



Les Salmonidae dans les lacs d'altitude de Savoie: Retours de l'étude pluri-annuelle 2014-2020

Victor Frossard^{1,2}, Chloé Vagnon^{1,2}, Arnaud Sentis^{3,2}, Benjamin Gerfand¹,
Justin Pomeranz⁴, Bertrand Lohéac⁵, Damien Proner⁵, Jean-Claude
Raymond^{6,2}, Jean Guillard^{1,2}, Manuel Vallat⁵

Co-financeurs:



Partenaire scientifique
et technique:



13 Novembre 2024

¹Univ. Savoie Mont Blanc, INRAE, UMR CARTEL, 74200 Thonon-les-Bains, France.

²Pôle R&D Ecosystèmes Lacustres (ECLA), OFB-INRAE-USMB, 13182 Aix-en-Provence, France.

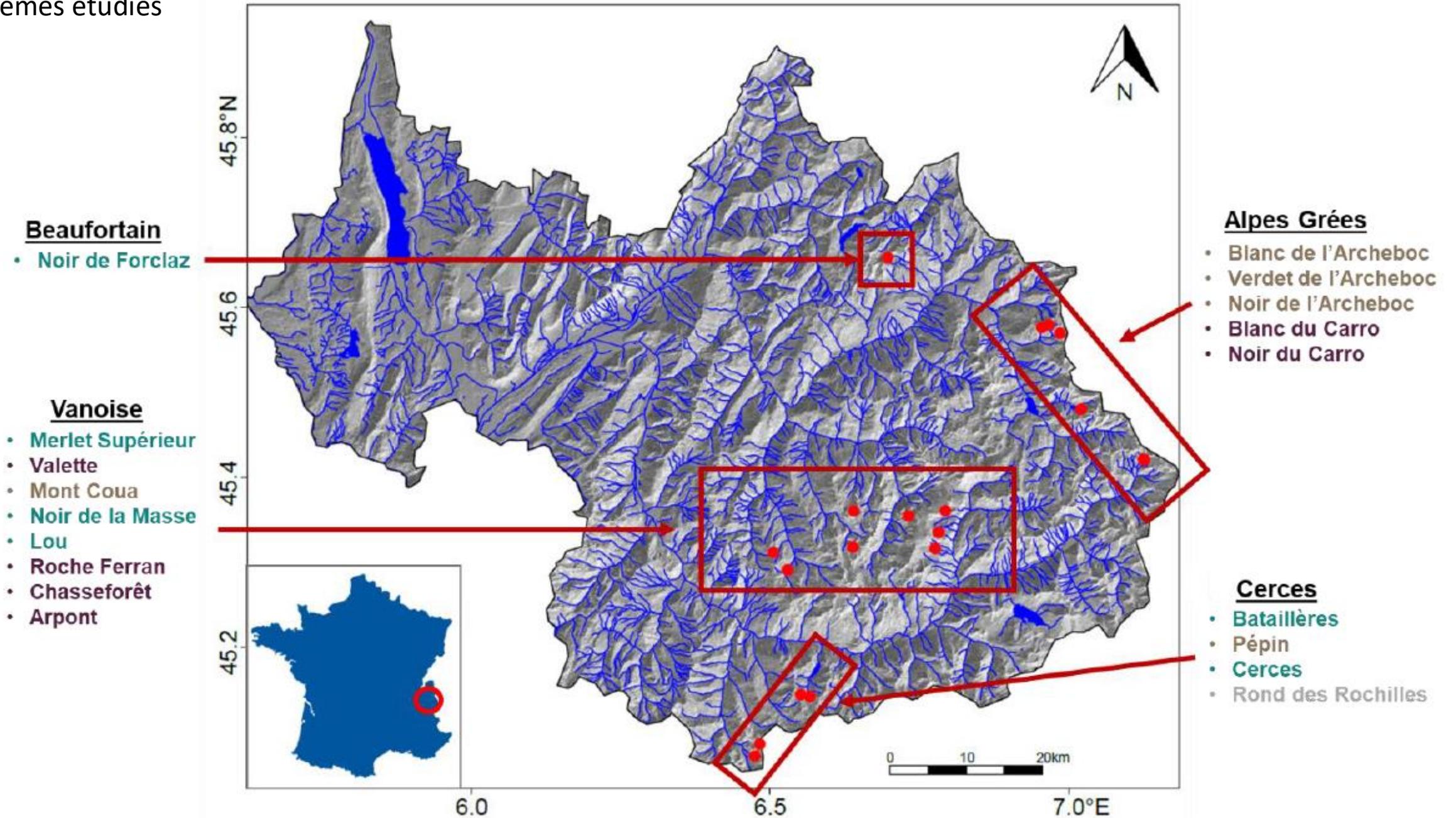
³INRAE, Aix Marseille Univ., UMR RECOVER, 13182 Aix-en-Provence, France.

⁴Colorado Mesa Univ., CO 81501, Colorado, USA.

⁵Fédération de Savoie pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique (FDPPMA 73), 73230 Saint-Alban-Leysse, France

⁶Office Français pour la Biodiversité, Unité Spécialisée Milieux Lacustres, 74200 Thonon-les-Bains, France.

