

NAVIDIV

Infrastructures de navigation fluviale et biodiversité : impacts et opportunités pour la gestion du paysage navigable



Aliénor JELIAZKOV pour le groupe NAVIDIV



Journées 2024 • **ITTECOP**
Infrastructures, territoires, transports, énergies, écosystèmes et paysages

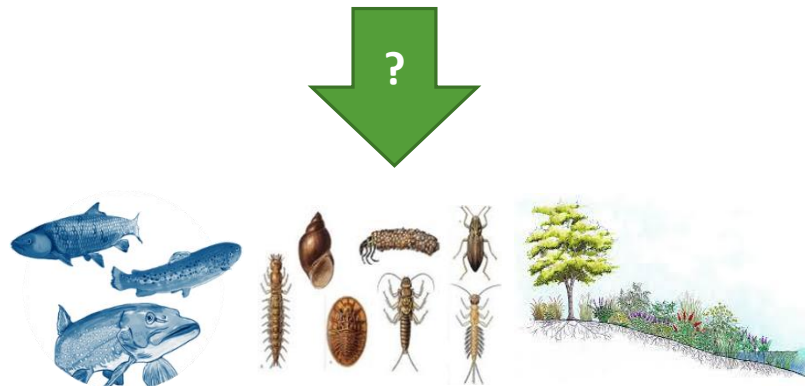
Groupe NAVIDIV : consortium européen



- Porteurs : Aliénor Jeliaskov (INRAE) & Jean-Nicolas Beisel (ENGEES)
- Post-doc : Aaron Sexton (FRB-CESAB)
- 11 partenaires académiques européens
- Projet de 3 ans (2021-2024)

Contexte : Vers une augmentation de la navigation en Europe

- Pacte Vert de l'Union Européenne
- Stratégie de mobilité durable – adapter le transport européen pour le future
- *Transport by inland waterways and short sea shipping will increase by 25% by 2030 and by 50% by 2050.*
(EC, 2020)



Ecosystème fluvial / rivulaire
Biodiversité aquatique et riparienne



Rotterdam Port



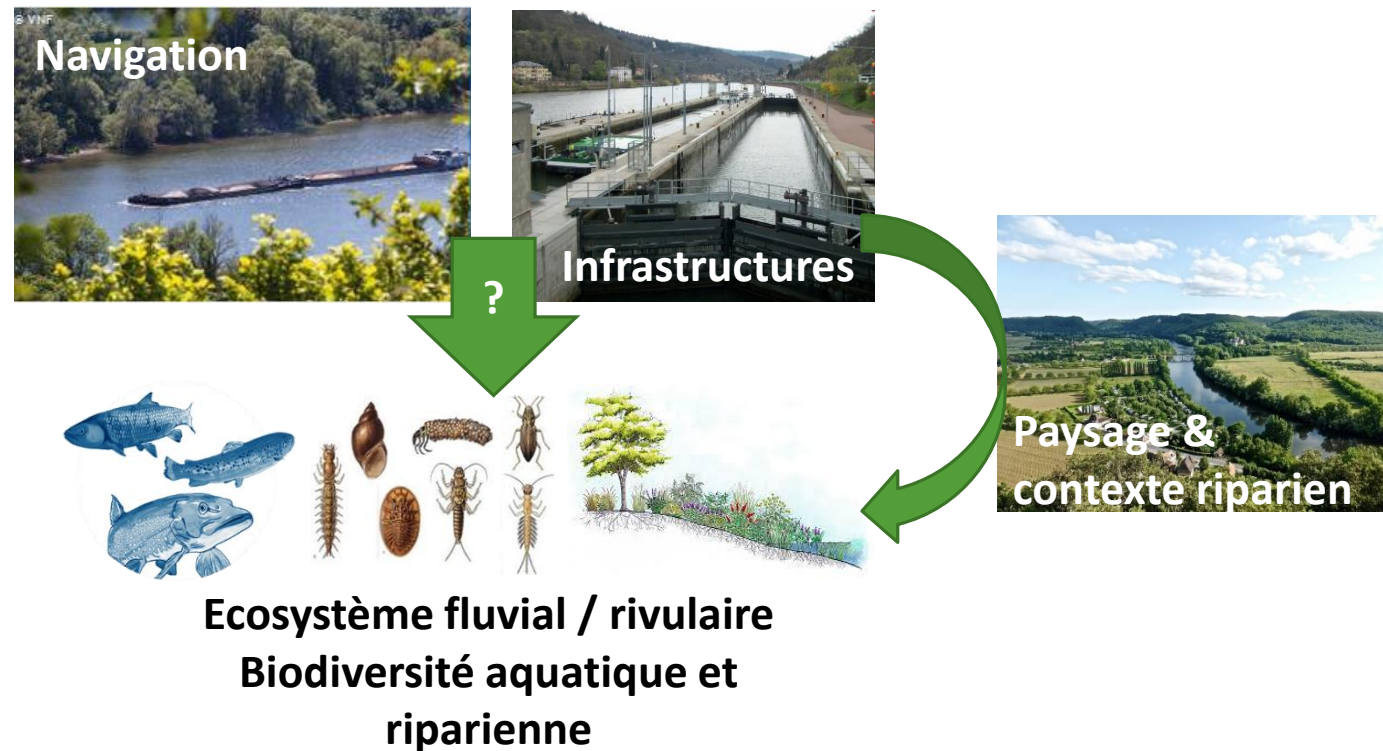
Lock & fish pass, Leipzig



Strasbourg Port

Questions

- Quels-sont les effets de la navigation et des infrastructures associées (INIs) sur la biodiversité ?
- De quoi dépendent ces effets ? (e.g. taxons, contexte paysager, échelles, etc.)
- Quelles solutions de restauration et de gestion envisager pour atténuer les impacts ?



Approches de synthèse (CESAB)

Synthèses sur les relations navigation-biodiversité :

- Revues de la littérature
- Analyses de données
- Méta-analyse

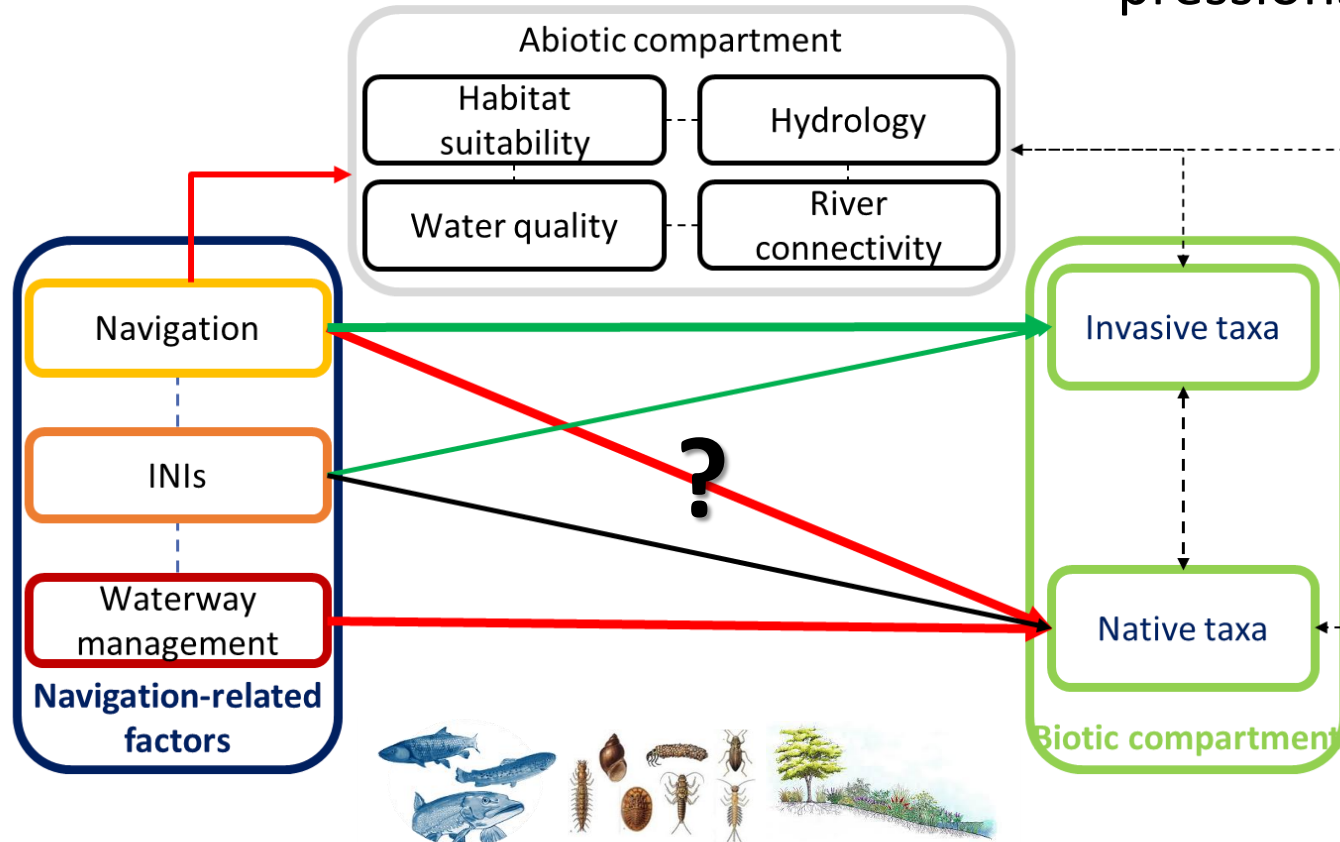
Effets de la navigation et des INIs sur les écosystèmes aquatiques

SYNTHESE SYSTÉMATIQUE DE LA LITTÉRATURE

Carte des connaissances

Objectifs :

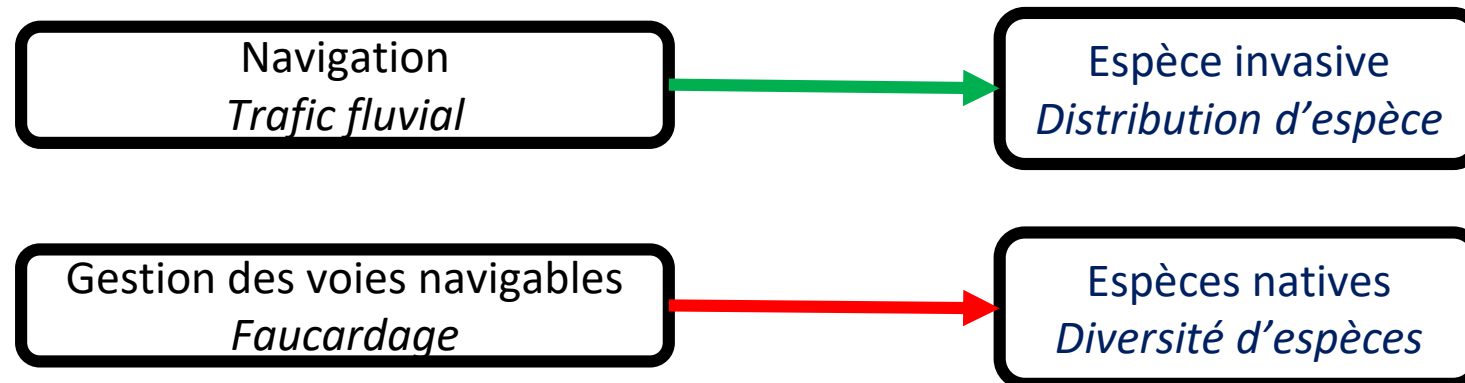
- Etat de l'art
- Effets directs et indirects (+ et -)
- Compariason inter-taxons et inter-pressions



