquence pour caractériser les impacts des événements extrêmes



Perspectives : préciser les connaissances sur l'impact des vagues de chaleur

- Aller plus loin dans l'analyse des données disponibles.
- Pour les lacs : profondeur de thermocline, comparaison inter-massifs, impacts sur le plancton.



Perspectives : préciser les connaissances sur l'impact des vagues de chaleur

- Aller plus loin dans l'analyse des données disponibles.
- Pour les lacs : profondeur de thermocline, comparaison inter-massifs, impacts sur le plancton.
- Inter-compartiment : effets sur la biologie (multi compartiments (production primaire dans les lacs, végétations sols, etc.)
- Potentiel de la télédétection pour caractériser la végétation, le jaunissement des BV, etc.

3 août 2022



17 août 2024

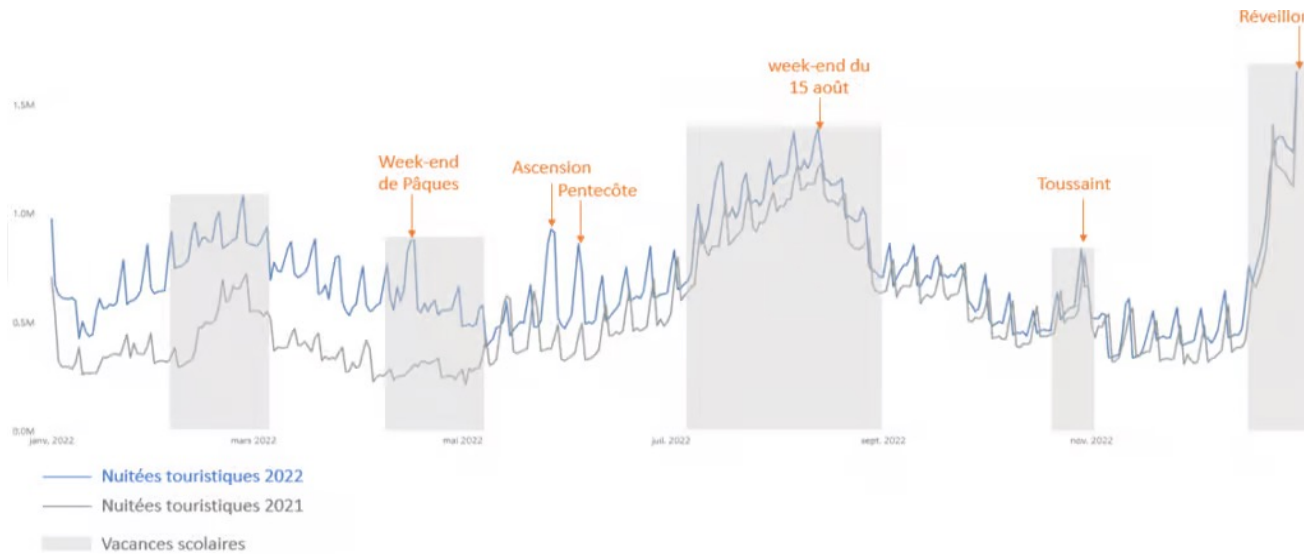


Perspectives : quels impacts pour les usages ?

Vous êtes ici : [Accueil](#) - [Etudes & data](#) - [Chiffres clés et Economie Touristique](#) - [Bilans Année 2022](#) - **2022 : une année record pour le tourisme en Auvergne-Rhône-Alpes**

2022 : une année record pour le tourisme en Auvergne-Rhône-Alpes

📅 Dernière mise à jour : 01/09/2023 ➡ [Bilans Année 2022](#)



Projet CHAUD-BIS



➔ Mobilisation d'autres réseaux sentinelles

Projet PLOUF



© Olivier Sabatier, 09/08/2024, photo issue du rapport d'A. Fintz (2024)



3 stages :
Brown 2024,
Fintz 2024,
Pivot 2024

(cf présentations à suivre)

Merci pour votre attention




Remerciements : ZAA pour le financement du projet, tous les producteurs de données, le Gîte de la Biolette pour leur accueil.



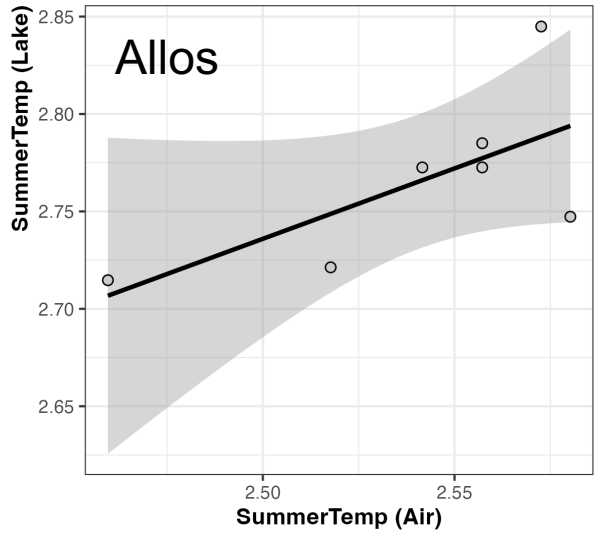
réseau lacs
sentinelles



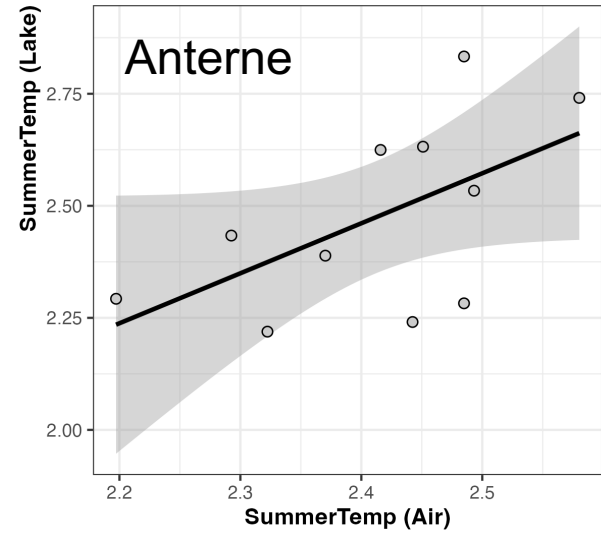
July-August temperature (lakes)