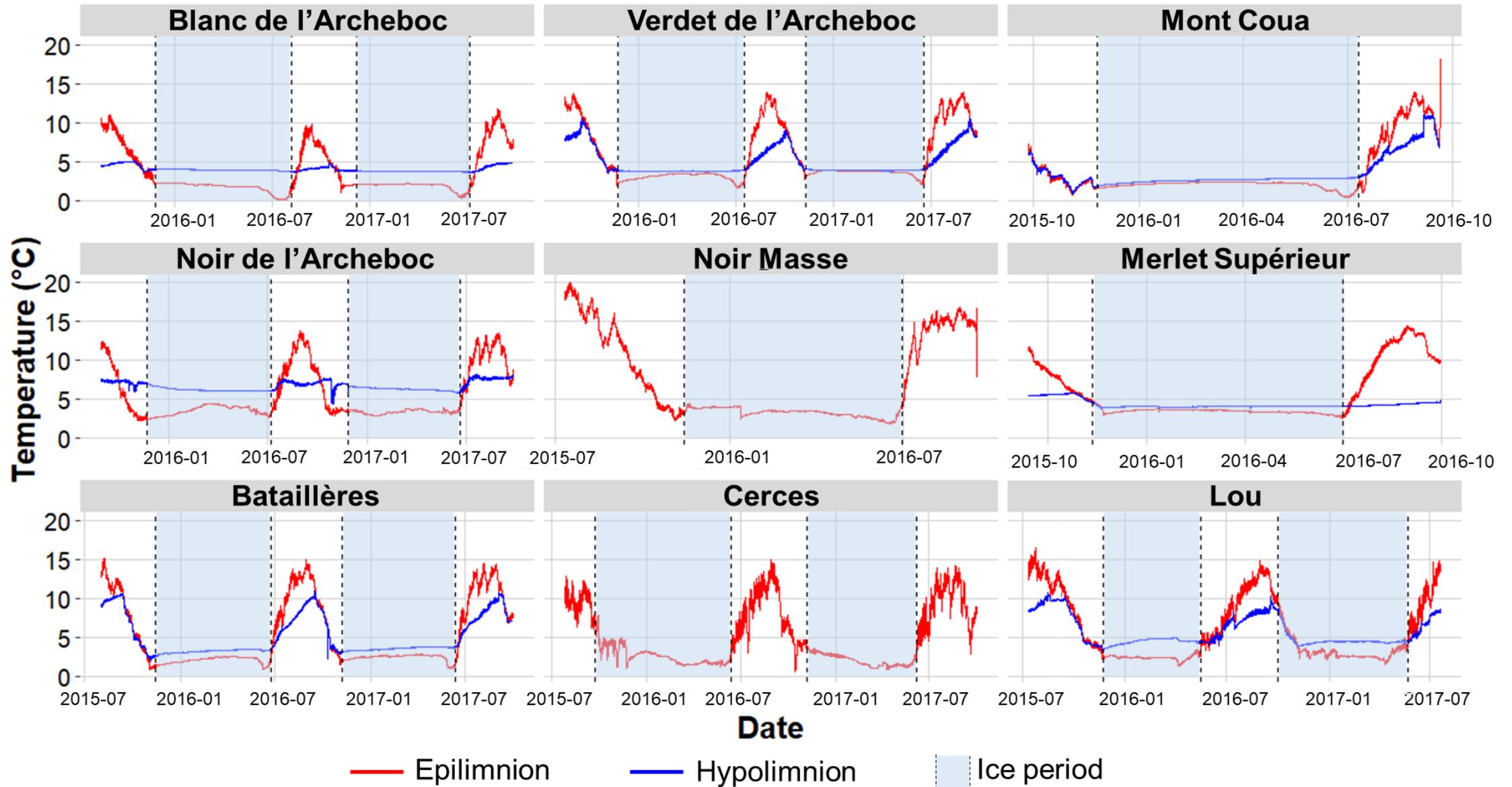
Systèmes étudiés



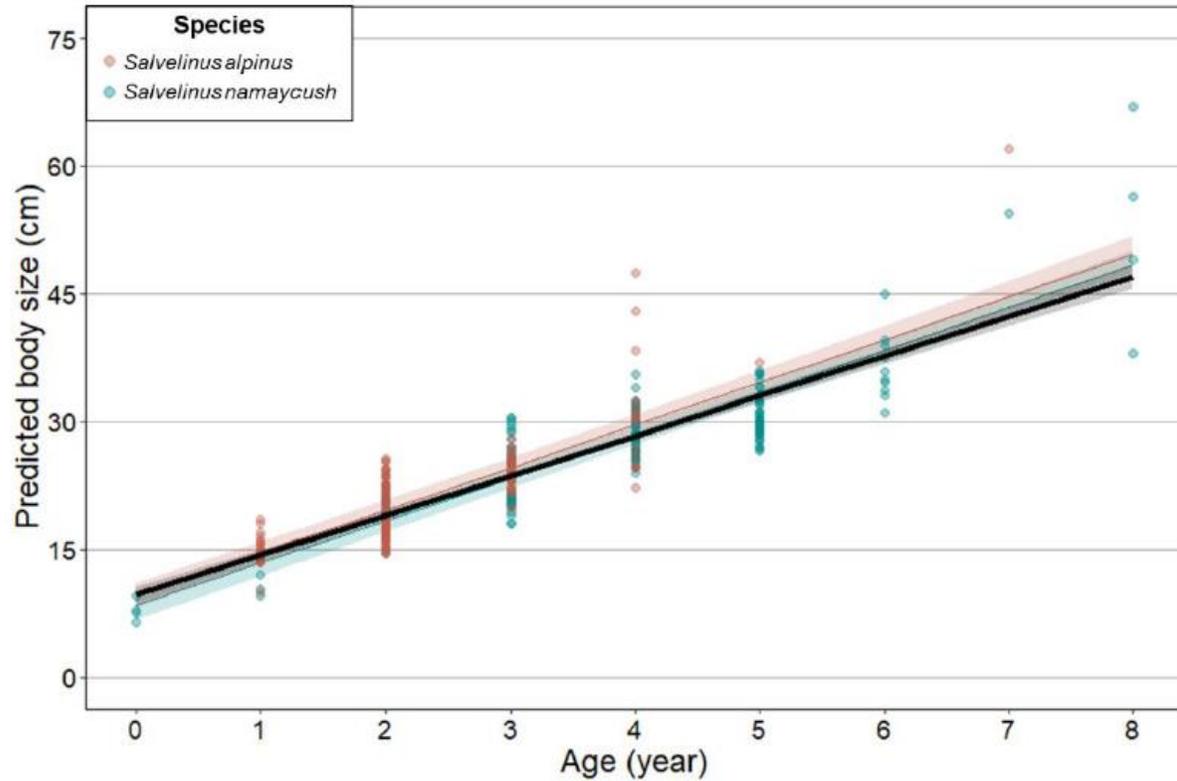
Systemes étudiés

Caractéristiques des lacs							Richesse					
	<i>Massif</i>	<i>Latitude</i>	<i>Longitude</i>	<i>Altitude (m)</i>	<i>Surface (ha)</i>	<i>Profondeur maximale (m)</i>	<i>Salmonidae</i>	<i>Espèces accompa-gnatrices</i>	<i>Invertébrés</i>	<i>Zoo-plancton</i>	<i>Phyto-plankton</i>	<i>Total sans Salmonidae</i>
Arpont	Vanoise	45°18'57.343"N	6°46'30726" E	2666	2,2	17	/	/	15	5	9	29
Blanc du Carro	Alpes Grées	45°25'13.718"N	7°7'34.713" E	2753	4,65	6,6	/	/	23	5	21	49
Chasseforêt	Vanoise	45°20'6.529"N	6°46'51.985"E	2757	7	6,75	/	/	21	4	10	35
Noir du Carro	Alpes Grées	45°25'16.903"N	7°7'26.653"E	2750	1,19	11,8	/	/	22	4	12	38
Roche Ferran	Vanoise	45°21'37.653"N	6°47'33.351"E	2619	6,61	11	/	/	15	2	8	25
Vallette	Vanoise	45°21'15.338"N	6°43'49.971"E	2475	3,27	15,7	/	/	20	5	15	40
Bataillères	Cerces	45°8'28.321"N	6°33'56.776"E	2422	3,4	12,2	3 (OBL, TRF, TAC)	1	19	3	19	42
Blanc de l'Archeboc	Alpes Grées	45°34'45.901"N	6°57'56.413"E	2850	7,6	42	1 (CRI)	0	10	3	16	29
Cerces	Cerces	45°4'16.465"N	6°28'24.171"E	2410	3,3	2,5	2 (OBL, TAC)	1	34	4	27	66
Lou	Vanoise	45°17'26.217"N	6°31'41.773"E	2035	7,4	18,4	2 (OBL, TRF)	2	45	6	24	77
Merlet Supérieur	Vanoise	45°21'37.31"N	6°38'21.767"E	2449	4,25	30	1 (CRI)	1	10	7	9	27
Mont Coua	Vanoise	45°19'4.022"N	6°38'16.527"E	2672	2,26	9,6	1 (CRI)	0	21	7	13	41
Noir de l'Archeboc	Beaufortain	45°34'11.659"N	6°59'4.253"E	2532	2,6	6,6	1 (CRI)	0	13	4	15	32
Noir de Forclaz	Vanoise	45°39'32.266"N	6°41'45.634"E	2471	1,3	5	2 (OBL, CRI)	1	22	5	8	36
Noir de la Masse	Alpes Grées	45°18'39.792"N	6°30'15.659"E	2618	3,9	17	2 (OBL, TRF)	0	22	5	21	48
Pépin	Cerces	45°8'36.567 "N	6°33'1.733"E	2728	1,7	13,2	2 (OBL, CRI)	0	9	2	14	15
Rond des Rochilles	Cerces	45°5'6.702"N	6°28'53.948"E	2450	6,1	8,2	0	1	21	8	30	60
Verdet de l'Archeboc	Alpes Grées	45°34'35.168"N	6°57'13.771"E	2727	1,9	22	1 (CRI)	0	17	5	14	36

Dynamiques thermiques



Croissance des poissons dans les lacs d'altitude



Modèles	df	AICc	Delta AICc
Taille corporelle ~ âge + (1 Lacs)	4	1851.525	-
Taille corporelle ~ âge + espèce + (1 Lacs)	5	1852.042	0.516
Taille corporelle ~ espèce + (1 Lacs)	4	2281.225	429.699
Taille corporelle ~ 1 + (1 Lacs)	3	2297.906	446.381

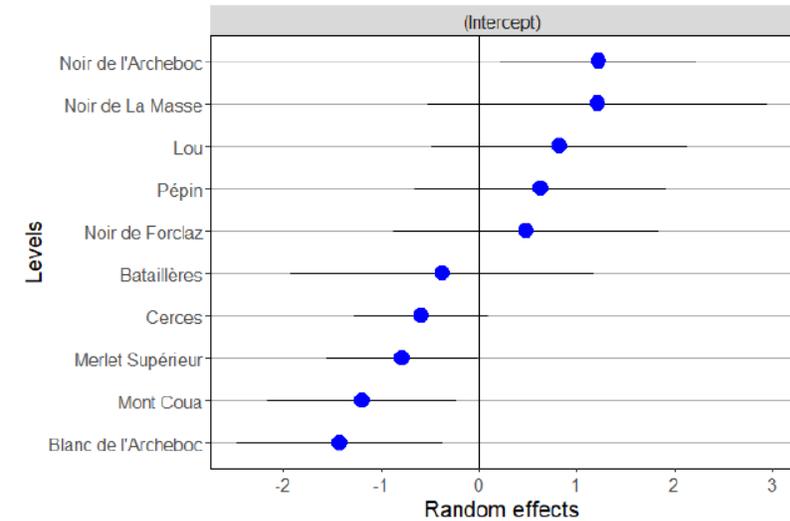


Figure 4 : Coefficients aléatoires associés à chaque lac du modèle linéaire à effets mixtes du Tableau 3 reliant la taille corporelle et l'âge. Ces coefficients représentent les déviations moyennes (en cm) de la taille prédite pour un âge spécifique pour chaque lac.

Embonpoint des poissons

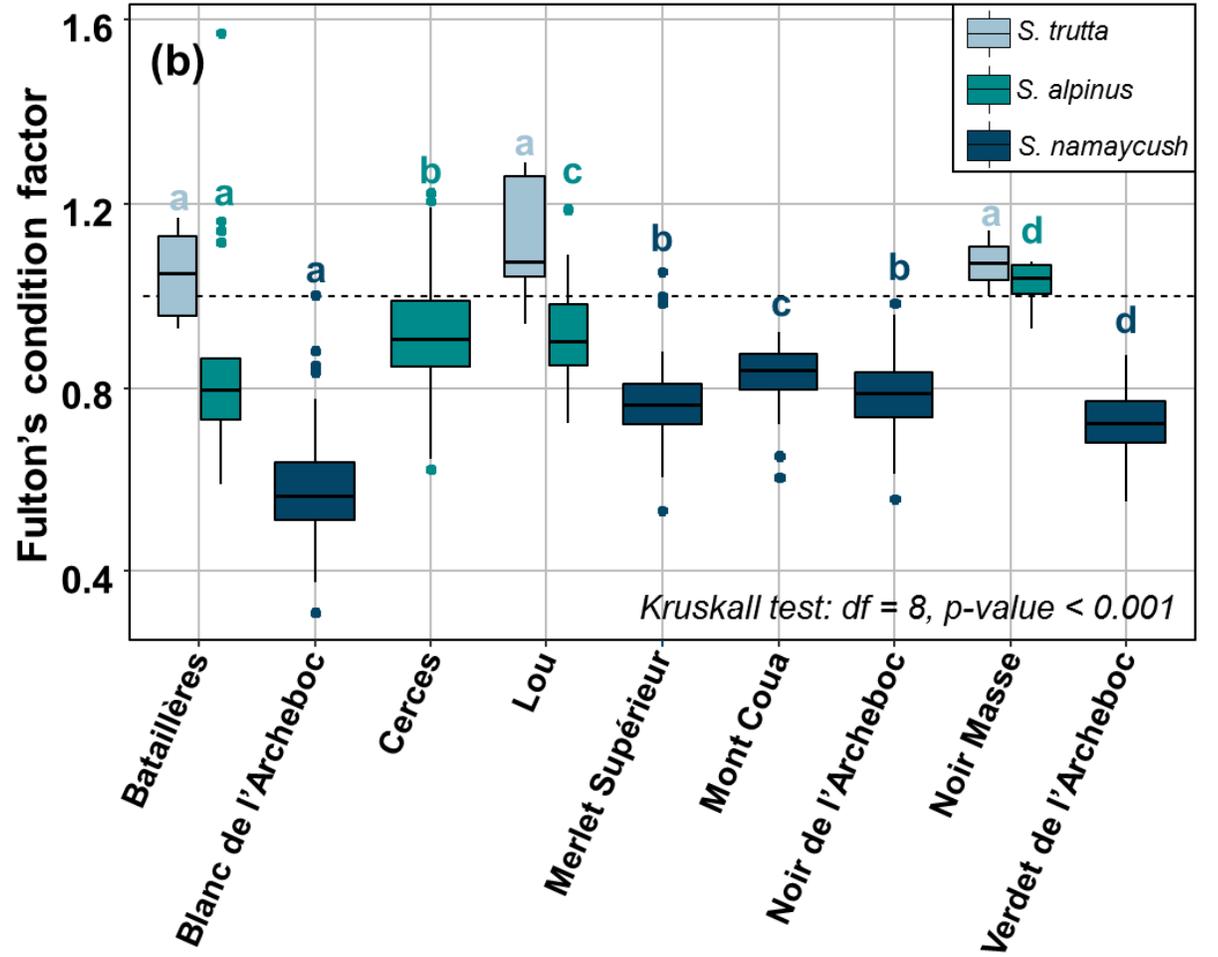
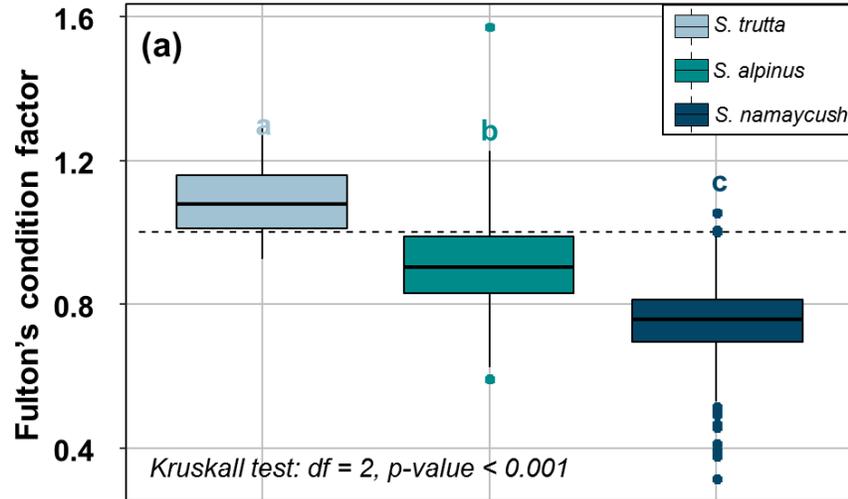
1. Coefficient de Fulton (K)