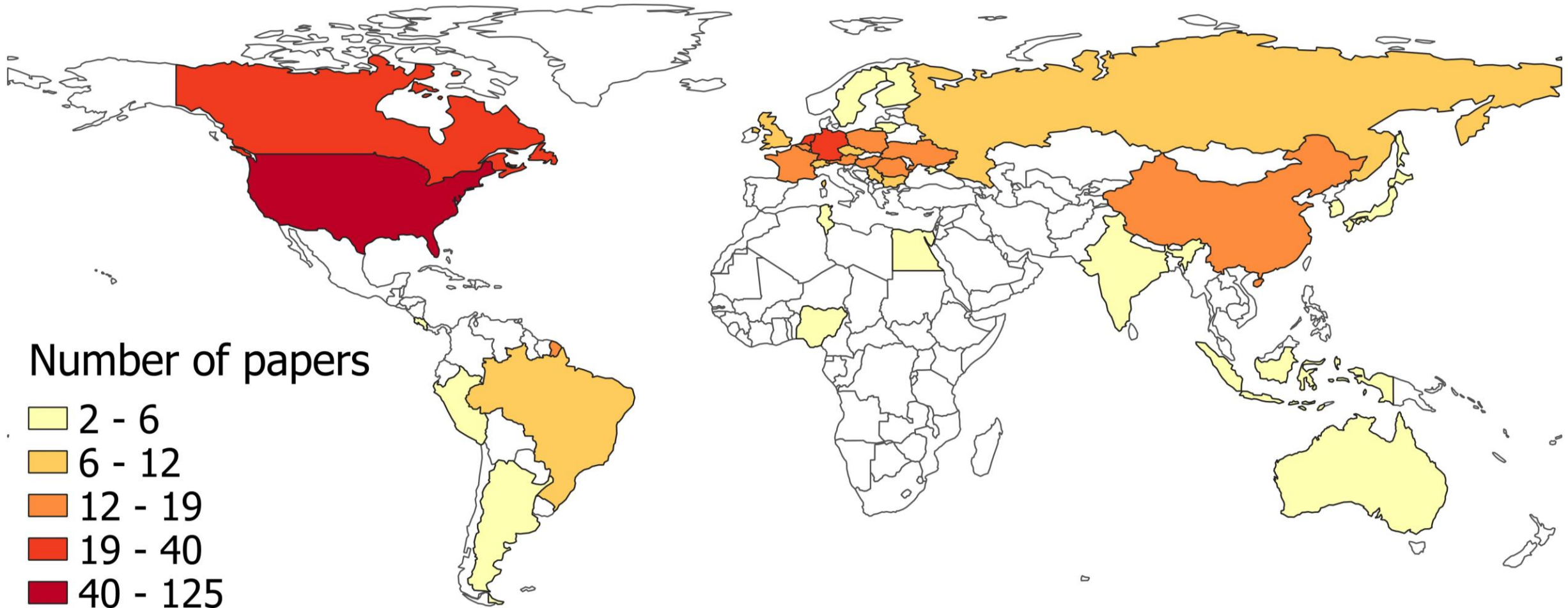
Méthodologie

- Revue systématique de la littérature (*Sordello et al. 2019*) → 7700 articles
- Articles distribués au sein du groupe d'experts pour filtre et analyse
- Résultant à **243 articles pertinents** pour extraire
 - Metadonnées
 - Information d'intérêt : Type d'effet, réponse analysée, direction et significativité de l'effet
- **1103 relations** identifiées entre **facteur de navigation & réponses biotiques / abiotiques**

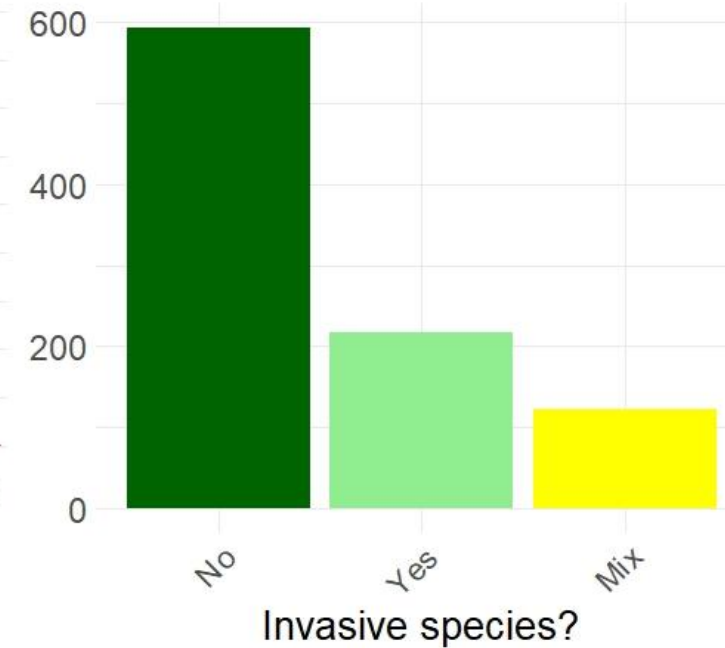
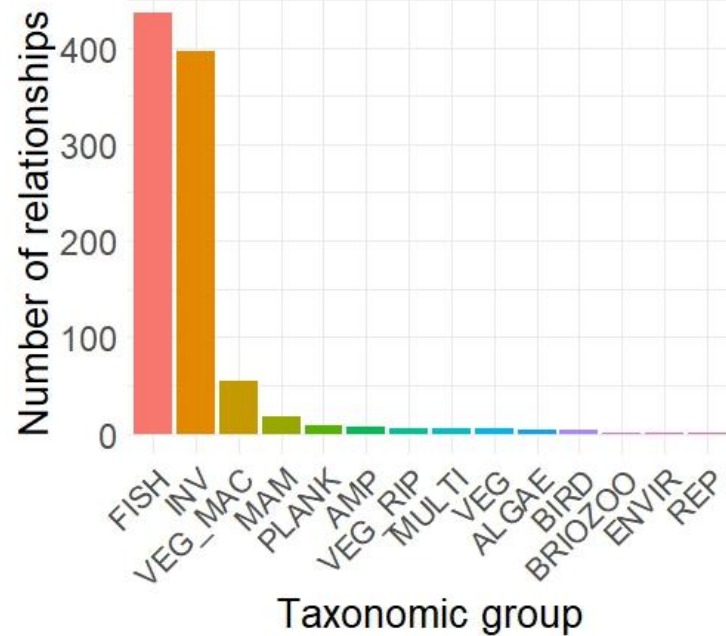
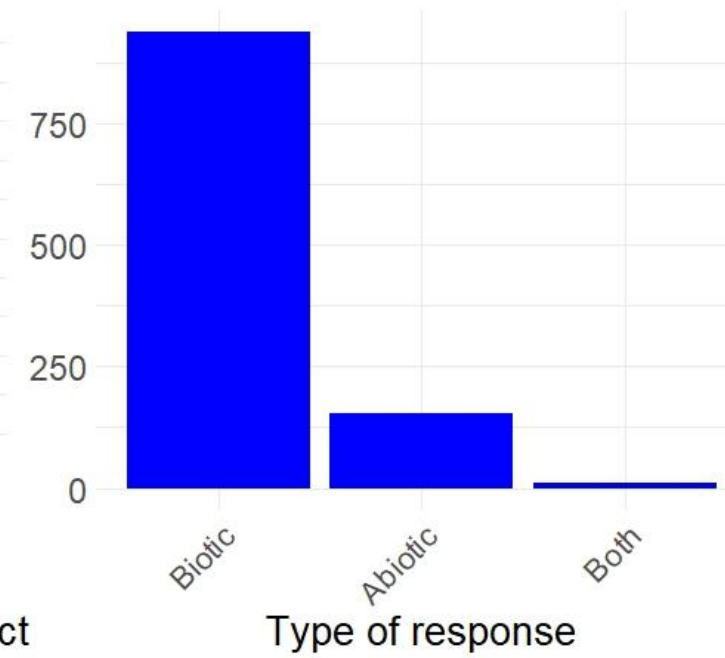
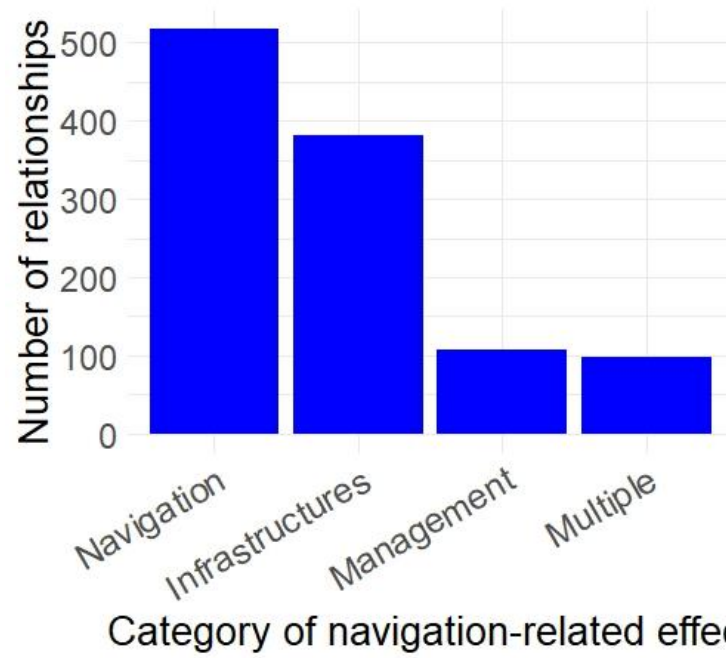
Exemples de relations étudiées



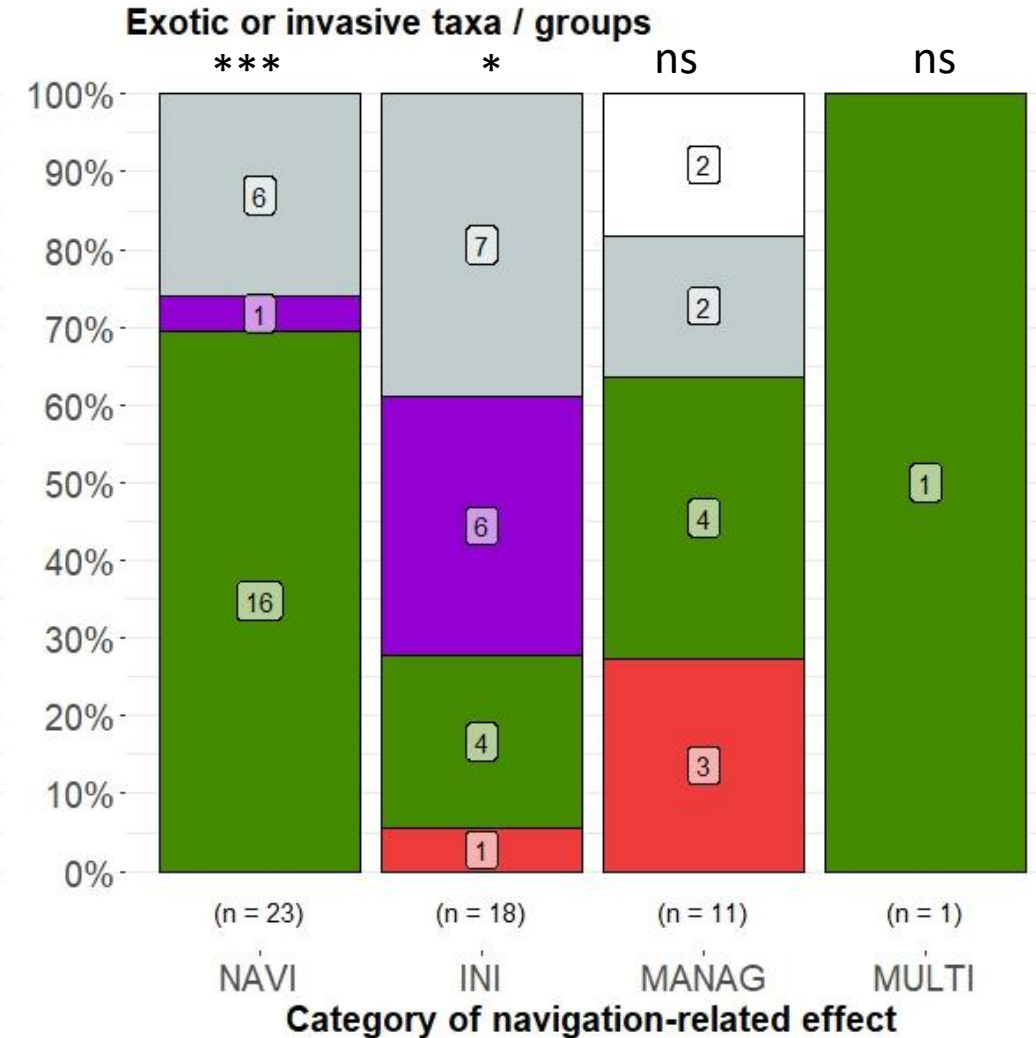
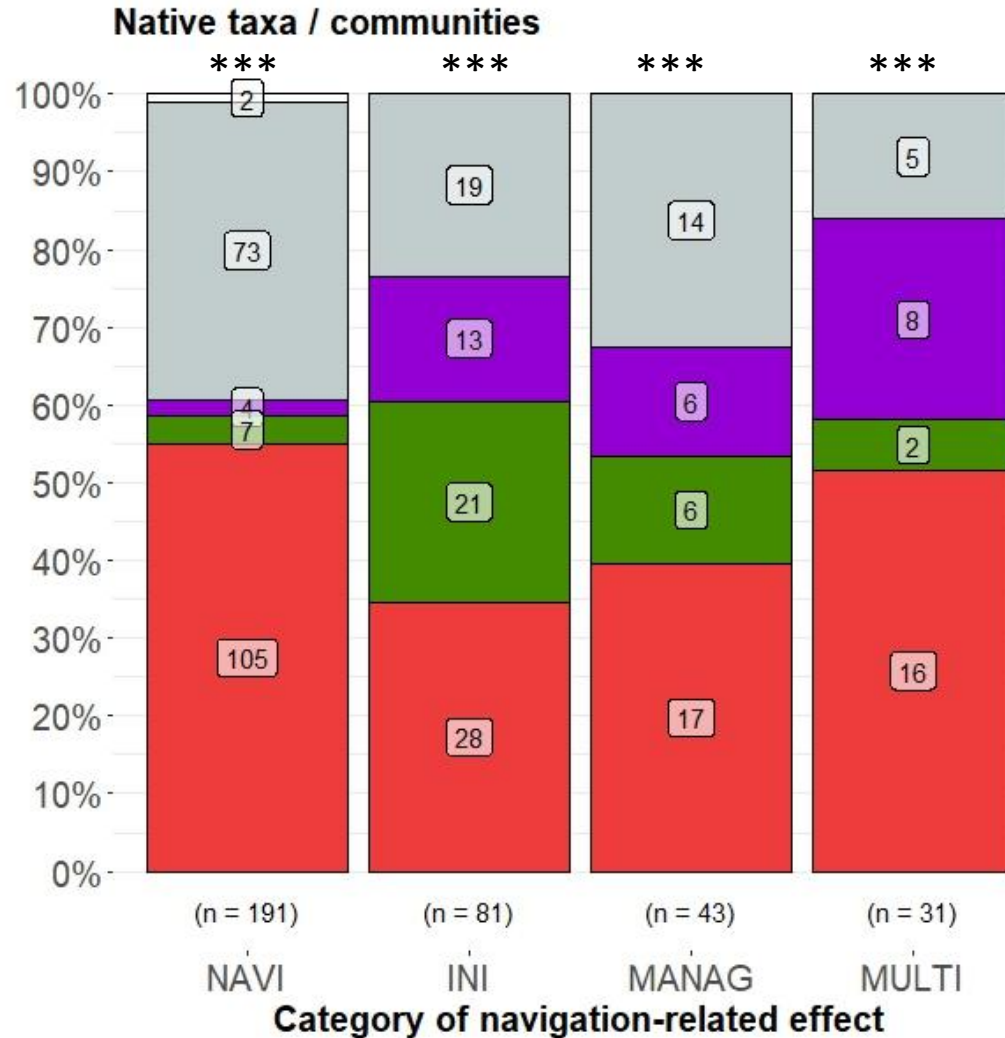
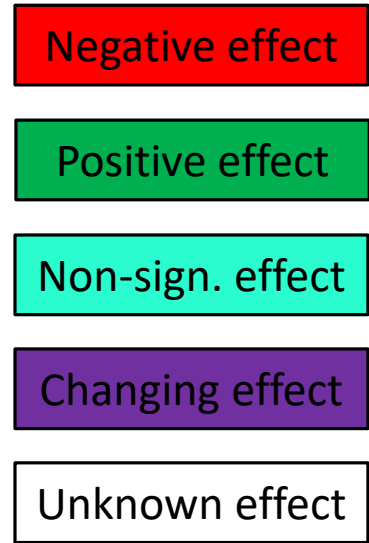
Nombre d'articles étudiant les relations navigation-fleuves