 Pente significatif

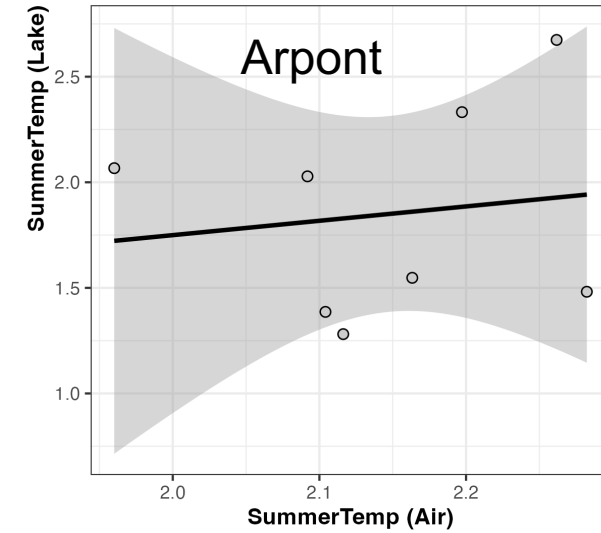
ALL04 (number of years = 7)
Best model: log, pval = 0.095



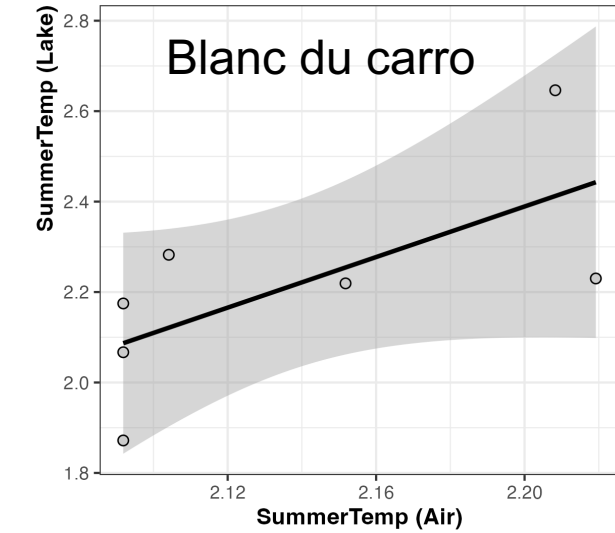
ANT74 (number of years = 11)
Best model: log, pval = 0.066



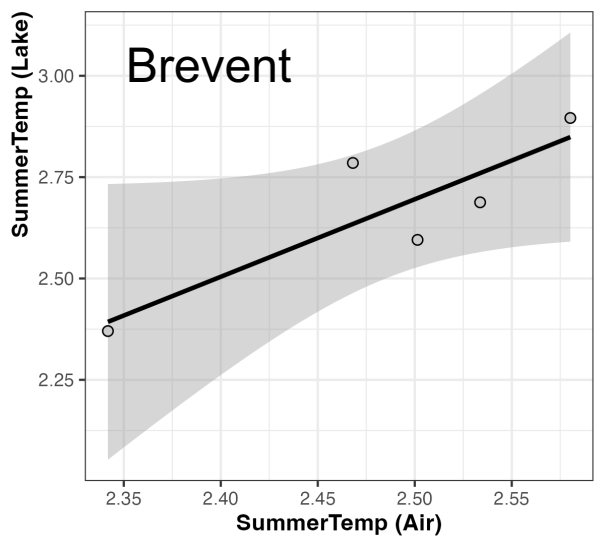
ARP73 (number of years = 8)
Best model: log, pval = 0.74



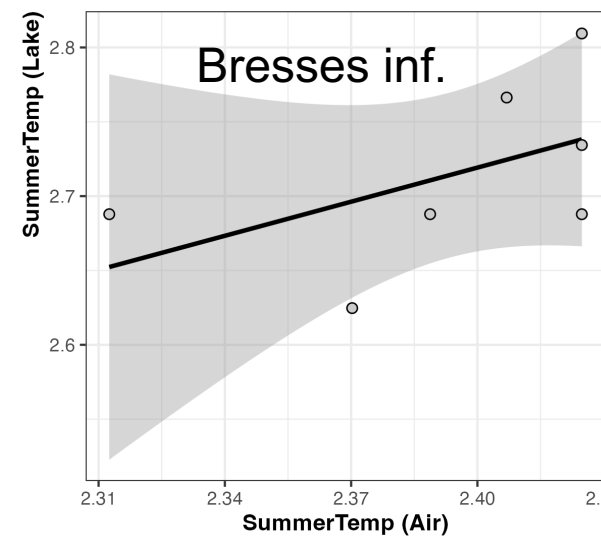
BDC73 (number of years = 7)
Best model: log, pval = 0.097



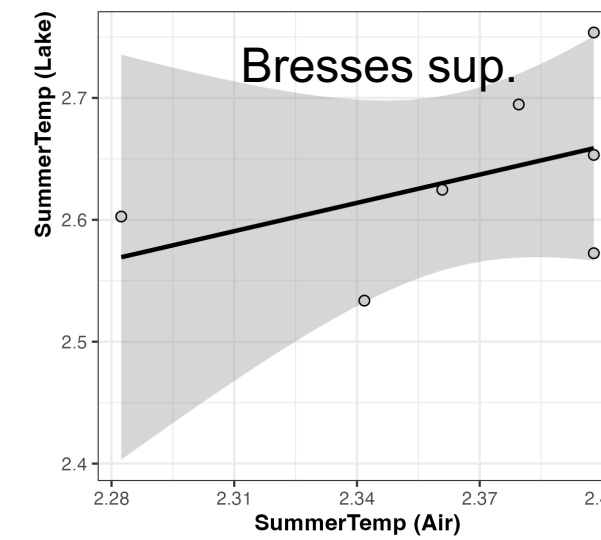
BRE74 (number of years = 5)
Best model: log, pval = 0.06