La formule du coefficient de condition de Fulton est la suivante :

$$K = \frac{100 \times W}{L^3}$$

- W = poids du poisson (g)
- L = longueur totale du poisson (cm)

Le facteur 100 est utilisé pour ajuster l'échelle et permet d'obtenir des valeurs de K généralement comprises entre 1 et 2 pour des poissons en bonne condition.



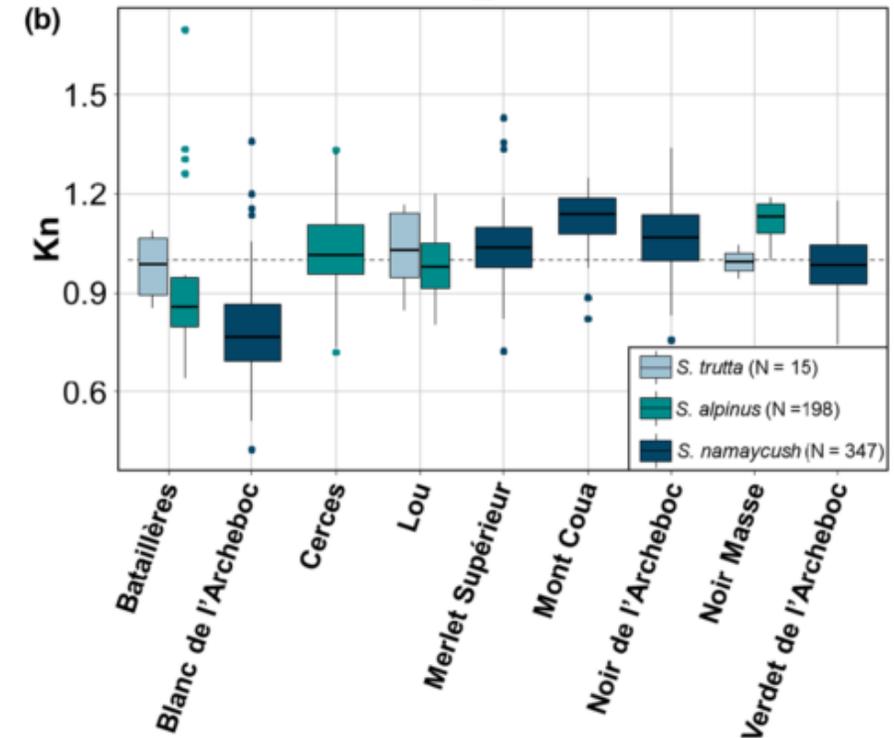
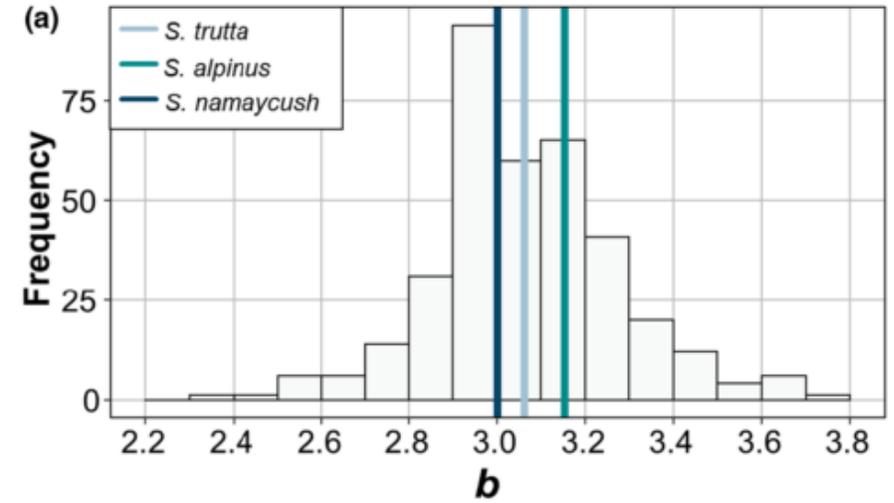
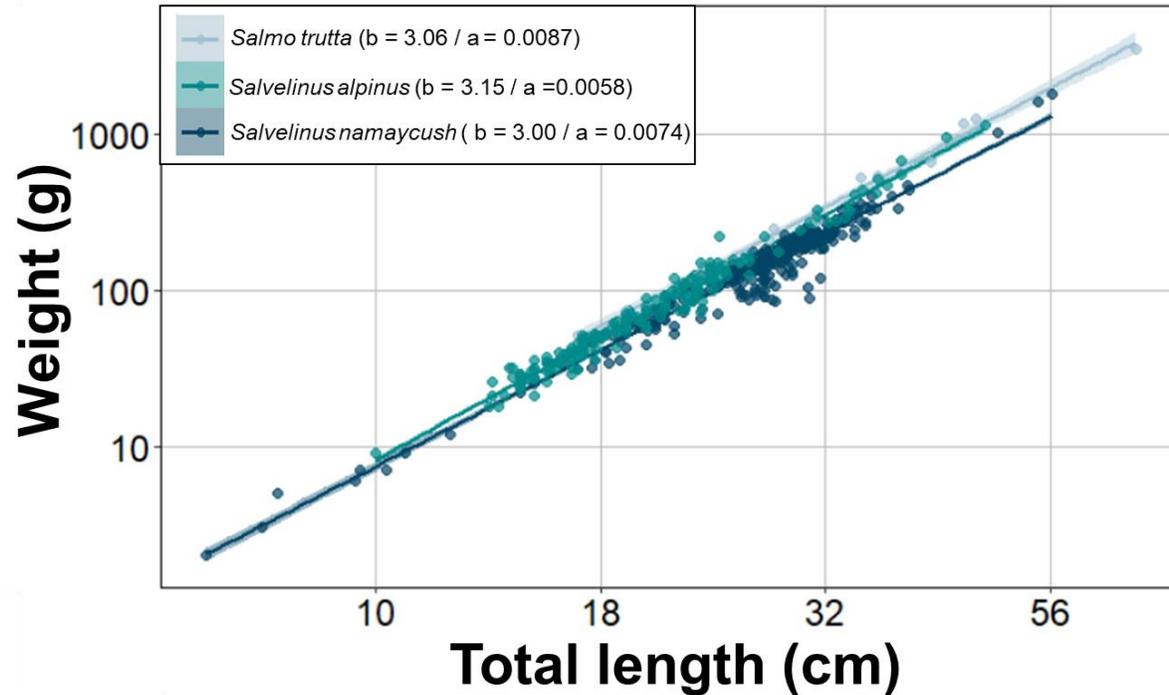
Embonpoint des poissons

2. Coefficient K_n (relative condition factor)

Le coefficient K_n est une variation du coefficient de Fulton qui prend en compte une longueur de référence moyenne pour un poisson spécifique. Il permet de comparer le poisson étudié à une population de référence. La formule est la suivante :

$$K_n = \frac{W}{W_{th}}$$

- W = poids observé du poisson (g)
- W_{th} = poids théorique basé sur une relation longueur-poids pour une population donnée (g), souvent calculé comme $W_{th} = a \times L^b$, où a et b sont des constantes spécifiques à l'espèce.



Embonpoint des poissons : quels forçages?

Thermie / climat : durée d'englacement / température estivale moyenne / température hivernale moyenne