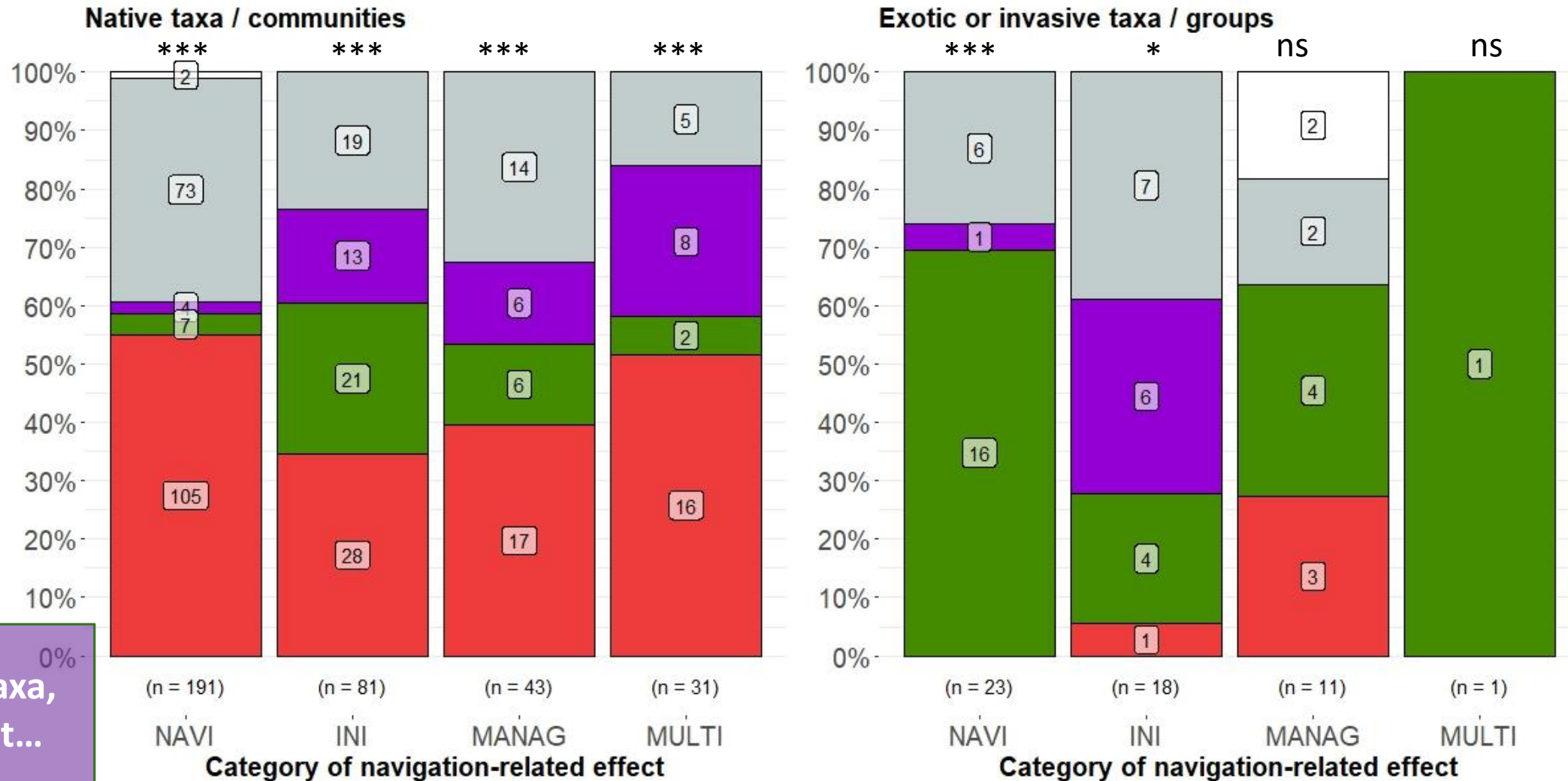
Exploration des métadonnées



Analyse de preuves des liens entre facteurs de navigation et réponses biotiques



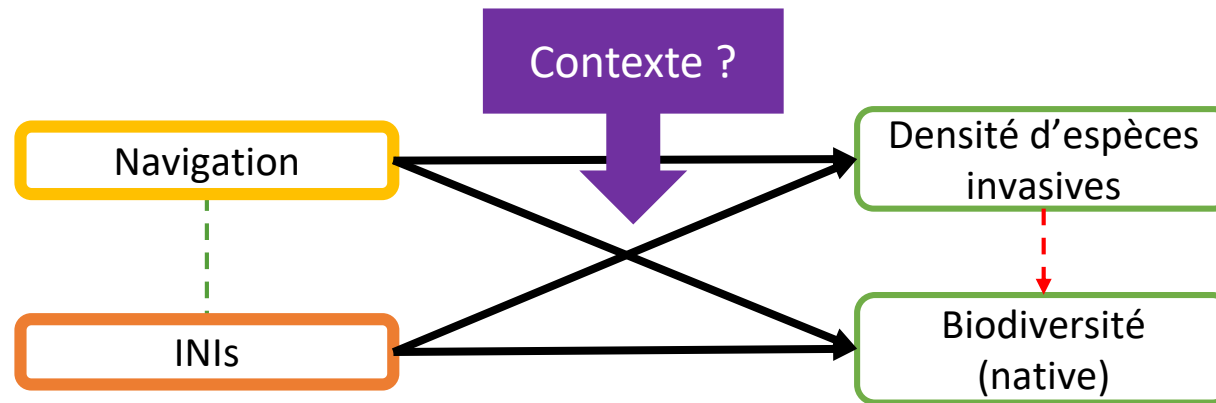
Analyse de preuves des liens entre facteurs de navigation et réponses biotiques



Contexte-dépendance & échelle-dépendance des relations navigation-biodiversité

SYNTHÈSE PAR ANALYSE DE DONNÉES

Evaluer les relations navigation-biodiversité et leur contexte-dépendance



- Vérifier les liens de façon **empirique** à **large échelle**
- Distinguer les effets de la **navigation vs. des INIs** sur les communautés à travers **différentes métriques**
- Evaluer la dépendance de ces effets aux contextes riparien et paysager

Méthodologie : les données

Différentes sources de données compilées & homogénéisées

15 jeux de données de biodiversité sur les voies navigables en Europe

~3000 sites d'observations

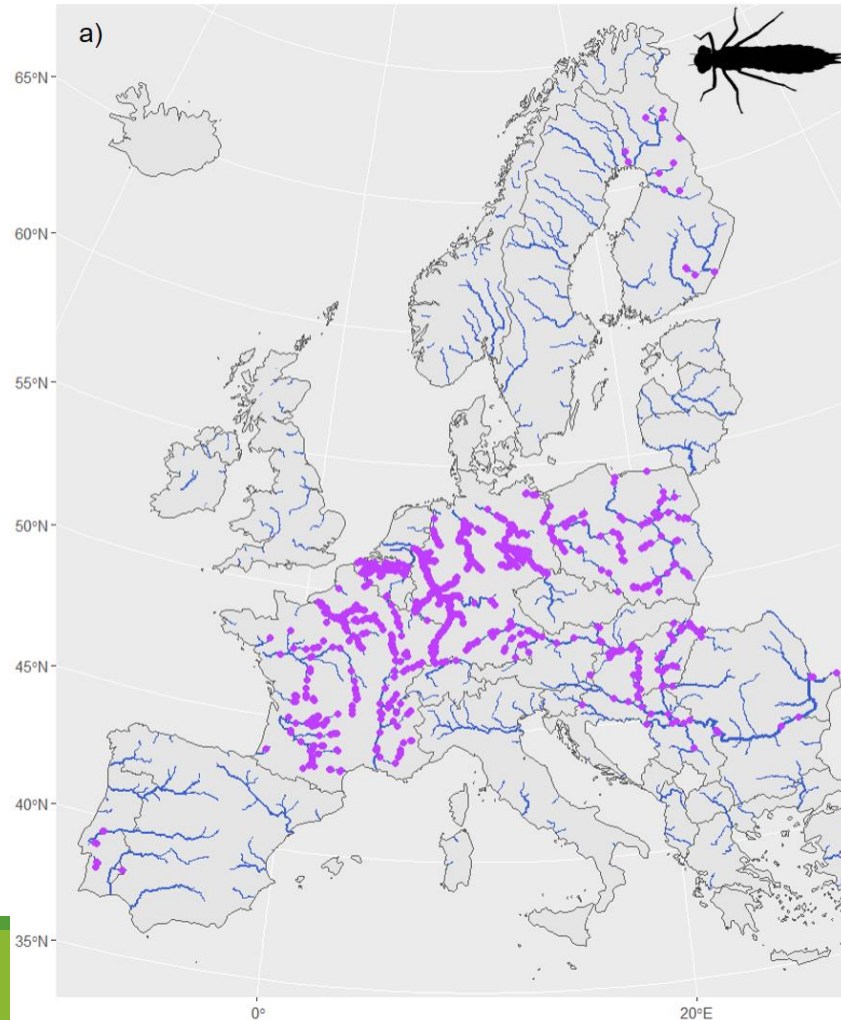
Données de navigation & infrastructures

(MarineTraffic, UNECE)

→ Trafti fluvial

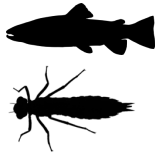
→ 1,215 écluses & 433 ports

→ Taux de chenalisation



Sexton et al. 2024, *Nature Ecol. Evol.*

Méthodologie : analyse statistiques des données d'observation



Diversité taxonomique native

Diversité fonctionnelle native

Densité d'espèces exotiques



Trafic fluvial



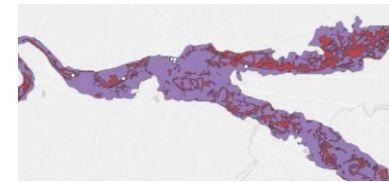
Densité d'INIs (ports & écluses)



Chenalisation



Contexte local



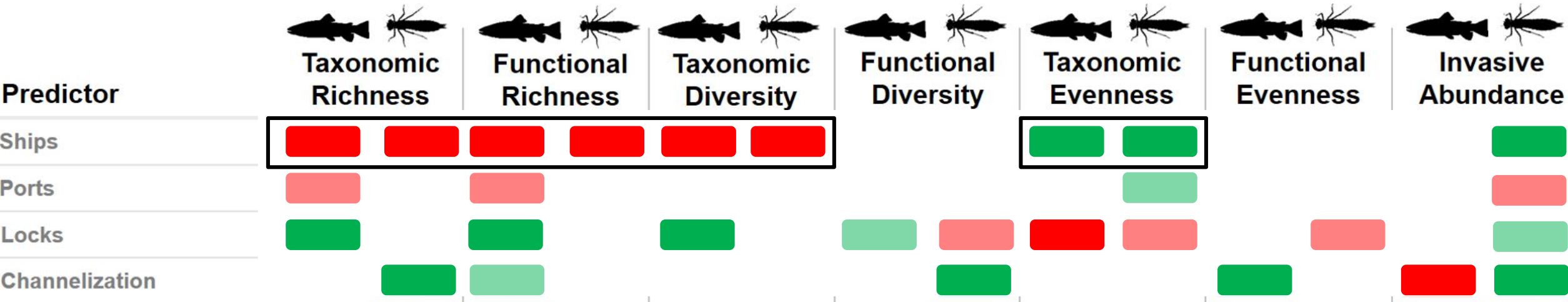
Dégradation riparienne

Contexte paysager



Artificialisation du paysage (agric, urbain)