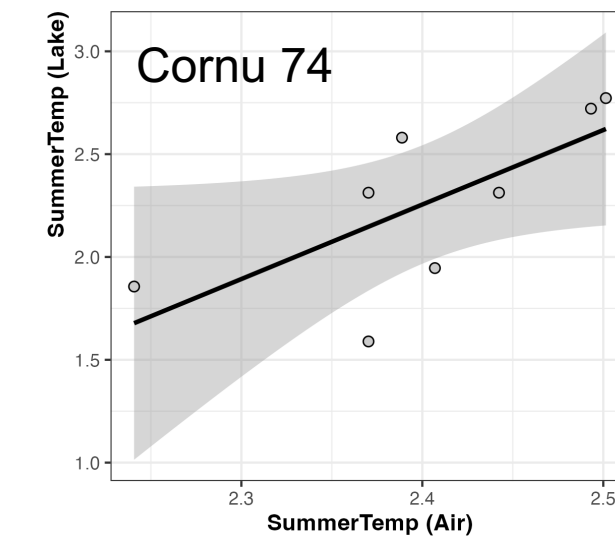
BRI06 (number of years = 7)
Best model: log, pval = 0.233



BRS06 (number of years = 7)
Best model: log, pval = 0.321

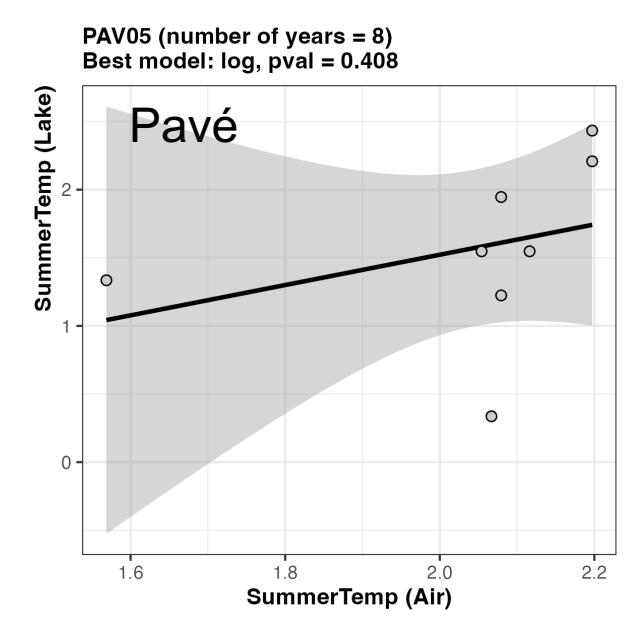
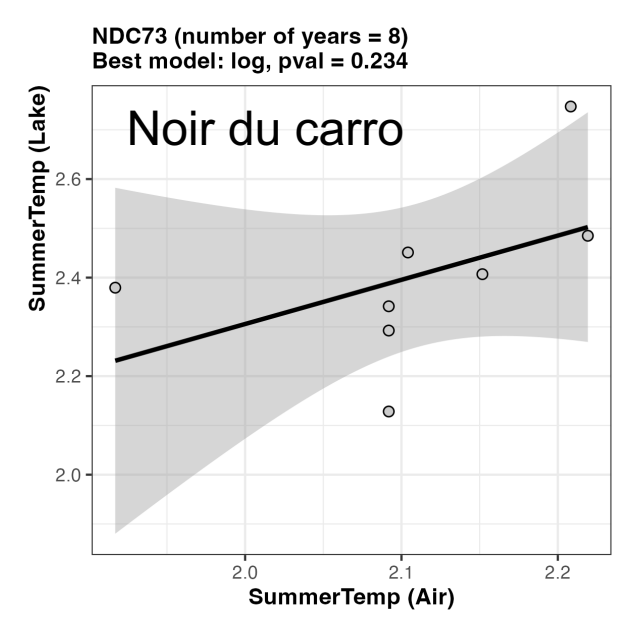