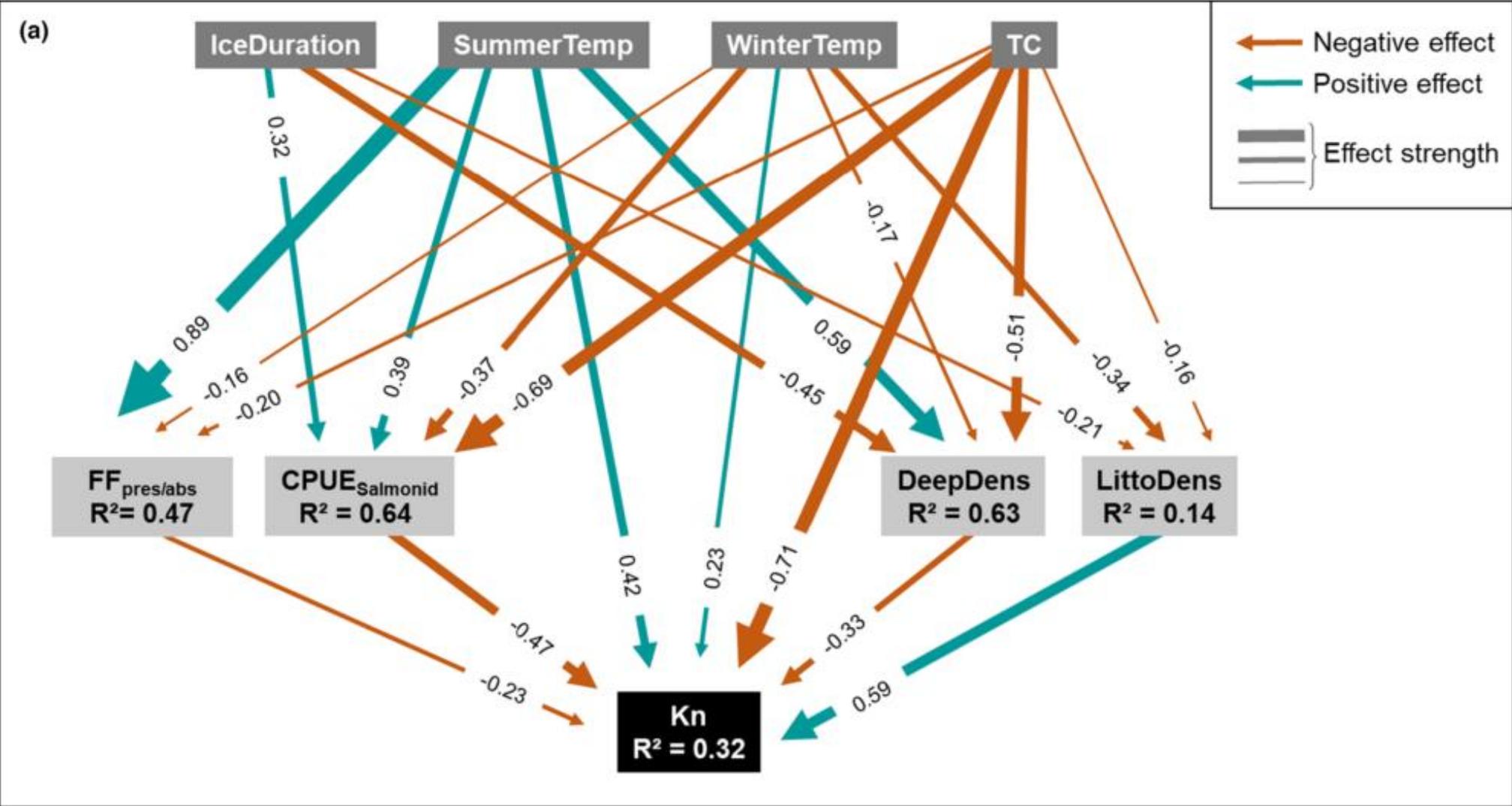
Compétition : densité de Salmonidae → captures par unité d'effort (CPUE; nbre de Salmonidae/1000 m² filets/heures pose

Ressources : présence de poissons fourrages (vairons) / densité d'invertébrés littoraux et profonds

Habitat: forme de la cuvette lacustre (coefficient de creux (TC) = $\text{prof max} / \sqrt{\text{superficie}}$)

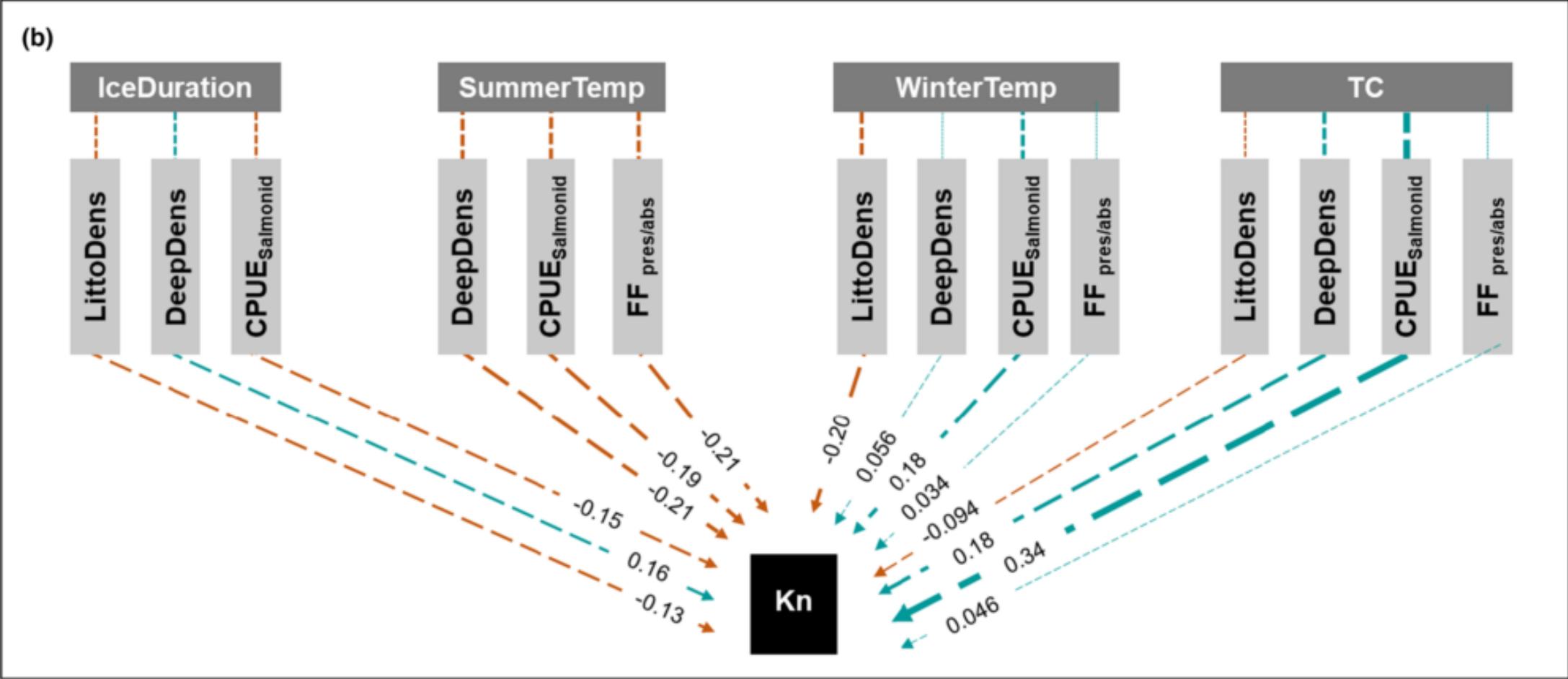
Embonpoint des poissons: quels forçages?

Effets directs

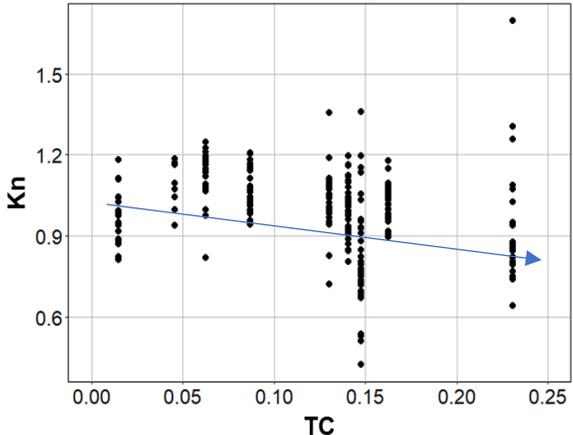
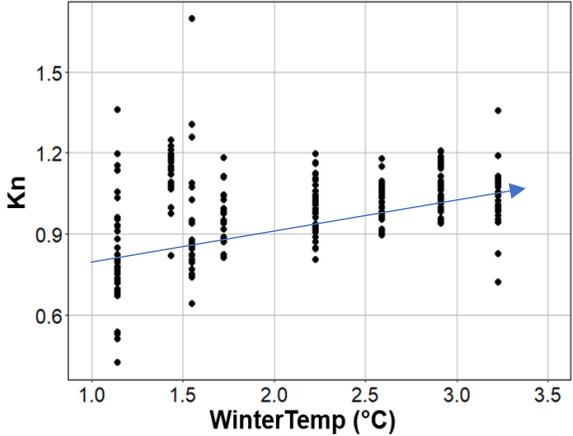
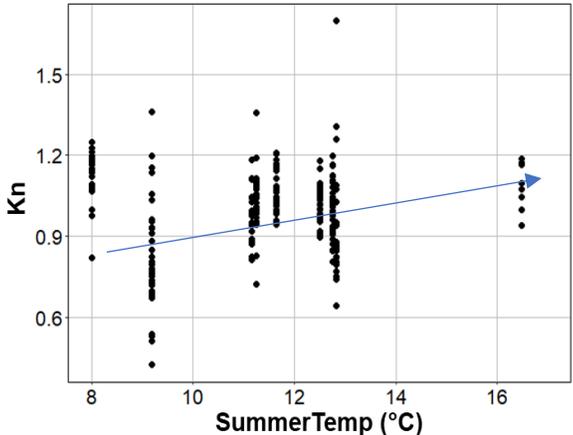


Embonpoint des poissons: quels forçages?