Effets de la navigation & des INIs sur la biodiversité



Effet négatif

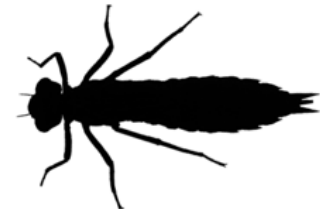
Effet positif



Spécialiste, Rhéophile,
Benthique, Non-migrateur



Généraliste, Eurytopique,
Pélagique, Diadromes

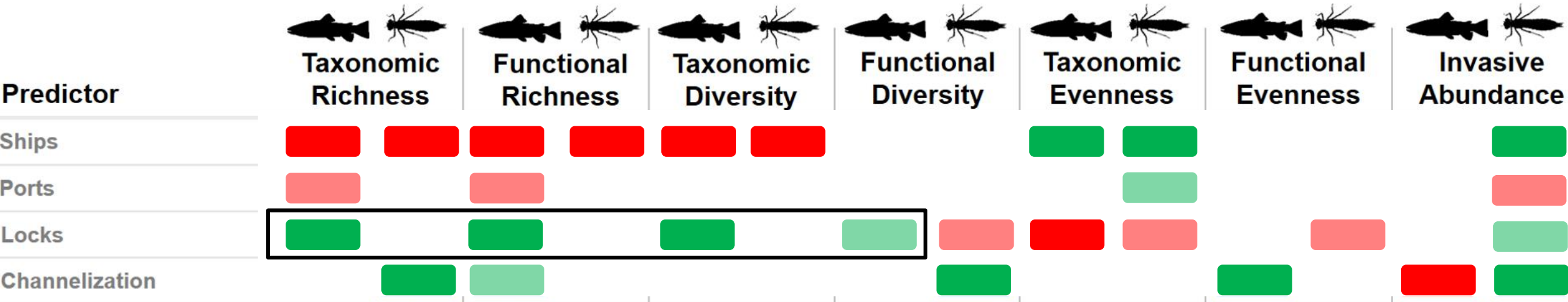


Spécialiste, Disperseur
passif, Attaché au substrat



Généraliste, Disperseur actif,
Nageur/volant

Effets de la navigation & des INIs sur la biodiversité



Ecluses moins fragmentantes que d'autres types d'obstacles
 Parfois même facilitantes pour le passage de poissons

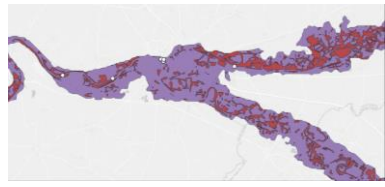
(Baumgartner and Harris 2007; Vergeynst et al. 2021; Le Pichon et al. 2023)

Effets de la navigation & des INIs sur la biodiversité

Predictor	Taxonomic Richness		Functional Richness		Taxonomic Diversity		Functional Diversity		Taxonomic Evenness		Functional Evenness		Invasive Abundance	
Ships	Red	Red	Red	Red	Red	Red			Green	Green				Green
Ports	Light Red		Light Red							Light Green				Light Red
Locks	Green		Green		Green		Light Green	Light Red	Red	Light Red		Light Red		Light Green
Channelization		Green	Light Green					Green			Green		Red	Green

Mais interactions significatives avec contextes local et paysager !

Contexte local



Dégradation riparienne

Contexte paysager



Artificialisation du paysage (agric, urbain)

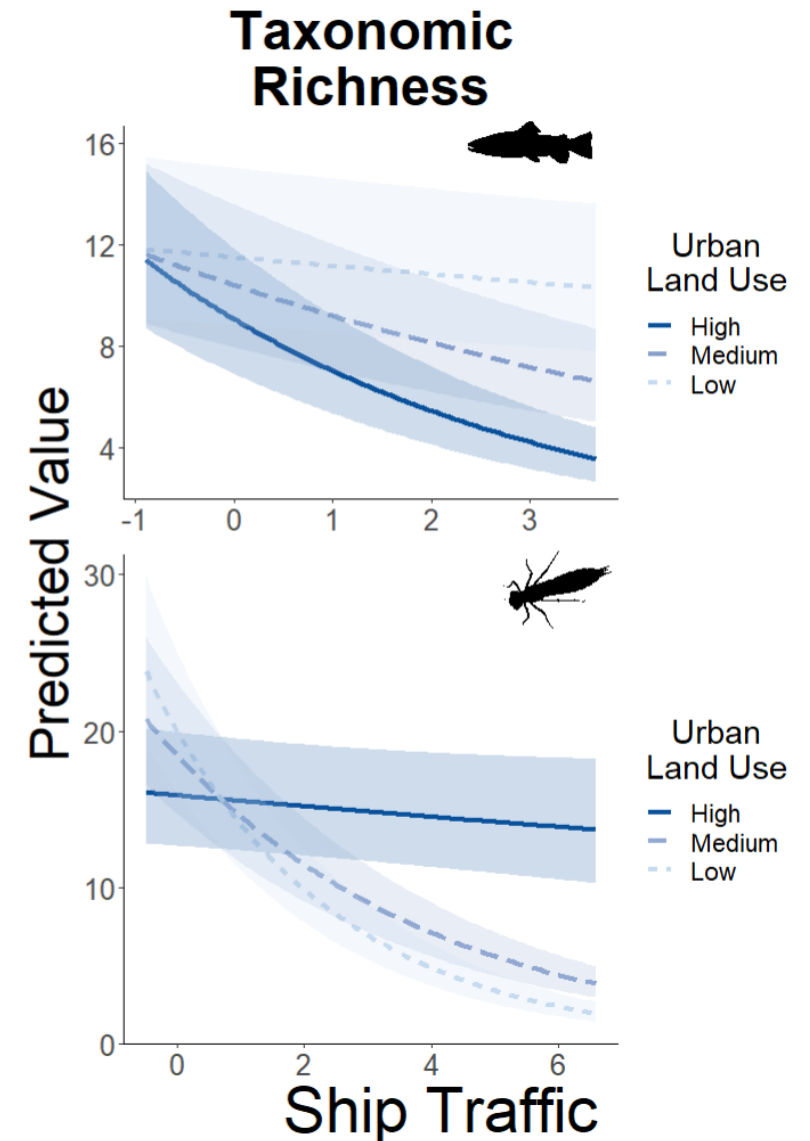
Contexte-dépendance des effets de la navigation sur la biodiversité

Poissons

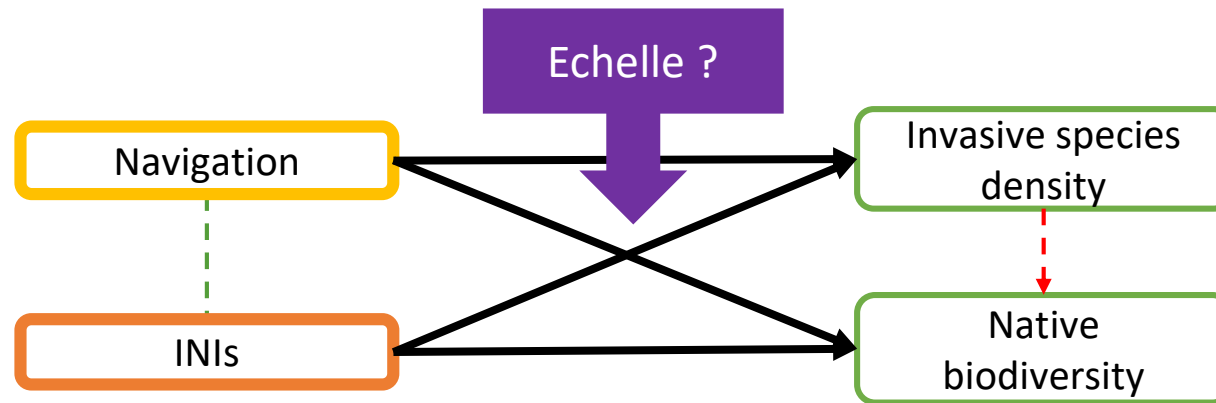
- Dégradation du paysage amplifie effet négatif de la navigation
- Plus la zone riparienne est en bon état, plus l'impact est faible

Macroinvertébrés

- La dégradation du paysage masque l'effet de la navigation → “syndrome des cours d'eau urbains”



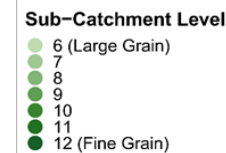
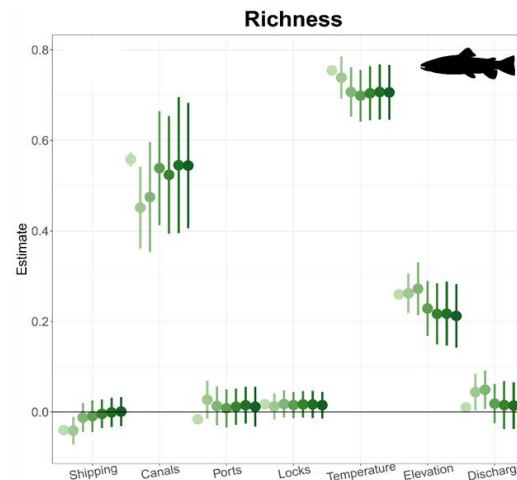
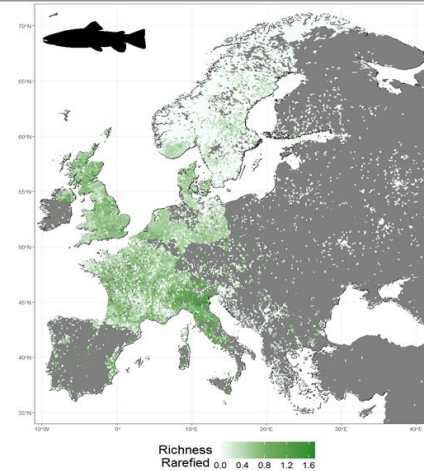
Evaluer les relations navigation-biodiversité et leur échelle-dépendance



- Identifier les **échelles spatiales** pertinentes de **gestion de la navigation**

Les effets de la navigation sur les espèces exotiques dépendent de l'échelle

- Effets positifs des canaux et de la température à toutes les échelles → importance d'adapter nos stratégies de gestion au changement climatique
- Effets négatifs du trafic fluvial et des ports à échelle locale → pressions s'appliquent indifféremment sur poissons natifs et exotiques à cette échelle
- Navigation (trafic) devient favorable à larges échelles quand celle-ci facilite la dispersion