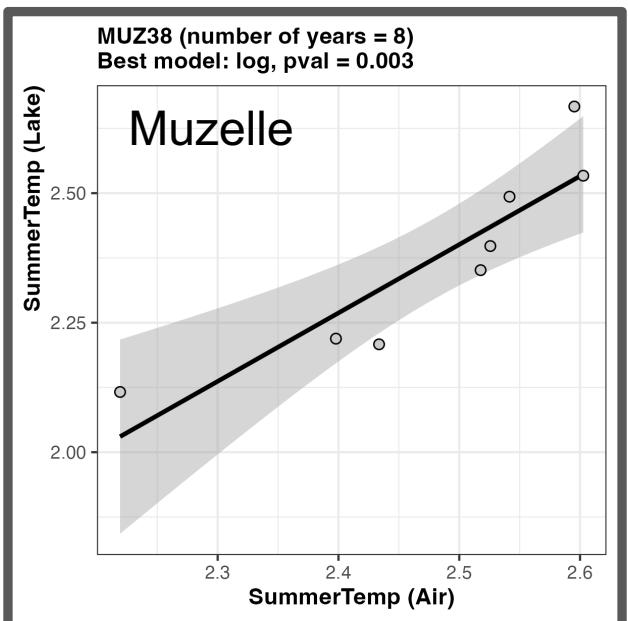
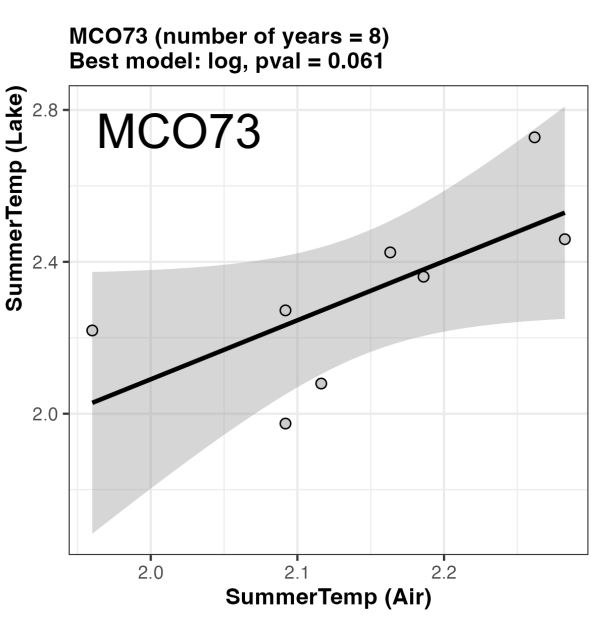
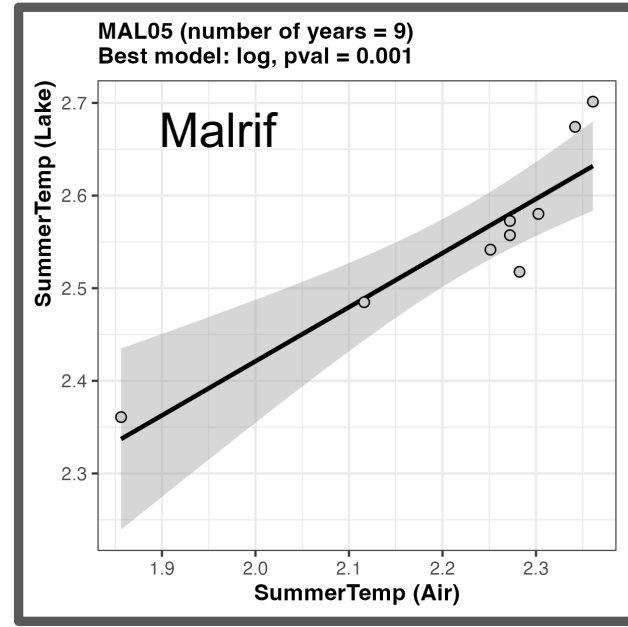
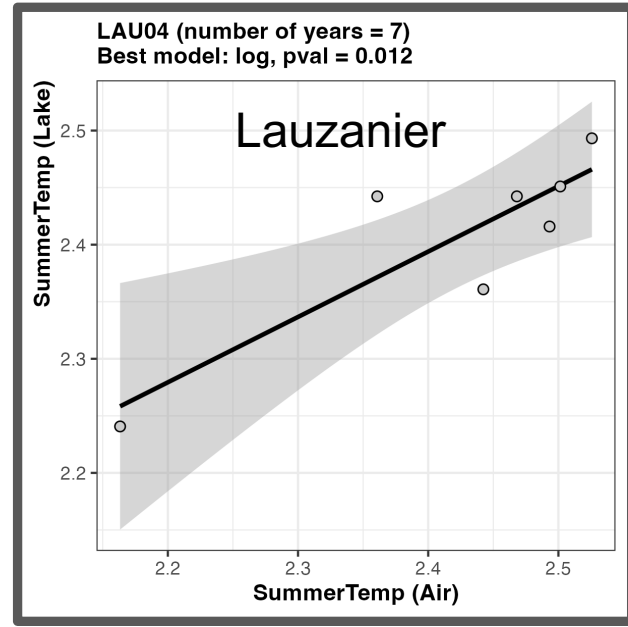
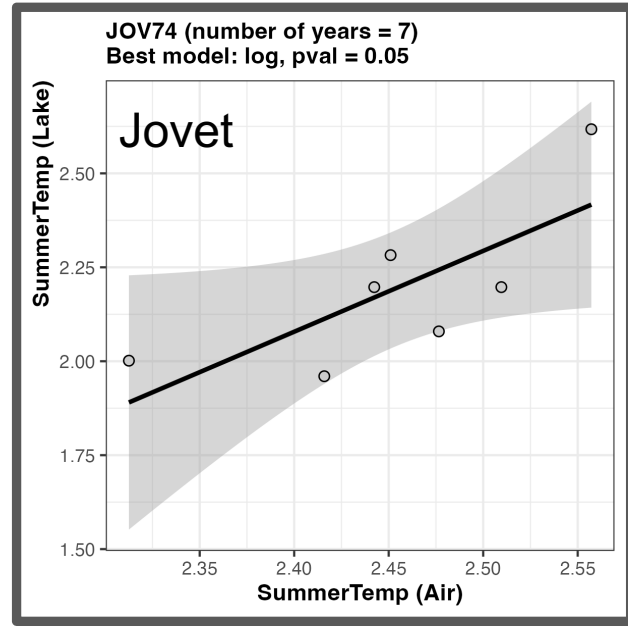
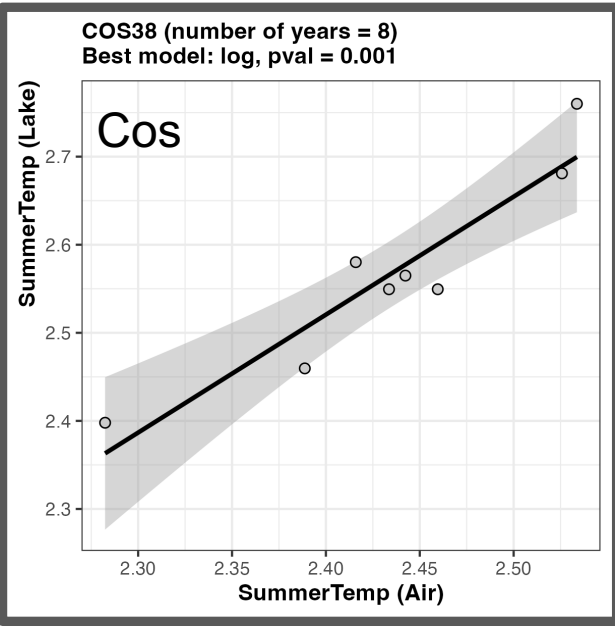