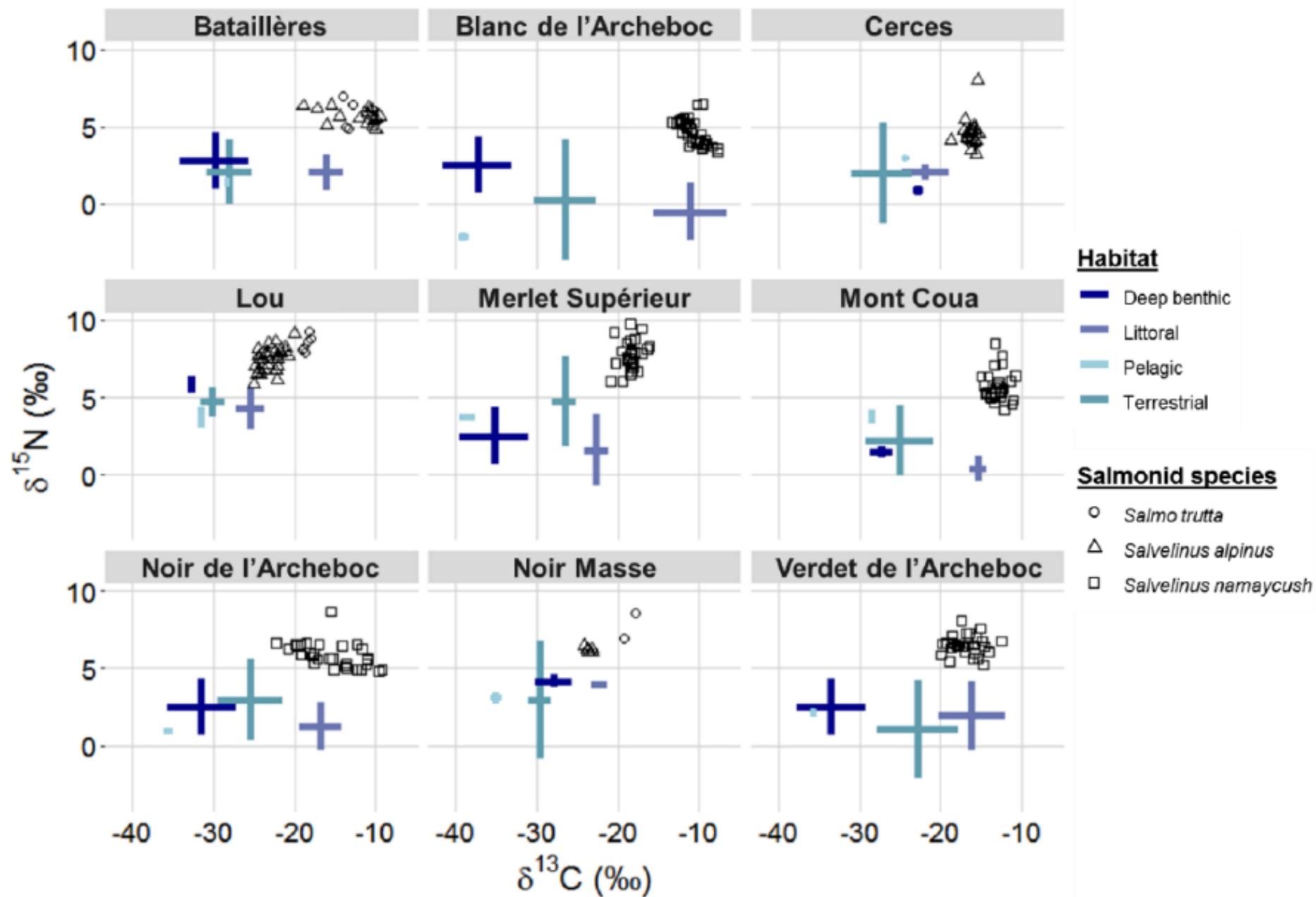
Effets indirects



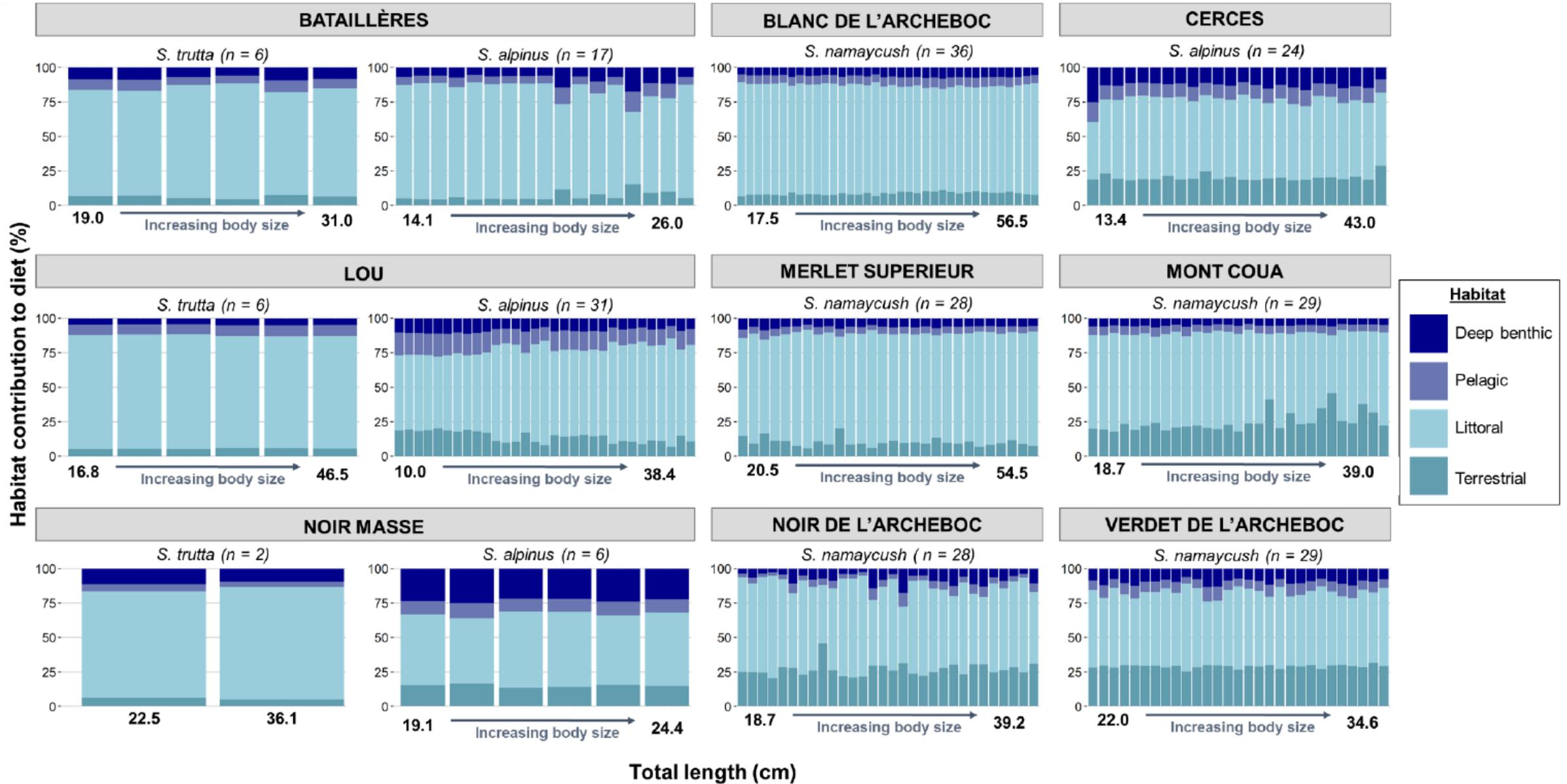
Embonpoint des poissons: quels forçages?



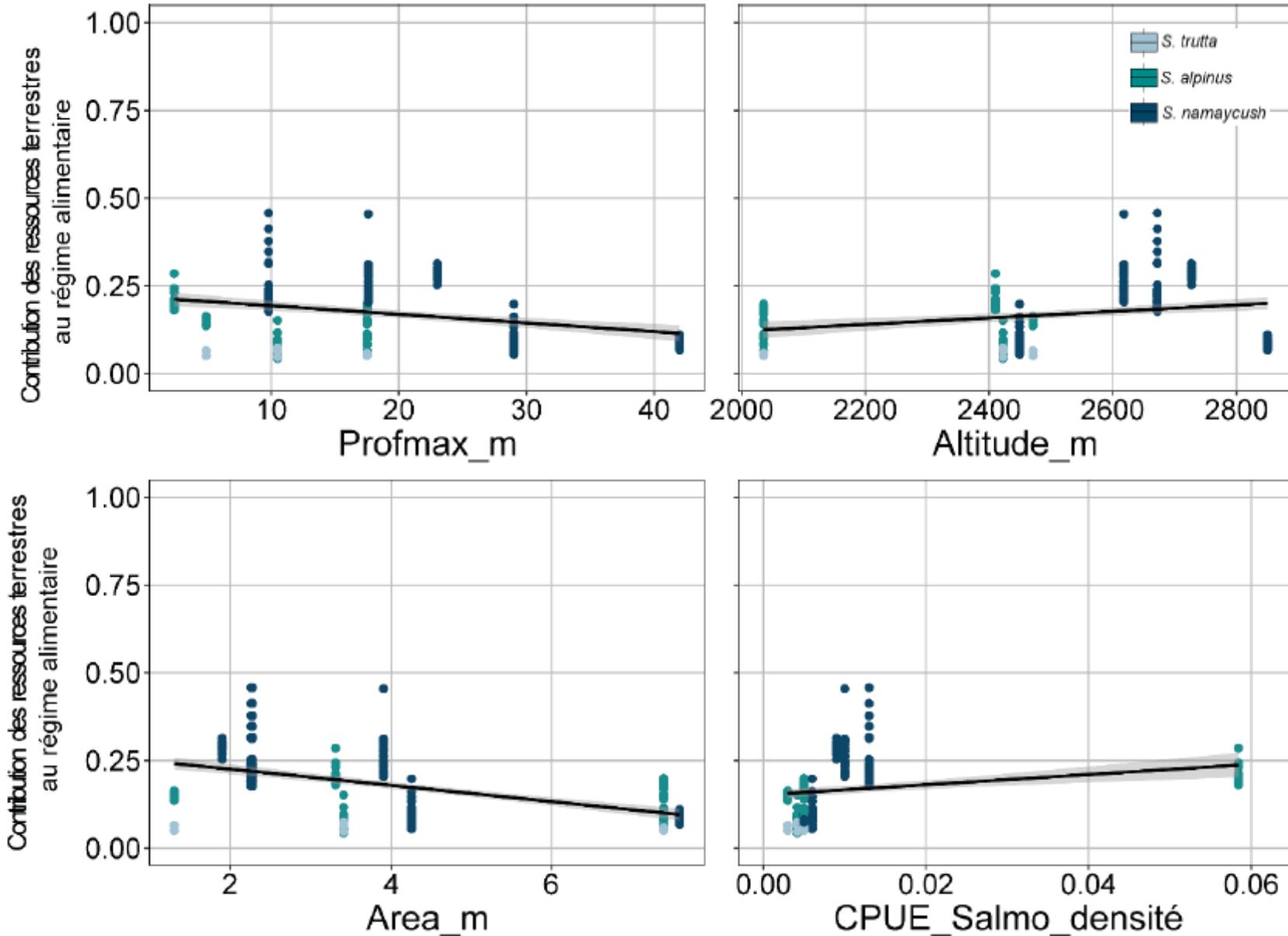
Quelles ressources utilisées par les poissons?



Quelles ressources utilisées par les poissons?



Quelles ressources utilisées par les poissons?



- corrélations positives ($p < 0.001$) avec l'altitude ($R^2=0.06$) et les densités de Salmonidae ($R^2=0.06$)
- corrélations négatives avec la profondeur ($R^2=0.1$), la surface du lac ($R^2=0.3$)
- corrélation (R^2) de 0.33 : variations de contributions de ressources terrestres au régime alimentaire des Salmonidae prenant en compte la combinaison de la surface du lac, de l'altitude et de soit la profondeur maximale du lac ou les densités de Salmonidae

Quels impacts des poissons sur la biodiversité?