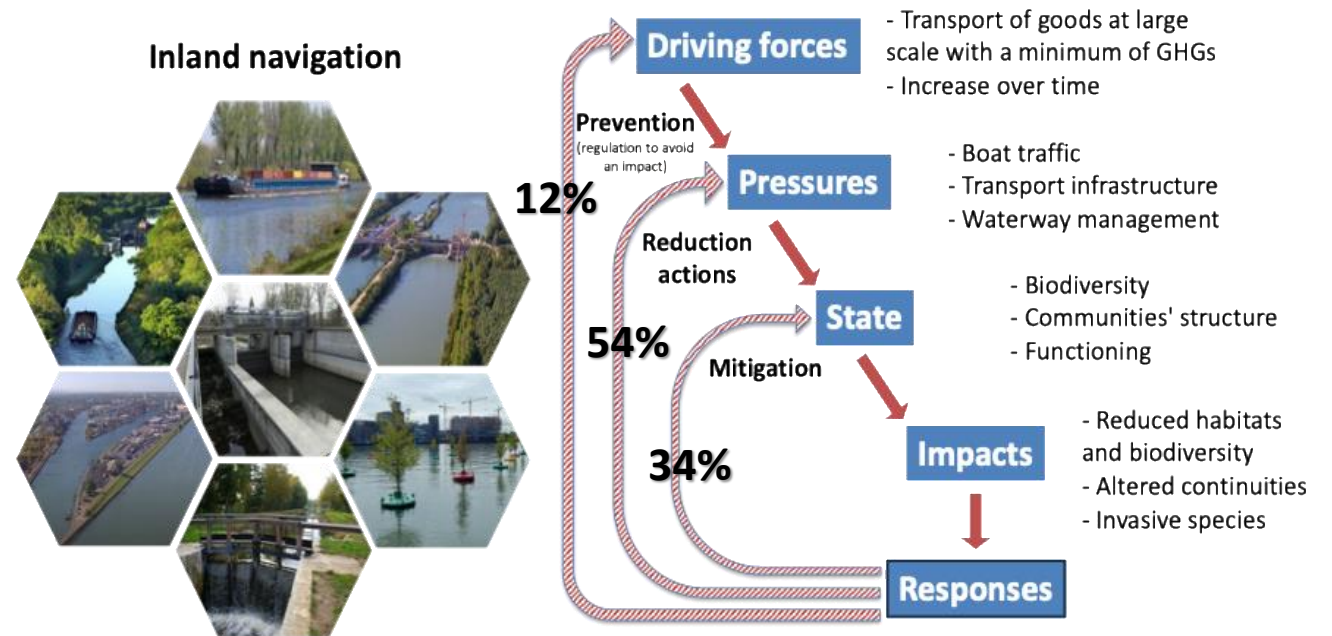
~80 000 km²
↓
~120 km²

Restauration & solutions de gestion pour atténuer les impacts de la navigation

REVUE & META-ANALYSE

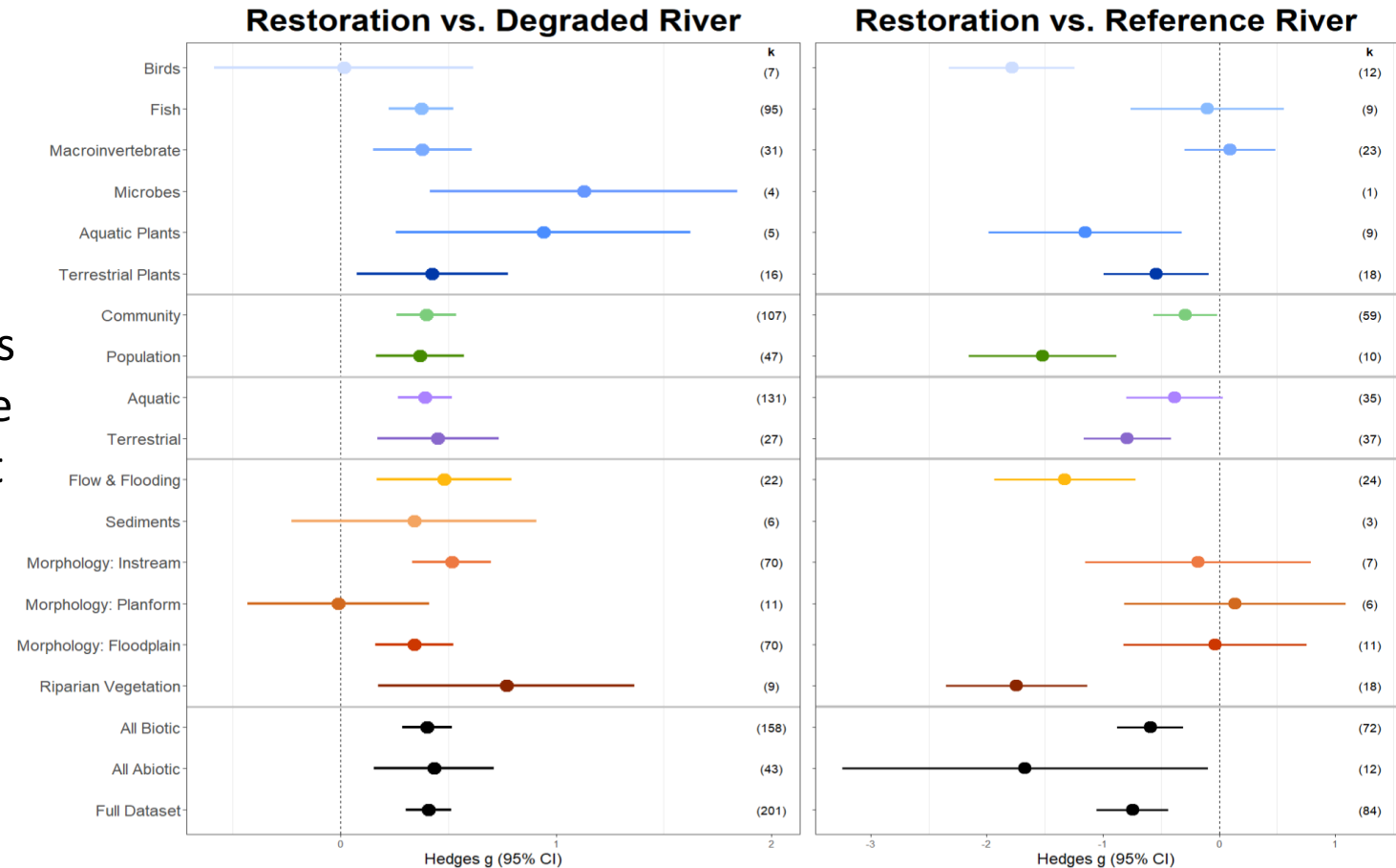
Revue des actions d'atténuation

- Revue classique de la littérature (non exhaustive, non systématique)
- 61 études
- Actions de restauration les plus communes :
 - Division du chenal
 - Création d'îles
 - Restauration des berges naturelles (connectivité latérale)
 - Reconnexion du lit avec la plaine alluviale (gestion intégrée des niveaux d'eau)



Méta-analyse du succès de restauration

- Résultats préliminaires
- Restauration améliore significativement la situation
- Stratégies particulièrement fructueuses : adaptations morphologiques, régulation des débits et gestion de la végétation riparienne
- Tous les habitats, groupes taxonomiques, et niveaux d'organisation semblent en bénéficier
- Mais difficulté à revenir à un état de référence (pressions persistantes, point de non retour ?)



Principales conclusions



- Utile et écologiquement pertinent de distinguer les effets de la **navigation** elle-même vs. des **INIs** vs. de la **gestion** des voies navigables
- Besoin de connaissances supplémentaires sur les effets de la **gestion des voies navigables** et des processus sous-jacents
- Forts **impacts** de la navigation sur la **biodiversité** native
- **Canaux** favorisent favorisent les **espèces exotiques** à toutes les échelles
- Tous ces impacts dépendent significativement du **contexte paysager**
- La **restauration** des cours d'eau navigués fonctionne mais ne permet pas de les ramener à des niveaux de référence.

Recommandations & perspectives

- **Renforcer les réglementations** sur le **trafic** fluvial pour limiter les nuisances et l'érosion, sur les opérations d'**éclusées** pour améliorer la connectivité, et sur les **ballastages** pour éviter les contaminations par des espèces exotiques
- Développer des solutions de **gestion écologiquement responsables** pour l'entretien des voies navigables et inventer des **mesures de restauration intégratives et adaptées au contexte paysager**
- **Adapter** les futures **régulations** pour faire face au **changement climatique**, étant donné que certains fleuves seront de plus en plus exposés aux modifications de débit et aux invasions biologiques
- S'appuyer sur les **recommandations basées sur des preuves** et produites à l'échelle européenne par NAVIDIV pour coordonner les politiques de gestion de la navigation entre pays et ainsi répondre aux objectifs de **cohérence transfrontalière** de la navigation intérieure

Remerciements

Le groupe NAVIDIV remercie le **programme ITTECOP du MTE** et le **CESAB**.



Contact information:

Aliénor JELIAZKOV

alienor.jeliazkov@inrae.fr

Jean-Nicolas BEISEL

Aaron SEXTON

aaron.sexton@fondationbiodiversite.fr

Pages web :

<https://ittecop.fr/fr/tous-les-projets/recherches-2020/projets-cesab-2020/item/831-navidiv>

<https://www.fondationbiodiversite.fr/en/the-frb-in-action/programs-and-projects/le-cesab/navidiv/>

Merci pour votre attention

Appendices

Navigation-related factor

River environment response

Navigation

$N_{bio}=198$
 $N_{exo}=24$
 $N_{abio}=40$

Infrastructures

$N_{bio}=80$
 $N_{exo}=18$
 $N_{abio}=27$

Management

$N_{bio}=43$
 $N_{exo}=11$
 $N_{abio}=4$

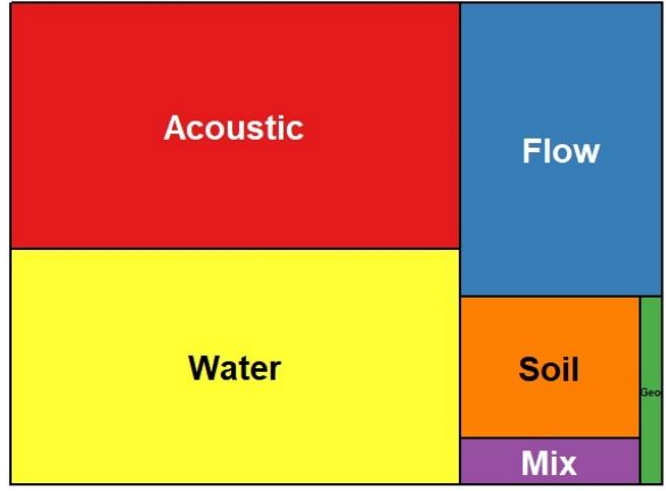
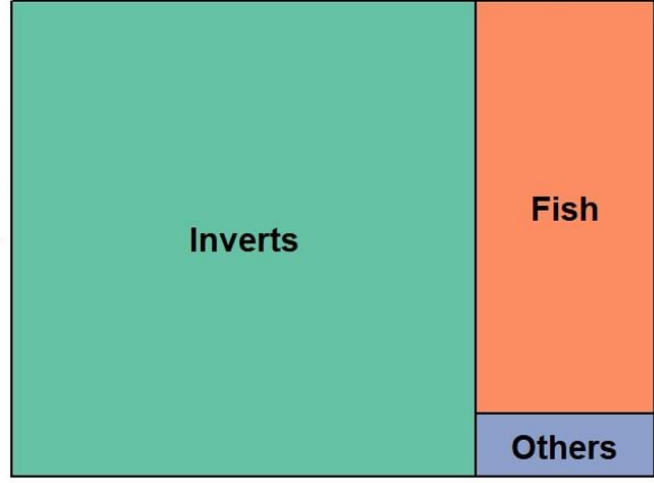
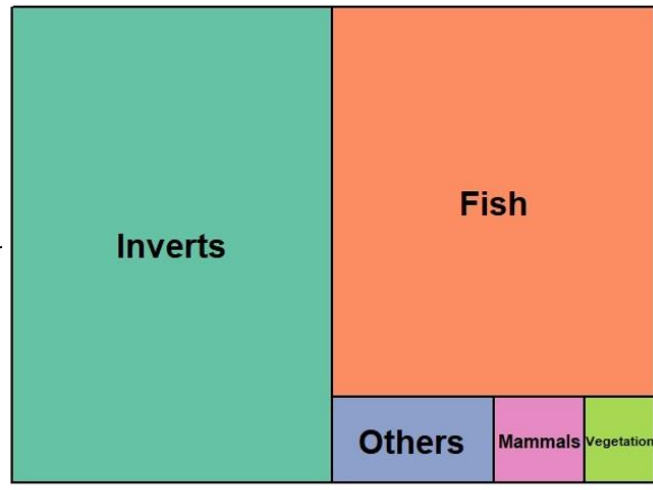
Multiple

$N_{bio}=31$
 $N_{exo}=1$
 $N_{abio}=1$

Native biotic

Exotic biotic

Abiotic



- Dominant evidenced relationships (from 26% to 70%)
- Secondary relationships

- Positive
- Negative
- Changing
- Non-significant

Hypothesized links across river compartments

Methodology

- PECO strategy for litt. search ([Sordello et al. 2019](#)) → 7700 articles
- Articles distributed among the group for pre-filter (→ 495 articles) and then for analysis
- Ended up with **243 relevant articles** from which we extracted several information
 - Metadata: type of paper, geographical region, etc.
 - Focus data: Type of effect, response analysed, direction and significance of effect, etc.
- **1103 relationships** identified between **navigation-related factor & biotic / abiotic response**

Population

Exposure

Comparator

Outcomes

Biodiv

TS=(biodiversity OR species OR ecosystem\$ OR plant\$ OR vegetation OR macrophyte\$ OR *invertebrate\$ OR vertebrate\$ OR fish* OR riparian OR communit* OR habitat\$ OR mammal\$ OR amphib* OR bird\$ or reptil*)