COR74 (number of years = 8)
Best model: log, pval = 0.054



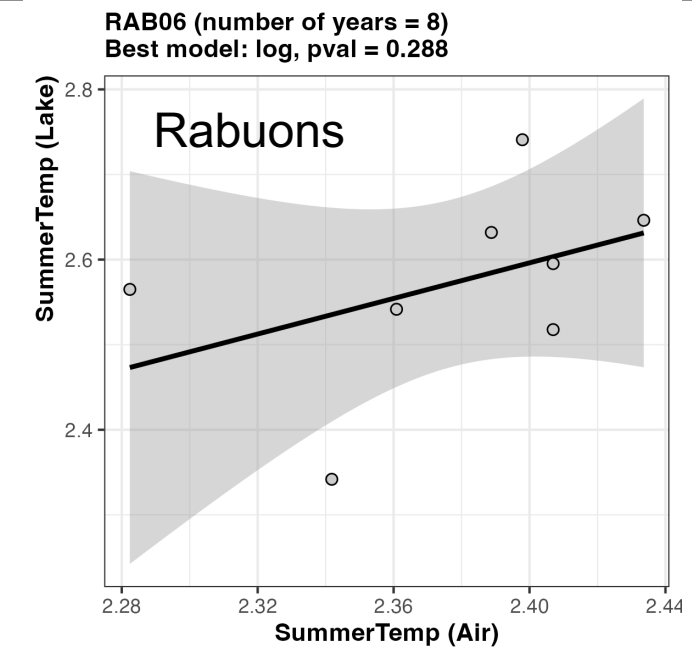
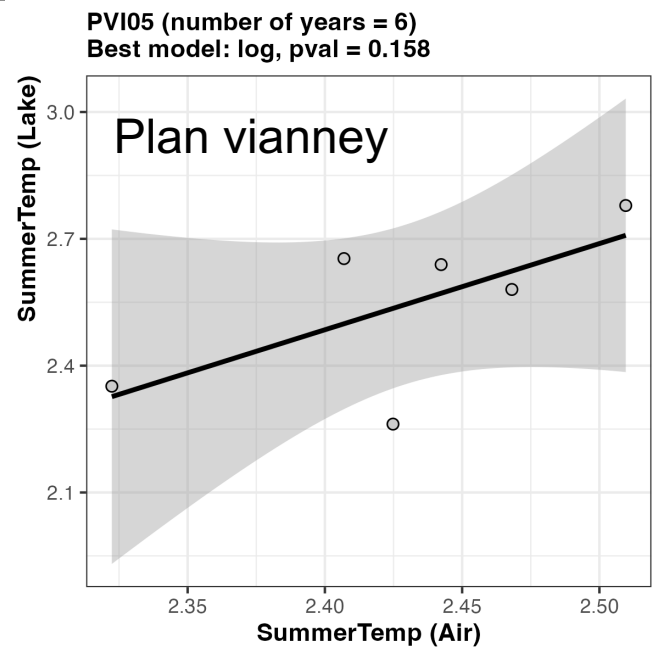
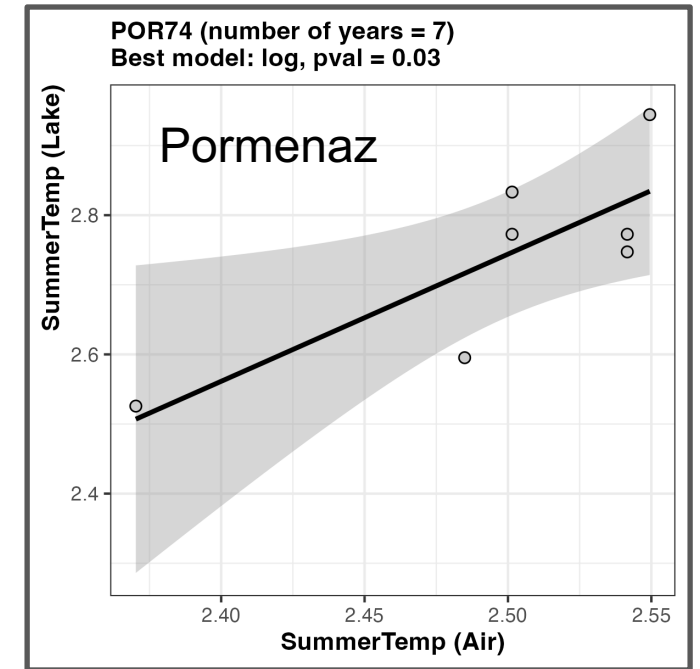
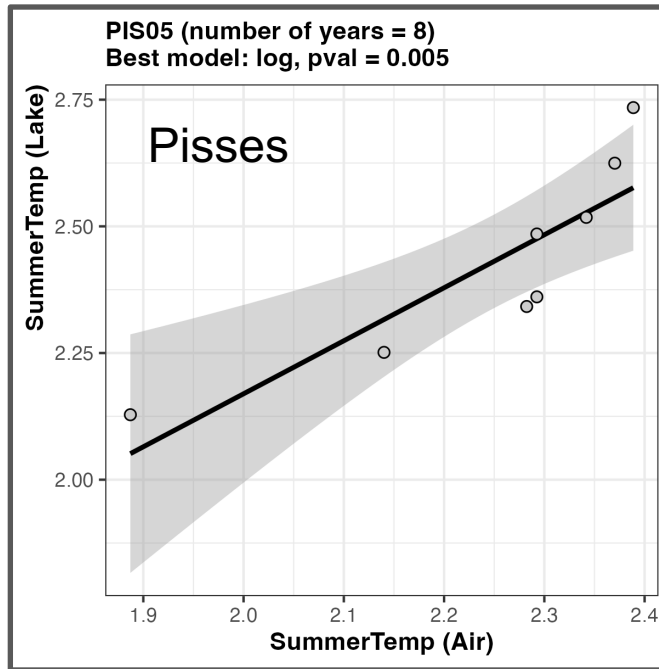
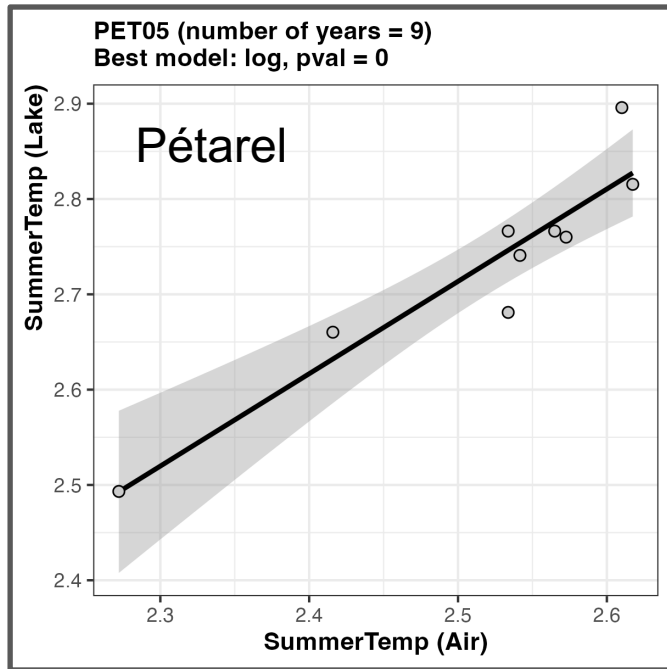
July-August temperature (lakes)