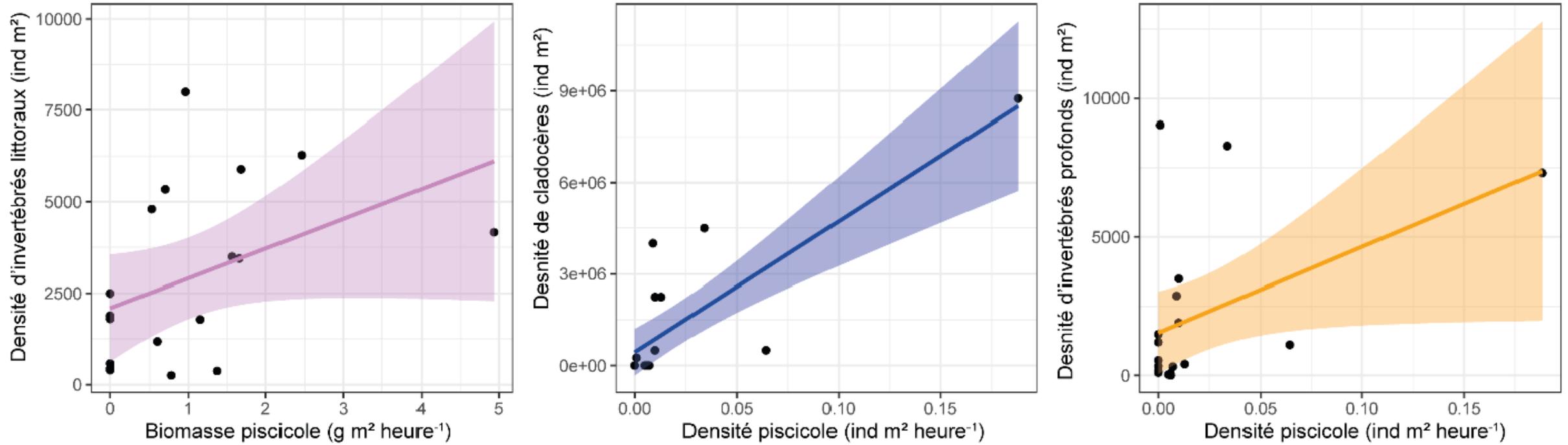
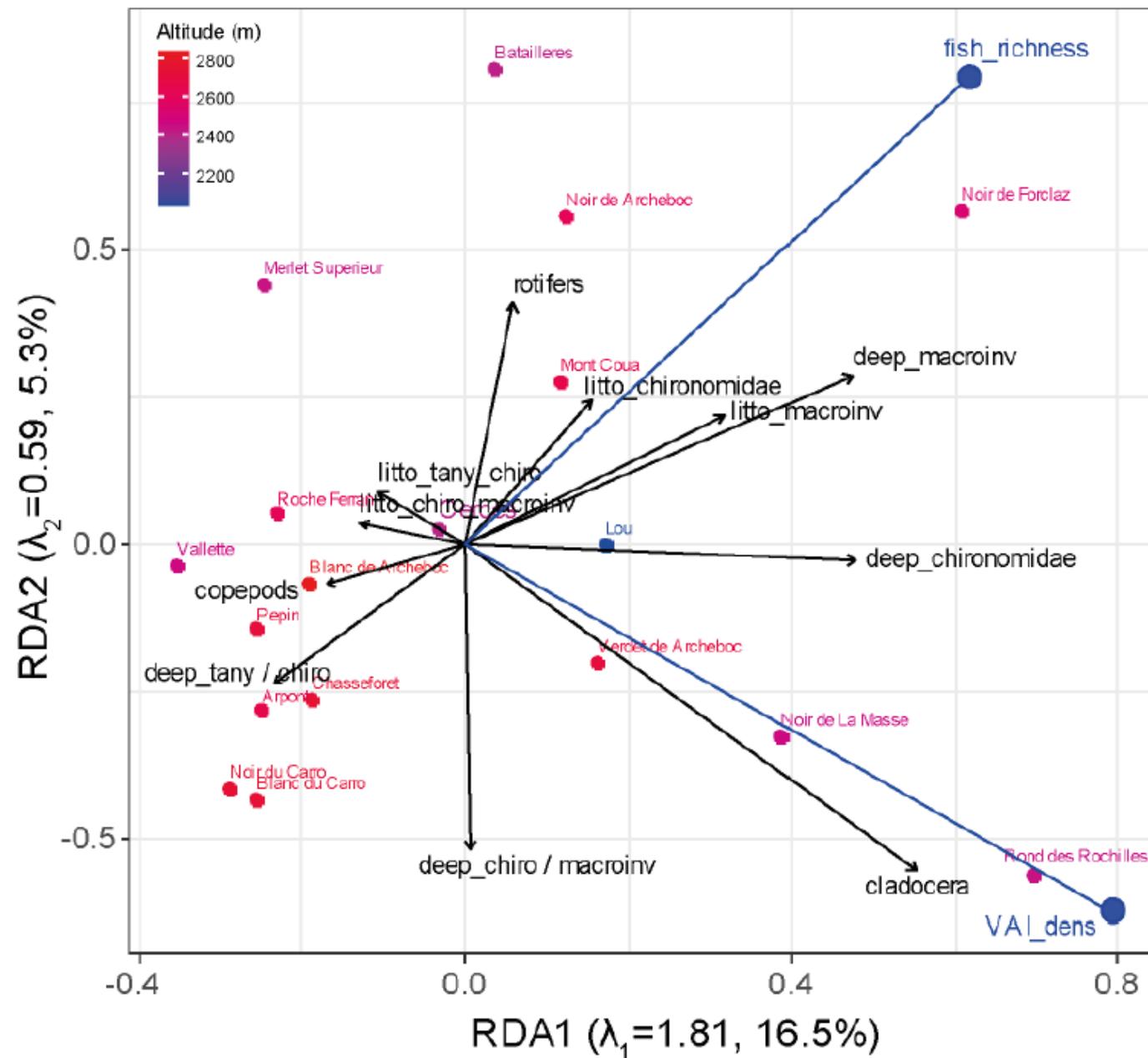
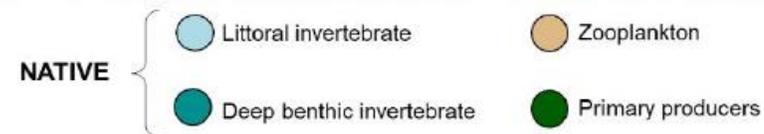
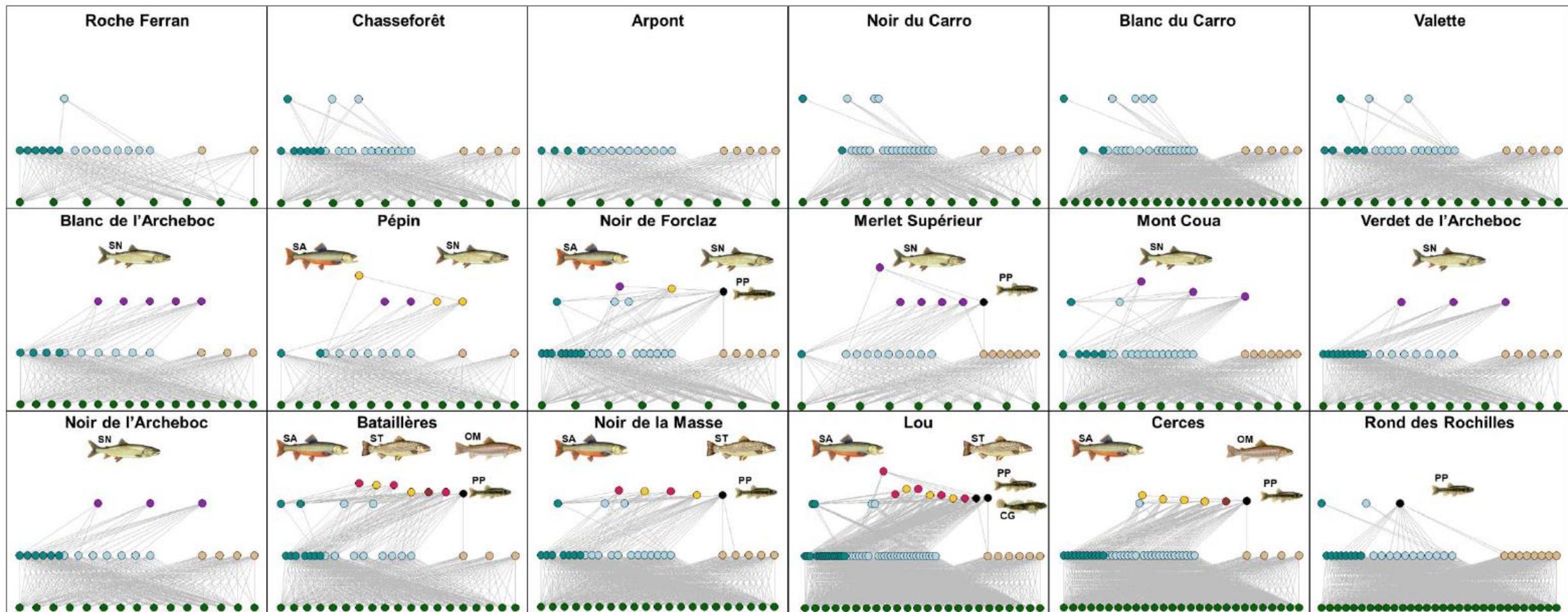


Figure 14 : Relations entre les CPUE de Salmonidae et les caractéristiques de biodiversité aquatique identifiées comme significatives (Figure 12).

Quels impacts des poissons sur la biodiversité?