Navigation

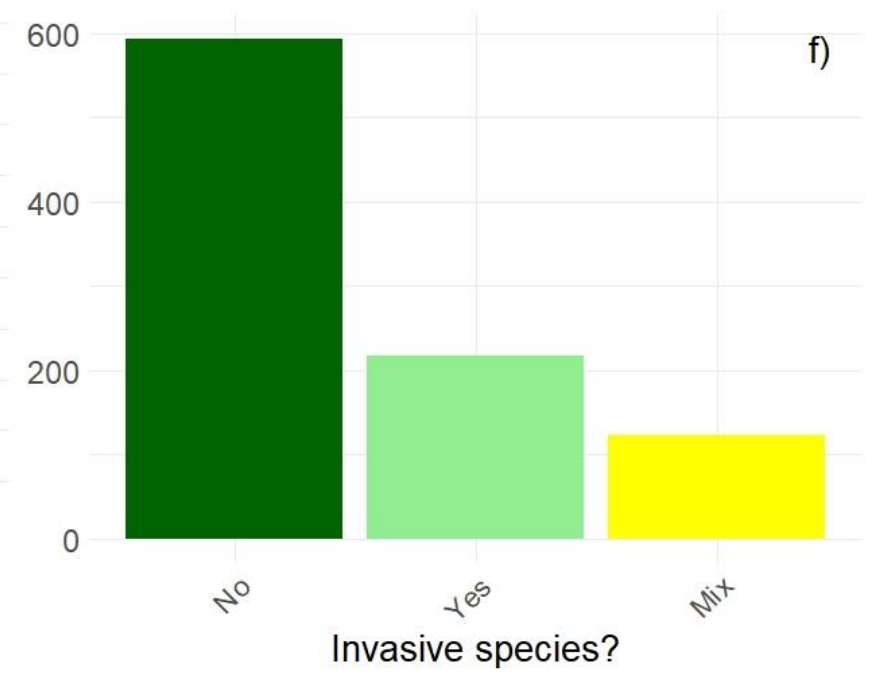
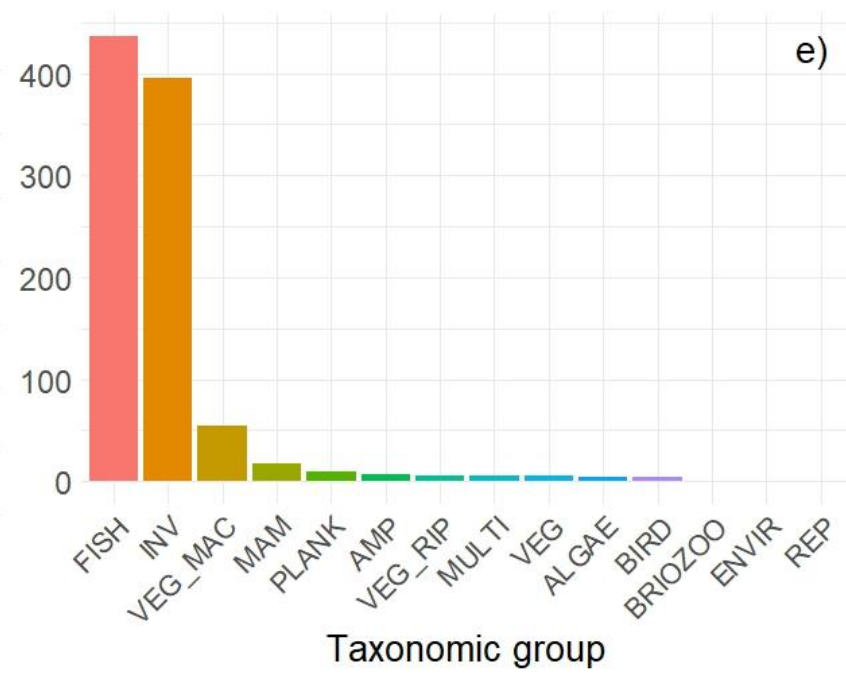
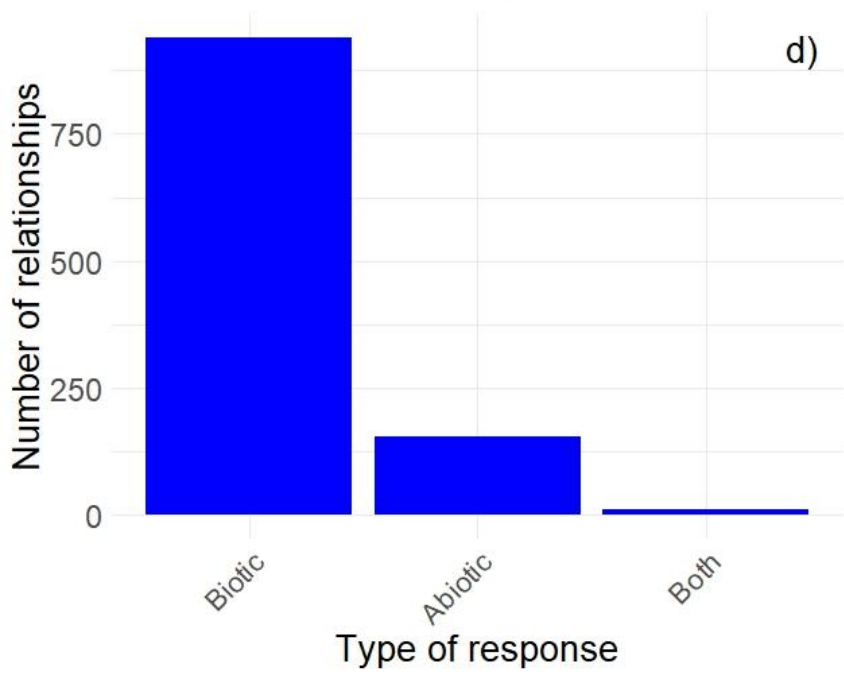
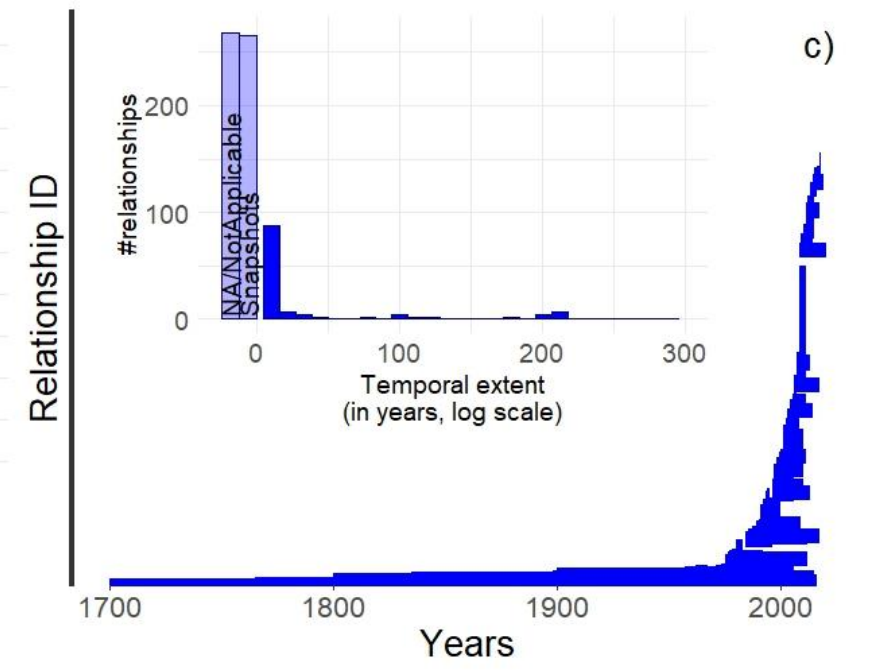
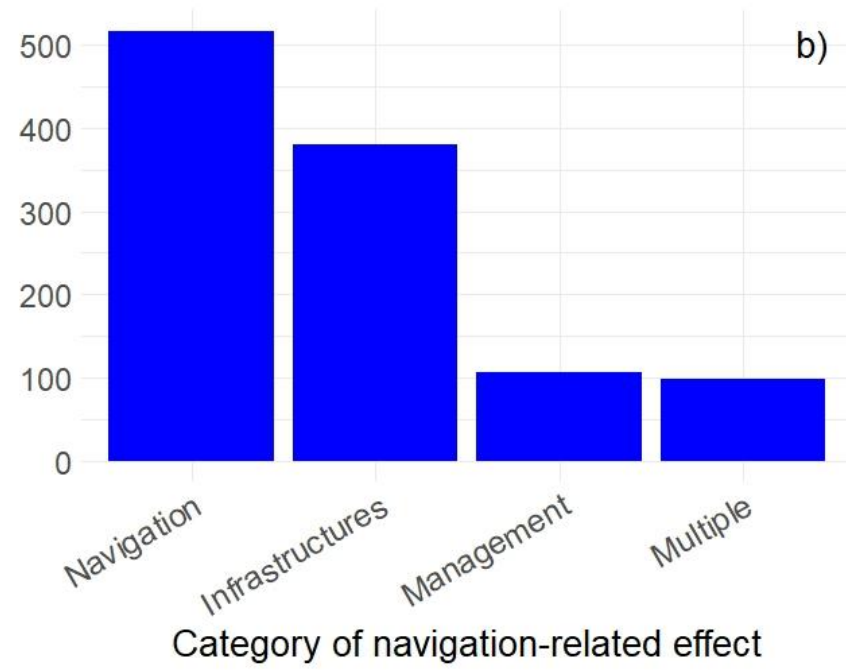
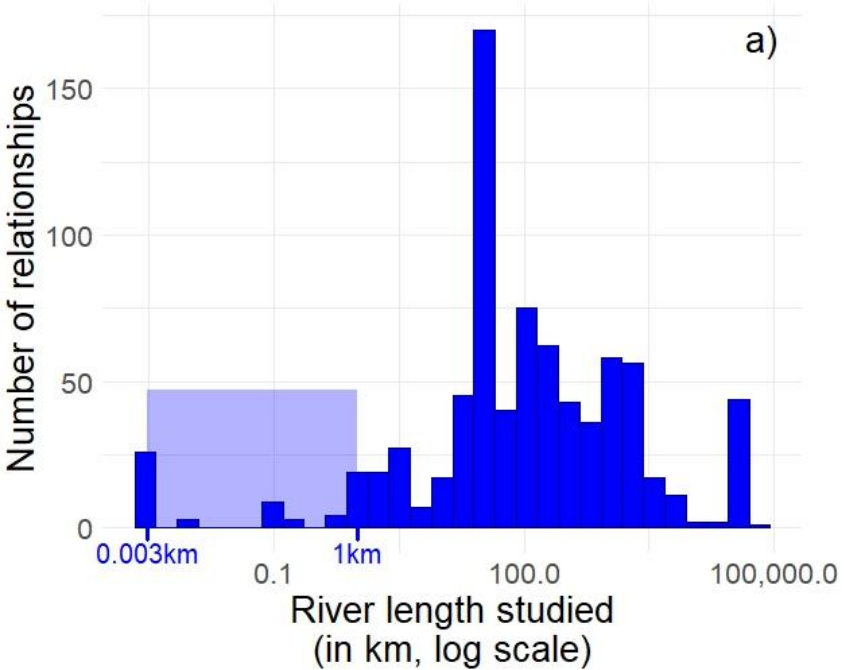
AND TS=((navigat* OR ship* OR *boat* OR vessel\$))