 Pente significatif



July-August temperature (lakes)

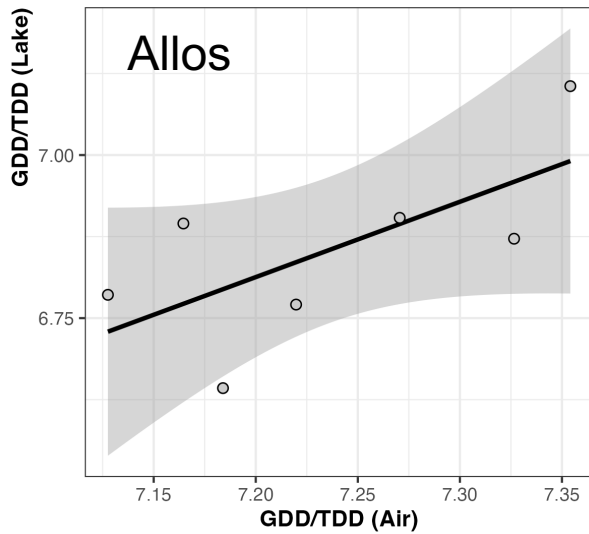
 Pente significatif



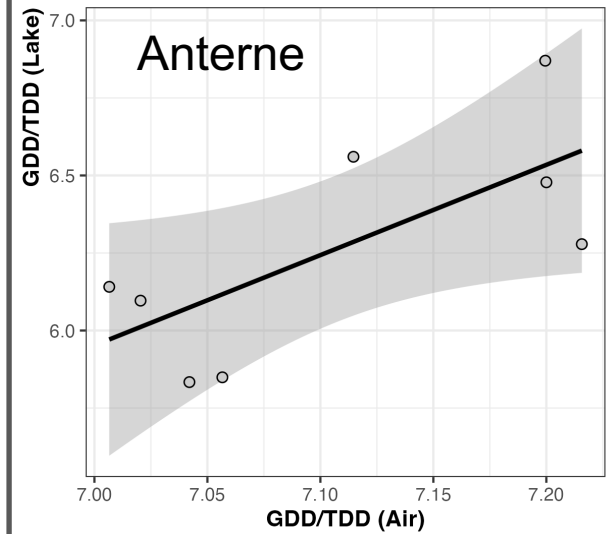
GDD (lakes)

 Pente significatif

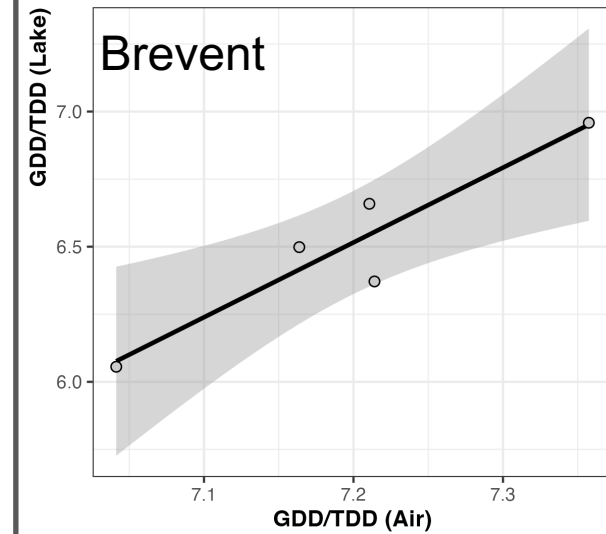
ALL04 (number of years = 7)
Best model: log, pval = 0.092



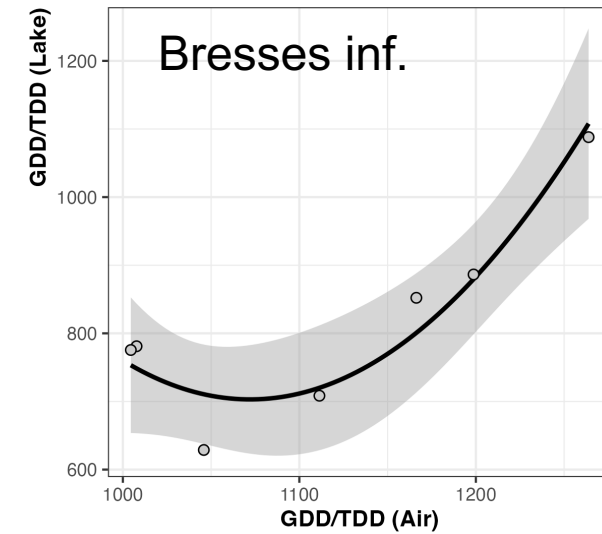
ANT74 (number of years = 8)
Best model: log, pval = 0.049