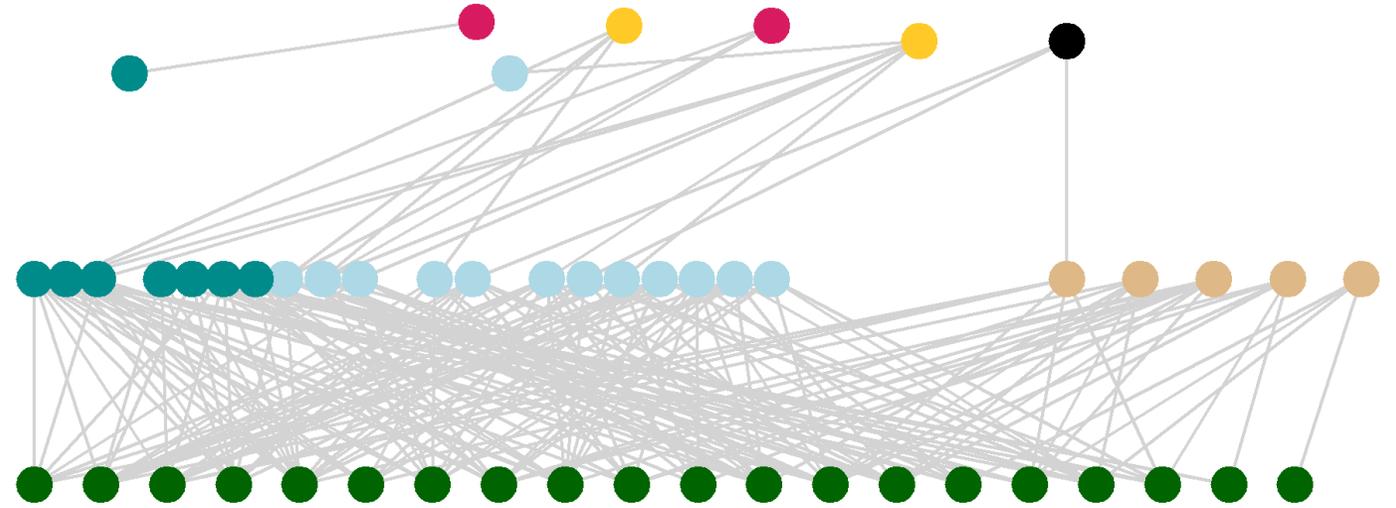
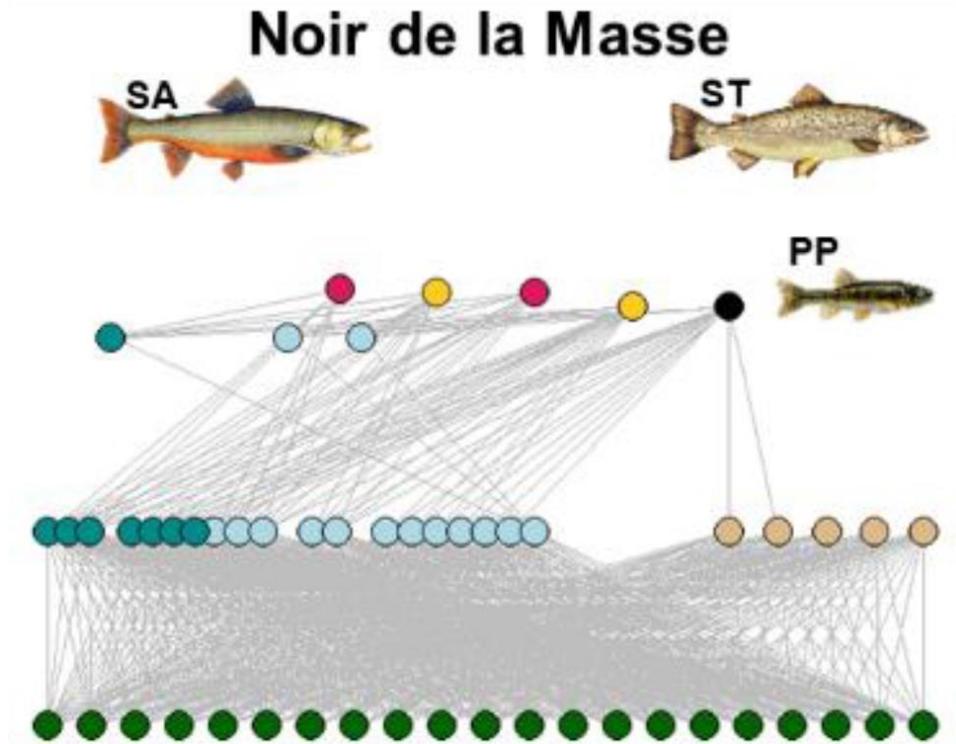


Quels impacts des poissons à l'échelle du réseau trophique?



Quels impacts des poissons à l'échelle du réseau trophique?

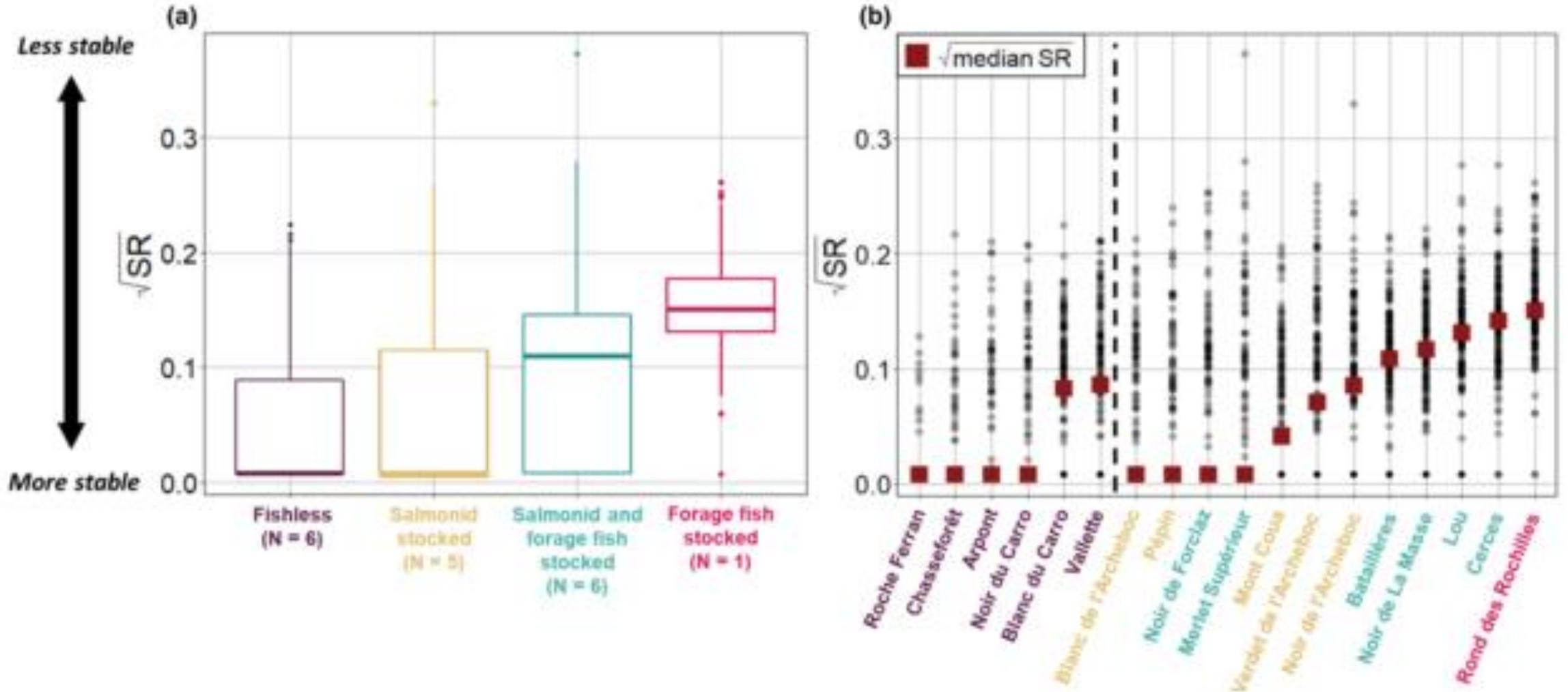
Réseau trophique du lac Noir de la Masse (Menuires)



Quels impacts des poissons à l'échelle du réseau trophique?

Estimation d'une facette de la stabilité :

Quantité d'autorégulation (self-regulation, SR) des matrices d'interactions des réseaux trophiques nécessaire pour que, si une perturbation est appliquée aux réseaux trophiques, cette perturbation ne s'amplifie pas: retour à l'équilibre.