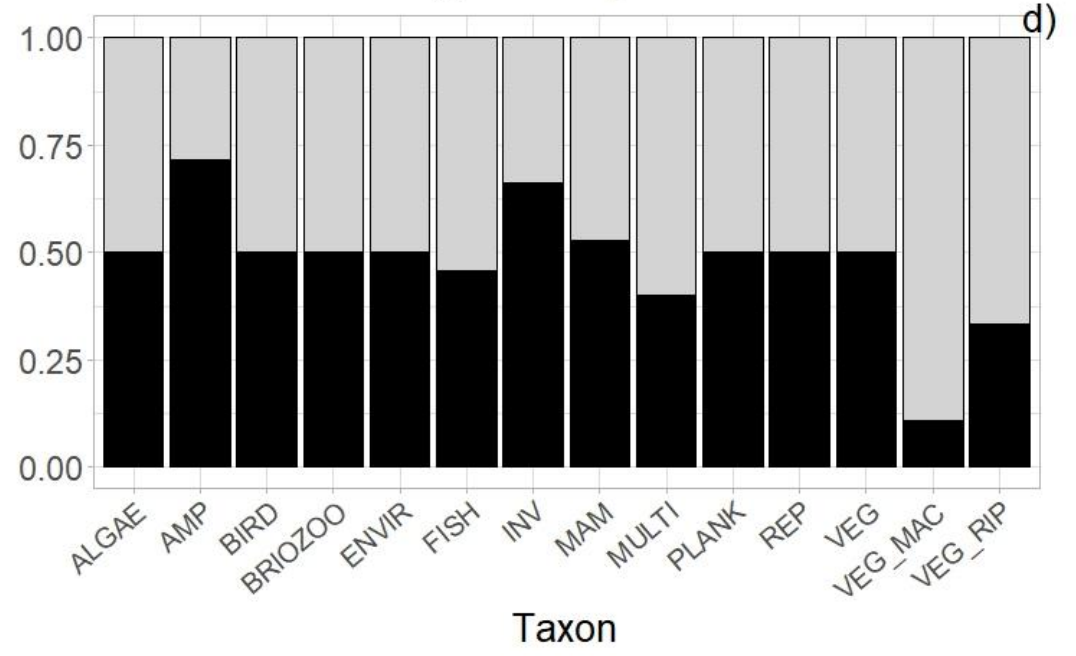
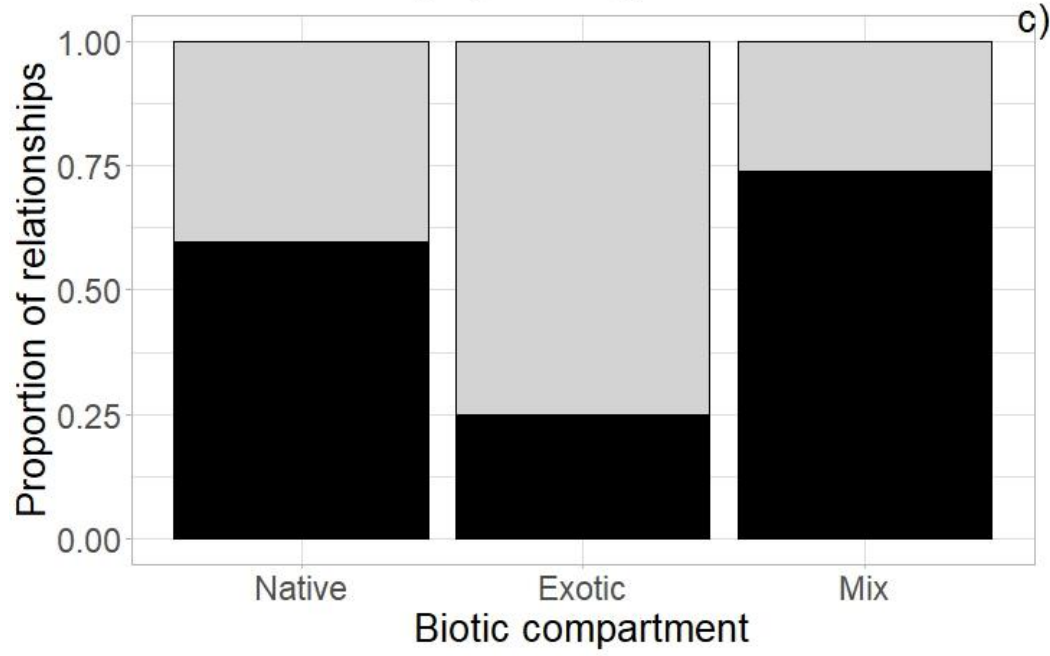
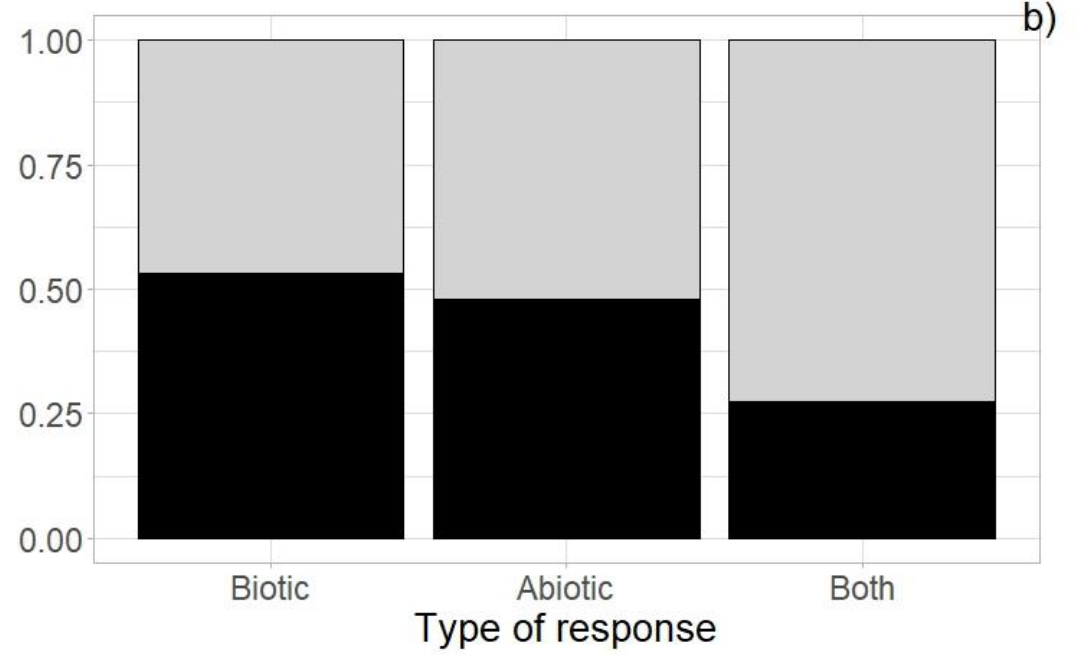
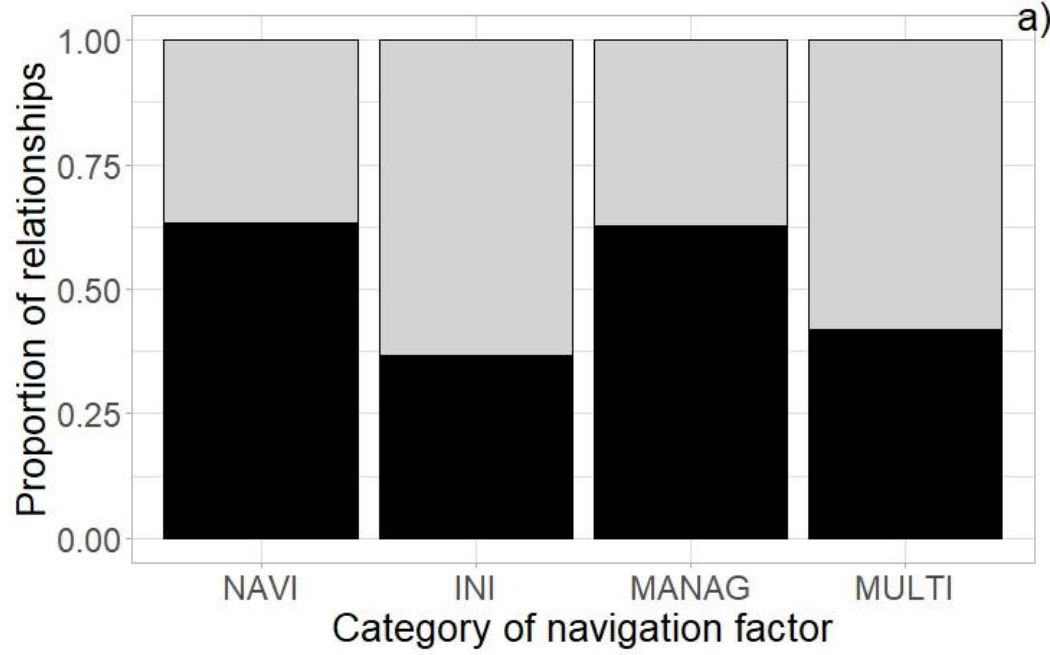
Relationship

AND TS=(effect\$ OR influence OR impact* OR relat* OR induc* OR facilit* OR promote* OR imped* OR prevent* OR foster OR contribut* OR predict* OR role\$ OR link* OR affect* OR alter* OR improv* OR enhanc* OR risk* OR consequence\$ OR cause\$ OR "cause-effect" OR significan* OR correlat* OR disturb* OR increase\$ OR decrease\$)

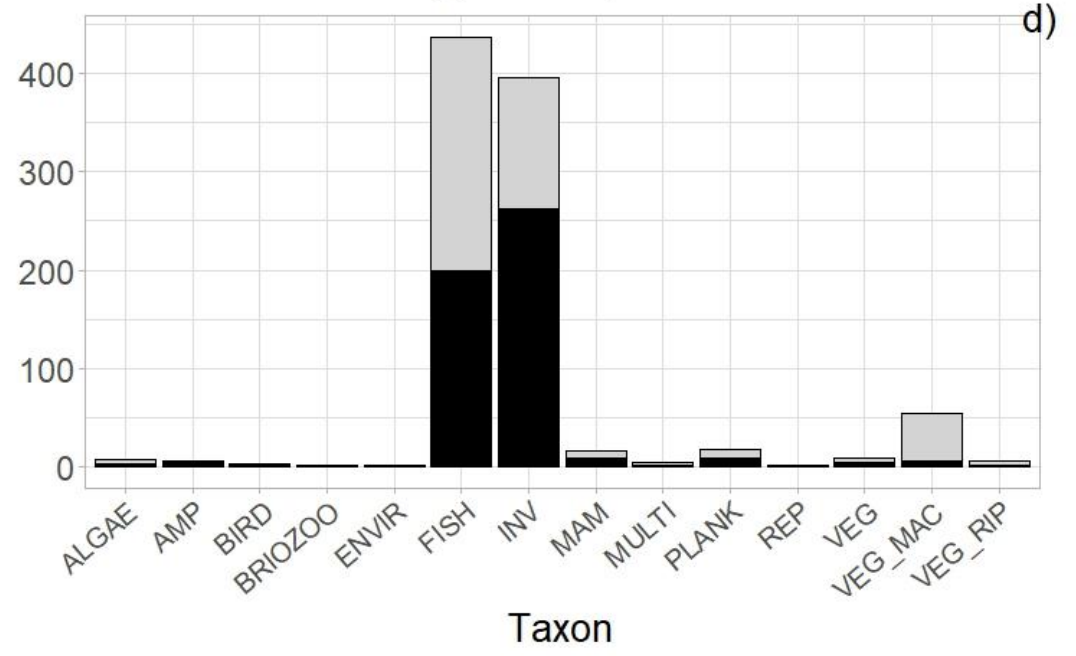
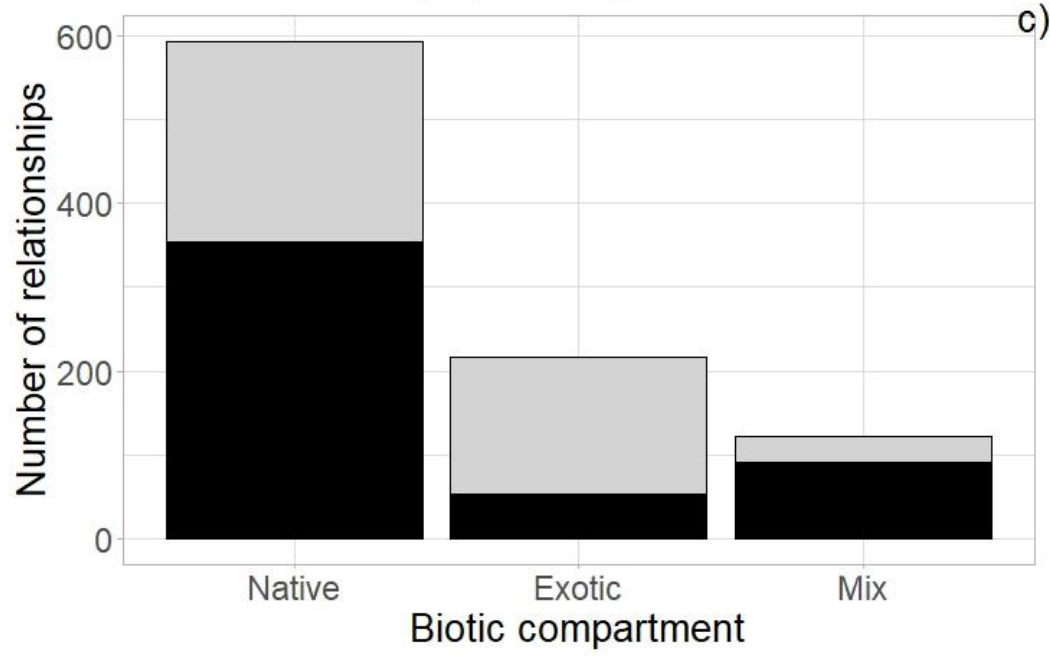
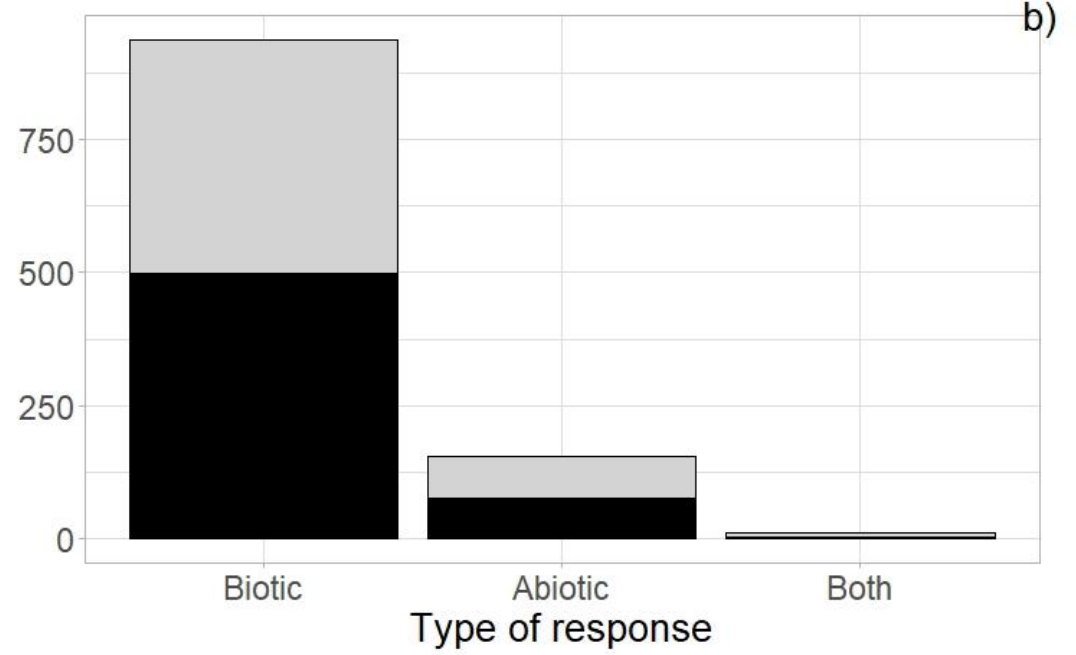
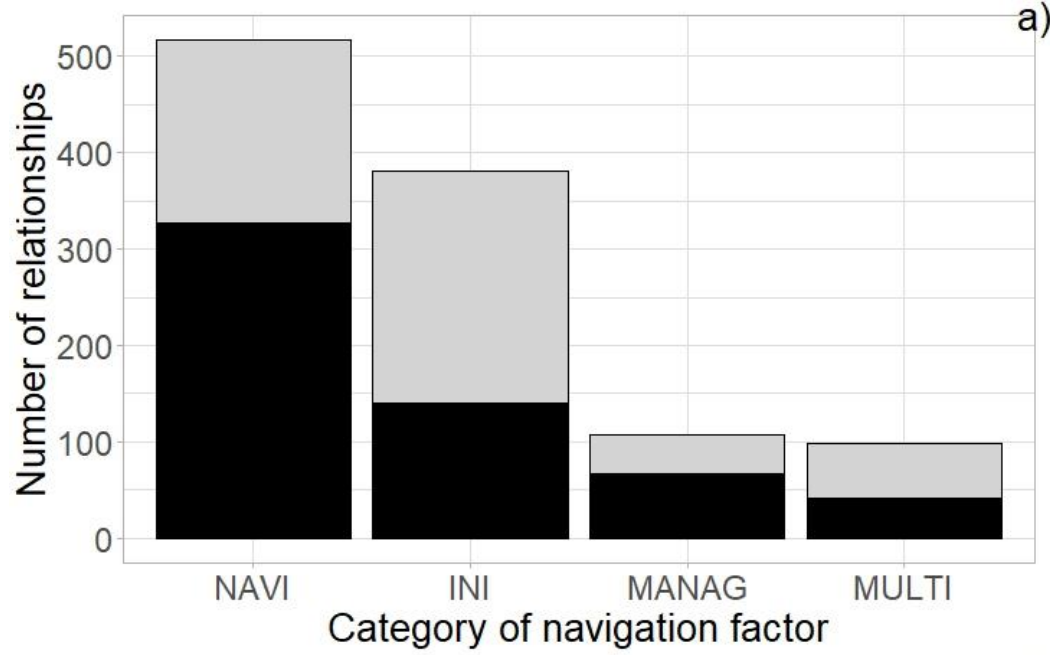
Inland
freshwater