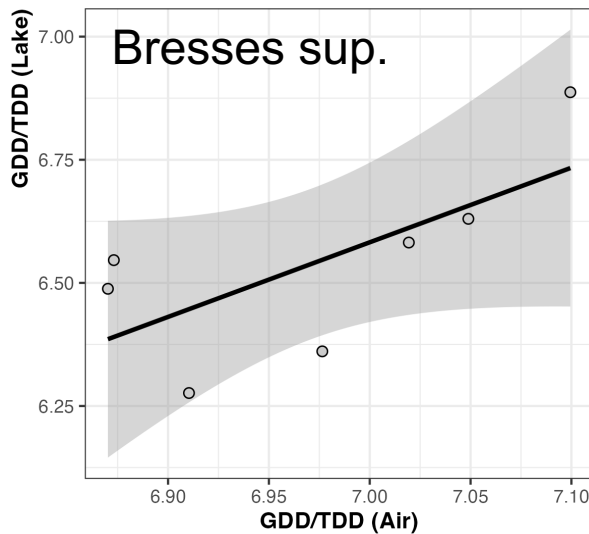
BRE74 (number of years = 5)
Best model: log, pval = 0.018



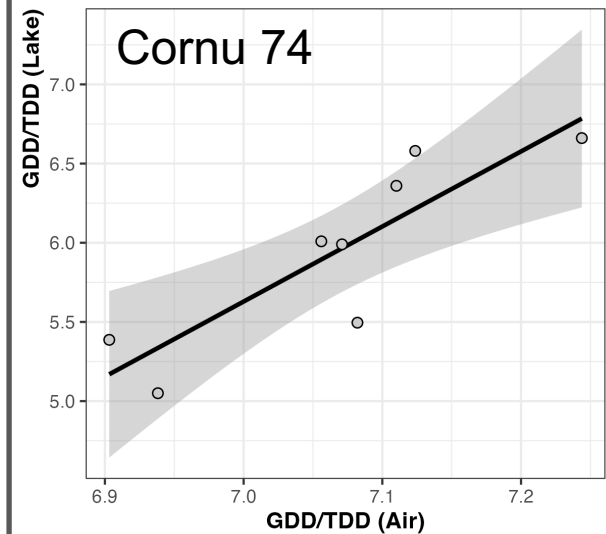
BRI06 (number of years = 7)
Best model: polynomial 2, pval = 0.051



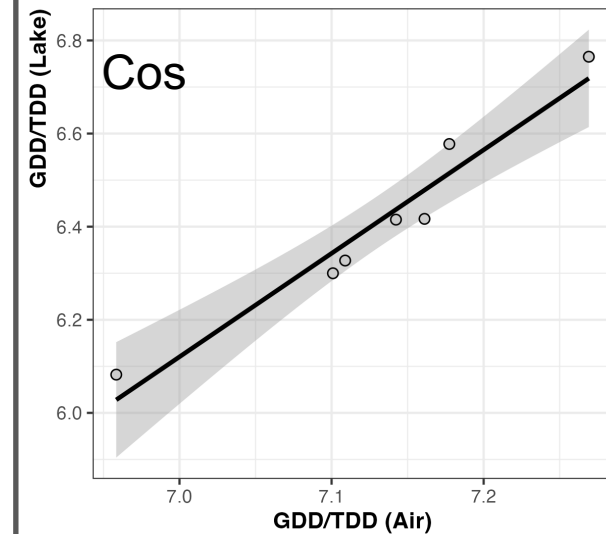
BRS06 (number of years = 7)
Best model: log, pval = 0.088



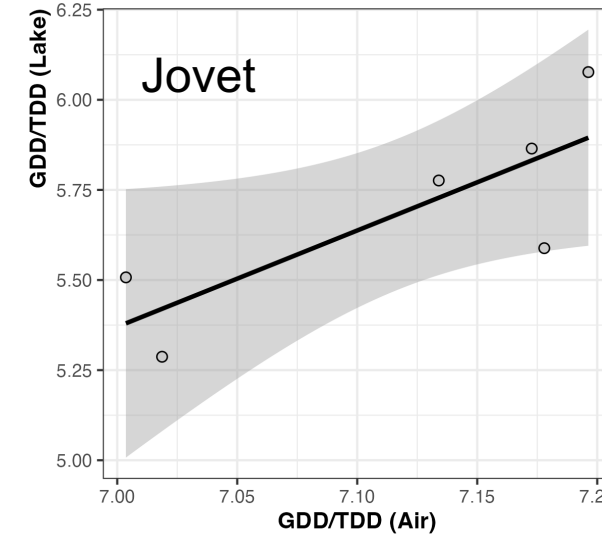
COR74 (number of years = 8)
Best model: log, pval = 0.006



COS38 (number of years = 7)
Best model: log, pval = 0



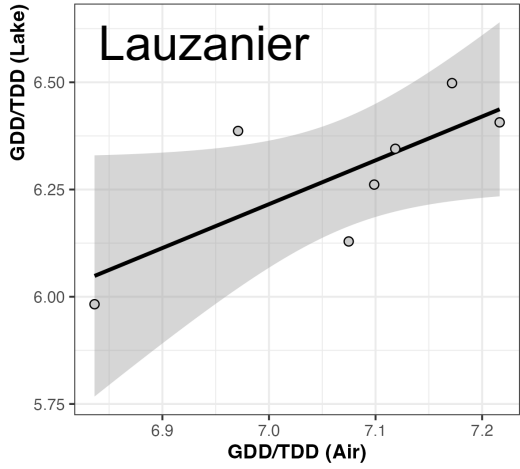
JOV74 (number of years = 6)
Best model: log, pval = 0.052