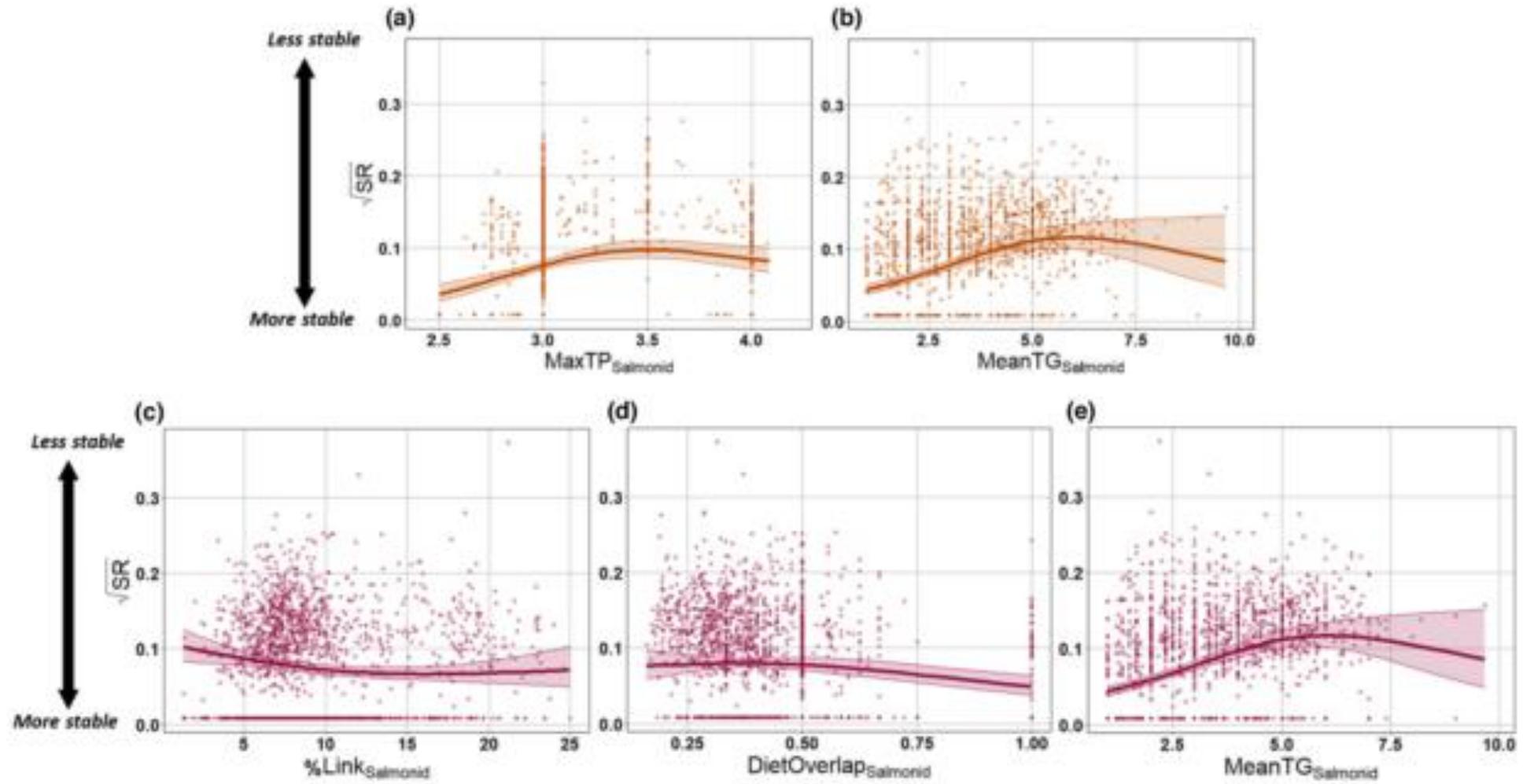


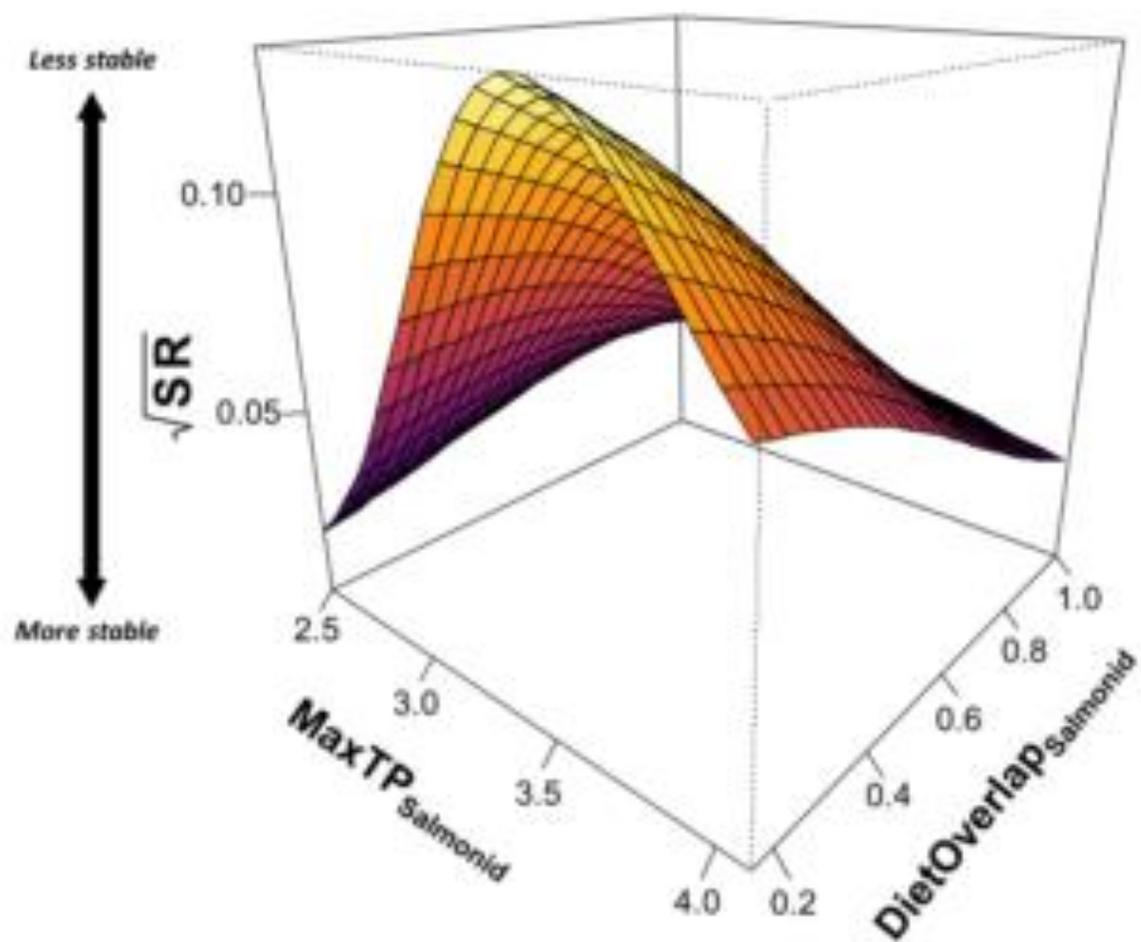
Quelles caractéristiques des réseaux, impliquant les Salmonidae peuvent expliquer les variations de stabilité?

TABLE 2 Variables characterizing vertical, horizontal diversities or both with the expected effects on food-web stability investigated using the minimal amount of self-regulation (SR) so that the real part of the dominant eigenvalue λ_{\max} of the Jacobian matrix is negative. Up arrows and down arrows correspond to an increase and a decrease in SR, respectively. Variables listed in the category “vertical diversity” were included in the vertical diversity model (VDM), variables listed in “horizontal diversity” were included in the horizontal diversity model (HDM), and those listed in “vertical & horizontal diversities” were included in both the VDM and the HDM.

Category	Descriptor	Definition	Justification	Hypothesis for SR	Hypothesis for stability
Vertical diversity	$Nbsc_{\text{Salmonid}}$	Number of different salmonid body size classes in the food-web	Increasing the number of different salmonid body sizes increases the vertical diversity	↗	Less stable
	$MaxTP_{\text{Salmonid}}$	Maximum salmonid trophic position in the food-web	Identify the maximum number food-web length once salmonids are introduced	↗	Less stable
	$FF_{\text{pres/abs}}$	Presence (1) or absence (0) of forage fish in the food-web	Add a trophic level when being consumed by salmonids	↗	Less stable
Horizontal diversity	$Rbsc_{\text{Salmonid}}$	Redundancy in salmonid body size classes in the food-web	Salmonids individual falling with the same body size classes will consume similar prey resulting in an increase in trophic redundancy	↘	More stable
	$DietOverlap_{\text{Salmonid}}$	Diet overlap between salmonids in the food-web	Measure of trophic redundancy between salmonids size classes within food-webs	↘	More stable
Vertical & horizontal diversities	$MeanTG_{\text{Salmonid}}$	Mean number of prey among the different salmonid size classes present in the food-web	Possible simultaneous role in vertical and horizontal diversity modifications	↗	Less stable
	$Nnode_{\text{Salmonid}}$	Number of salmonid nodes in the food-web	Possible simultaneous role in vertical and horizontal diversity modifications	↗	Less stable
	$\%Link_{\text{Salmonid}}$	Percentage of links involving salmonid as consumer	Possible simultaneous role in vertical and horizontal diversity modifications	↗	Less stable

Quelles caractéristiques des réseaux, impliquant les Salmonidae peuvent expliquer les variations de stabilité?







Received: 13 March 2023 | Revised: 17 October 2023 | Accepted: 20 November 2023

DOI: 10.1111/fwb.14208

ORIGINAL ARTICLE

Freshwater Biology WILEY

Persisting in extreme environments: What are the drivers of body conditions of introduced fish in high mountain lakes?

Chloé Vagnon^{1,2}  | Arnaud Sentis^{2,3}  | Benjamin Gerfand¹ | Jean Guillard^{1,2}  | Jean-Claude Raymond⁴ | Bertrand Loheac⁵ | Damien Proner⁵ | Manuel Vallat⁵ | Victor Frossard^{1,2}

Received: 6 February 2023 | Revised: 5 July 2023 | Accepted: 10 July 2023

DOI: 10.1111/ele.14290

LETTER

ECOLOGY LETTERS  WILEY

Changes in vertical and horizontal diversities mediated by the size structure of introduced fish collectively shape food-web stability

Chloé Vagnon^{1,2}  | Justin Pomeranz³  | Bertrand Loheac⁴ | Manuel Vallat⁴ | Jean Guillard^{1,2} | Jean-Claude Raymond^{2,5} | Arnaud Sentis^{2,6}  | Victor Frossard^{1,2}



Les Salmonidae dans les lacs d'altitude de Savoie

Rapport de synthèse



02/2023

Thèse CARTELE USMB-INRAE : Rôle de la prédation dans l'atténuation des impacts écologiques d'espèces non-natives
Andréa-Marie Lambert (encadrement Allan Raffard (INRAE) / Victor Frossard (USMB))

Objectifs et méthodes



1

Effet de la présence des Salmonidés sur l'utilisation de l'habitat par les Vairons et sur les invertébrés

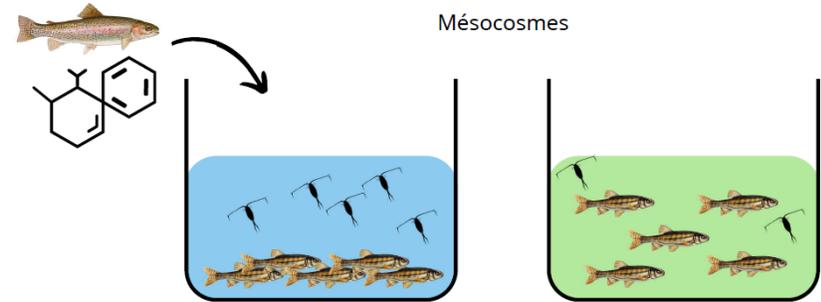


Objectifs et méthodes



2

Relations entre les effets non-létaux de la prédation par les Salmonidés et le fonctionnement, la structure des communautés d'invertébrés



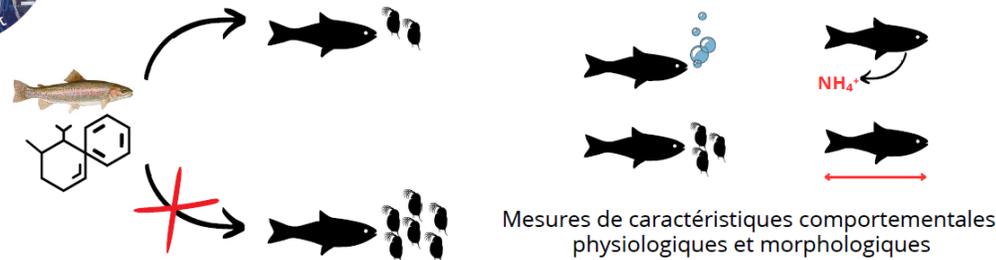
Mésocosmes

Objectifs et méthodes



3

Impact de la prédation des Salmonidés sur le comportement, la physiologie et la morphologie des Vairons



Merci pour votre attention!