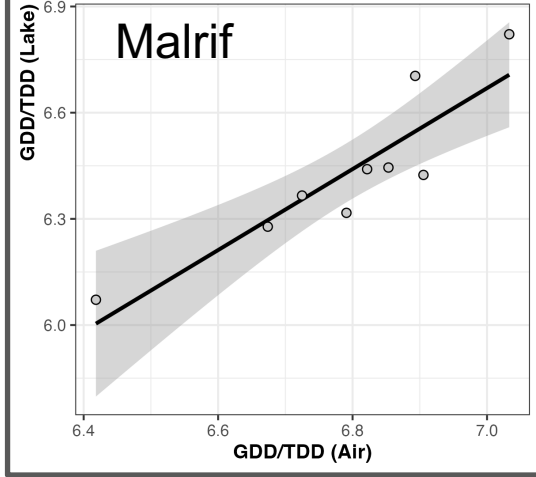
GDD (lakes)

 Pente significatif

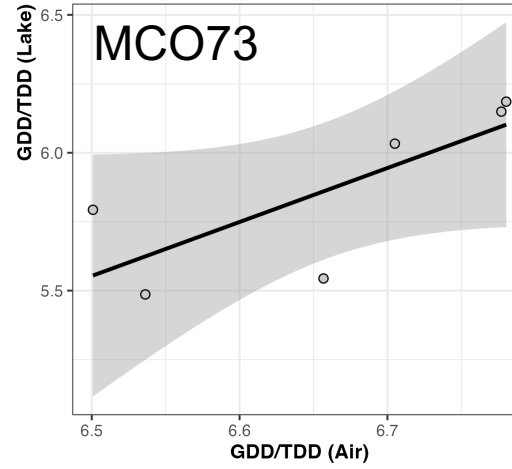
LAU04 (number of years = 7)
Best model: log, pval = 0.058



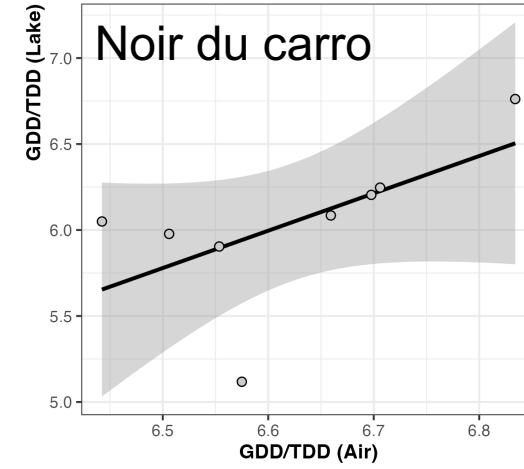
MAL05 (number of years = 9)
Best model: log, pval = 0.001



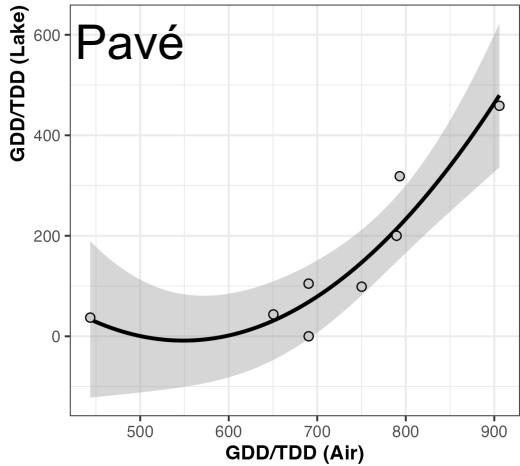
MCO73 (number of years = 6)
Best model: log, pval = 0.076



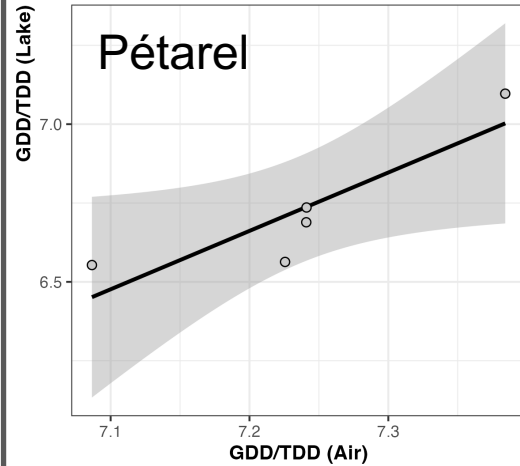
NDC73 (number of years = 8)
Best model: log, pval = 0.116



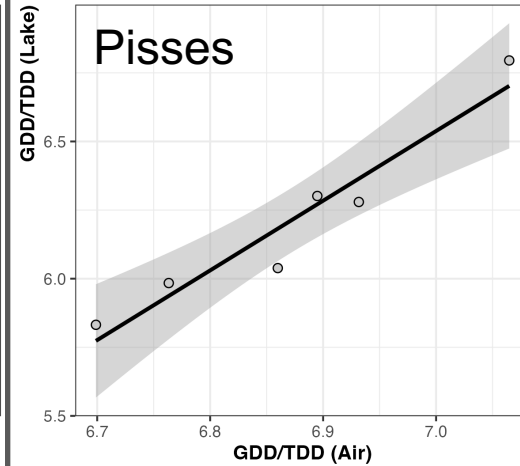
PAV05 (number of years = 8)
Best model: polynomial 2, pval = 0.013



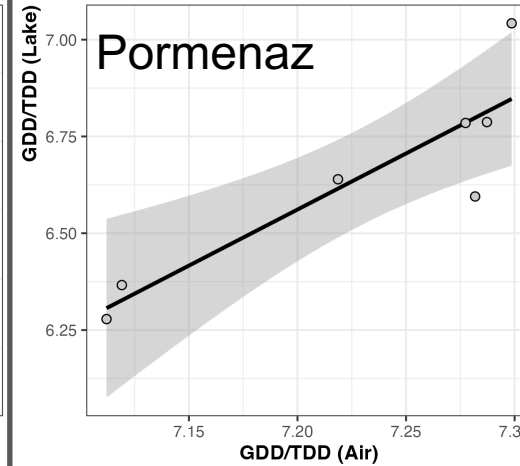
PET05 (number of years = 5)
Best model: log, pval = 0.047



PIS05 (number of years = 6)
Best model: log, pval = 0.002



POR74 (number of years = 7)
Best model: log, pval = 0.007



RAB06 (number of years = 6)
Best model: log, pval = 0.261