AND TS = (river\$ OR stream\$ OR floodplain\$ OR waterway\$ OR channel\$ OR canal\$ OR "navigable river")



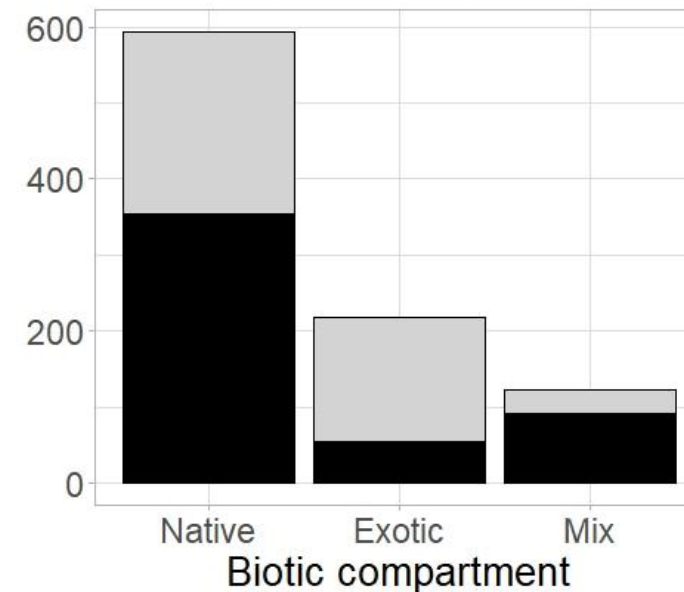
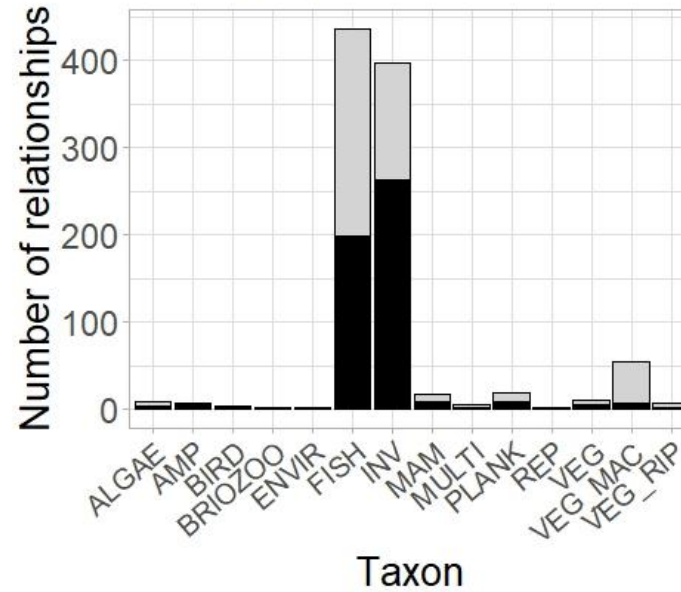
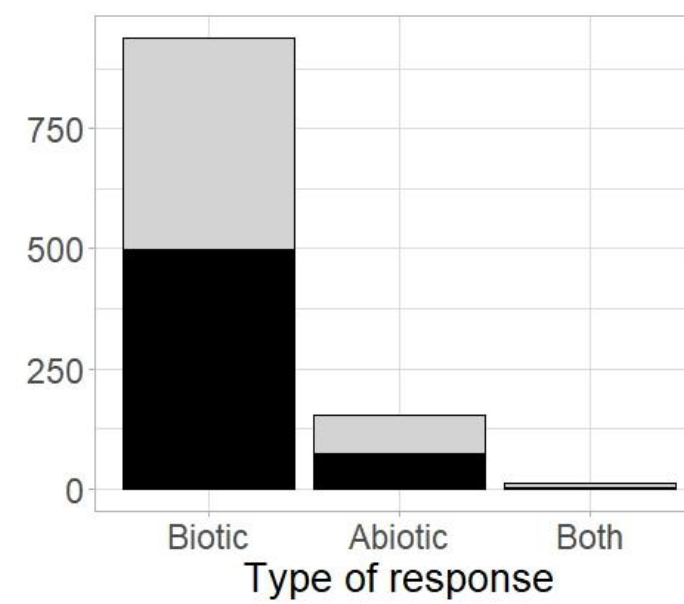
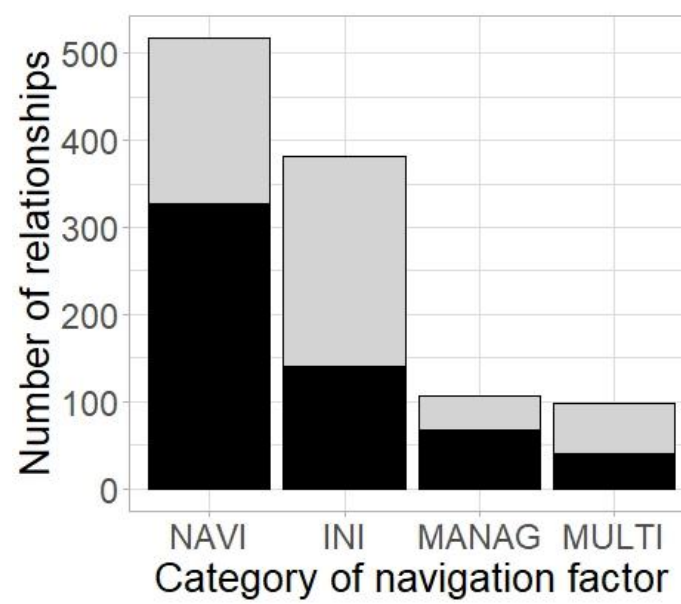


Statistically tested? No Yes



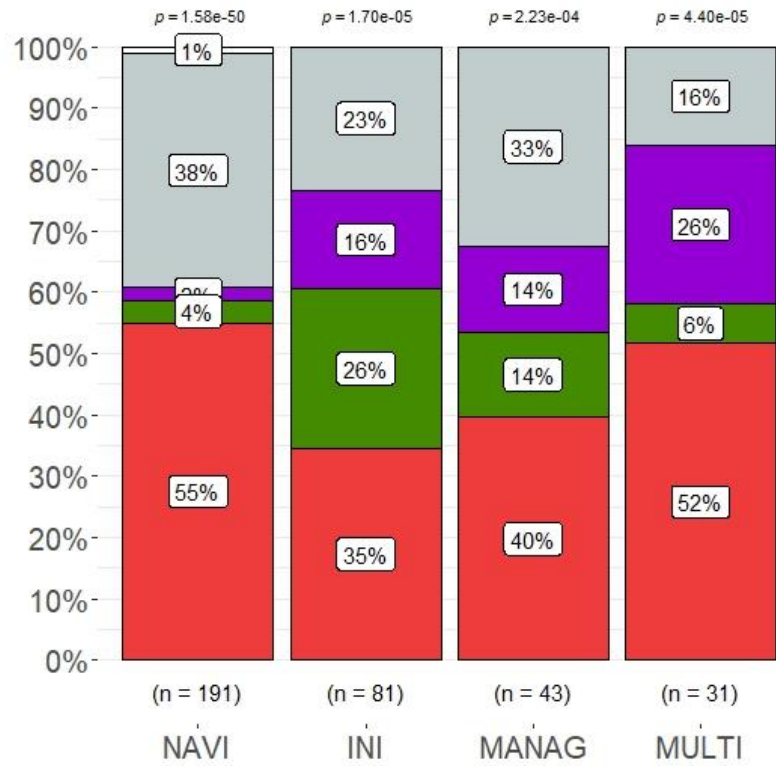
Statistically tested? No Yes

Relations testées vs. non-testées

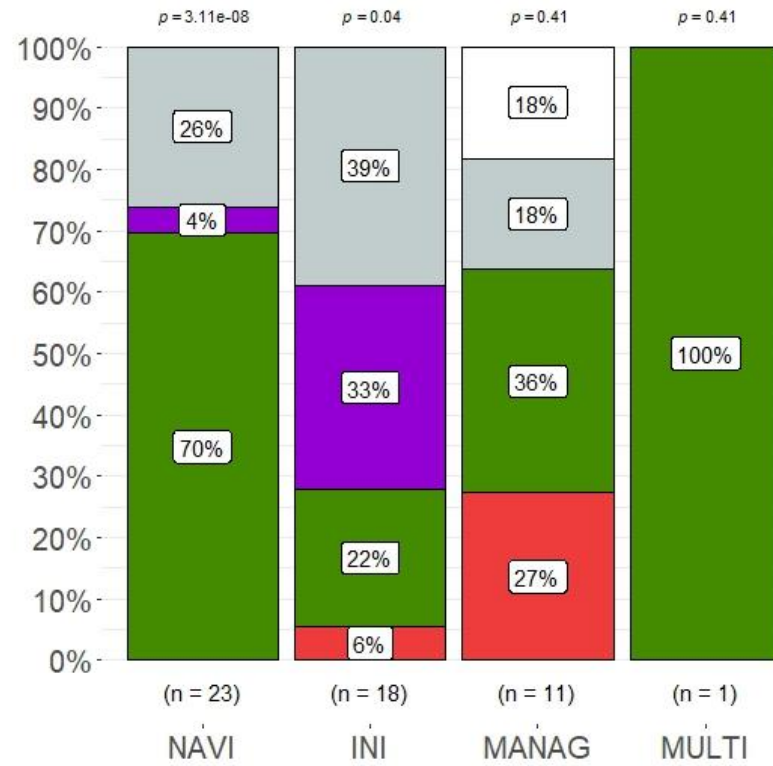


Statistically tested? No Yes

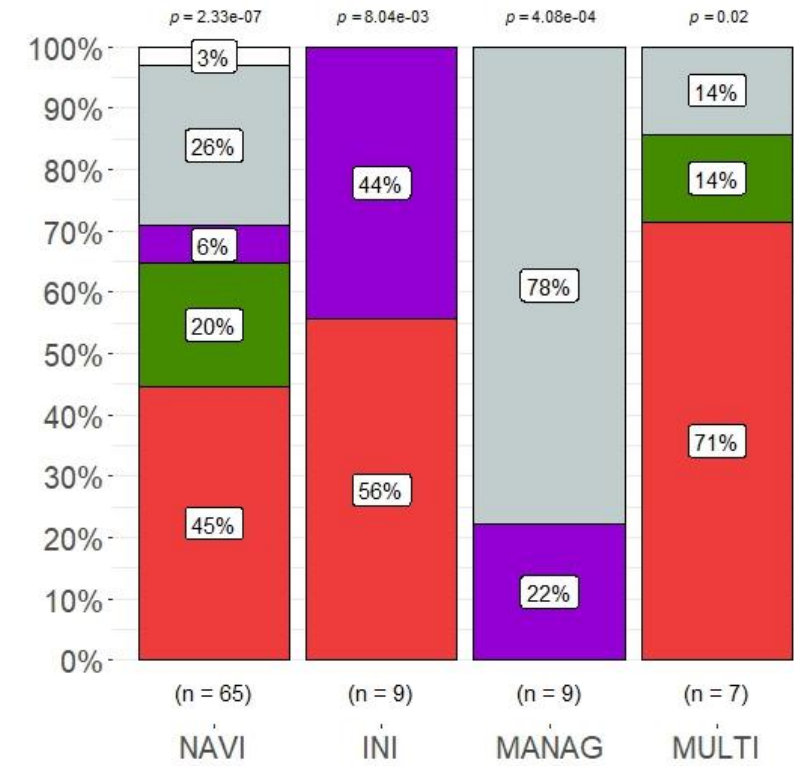
a) **Native taxa / communities**
 $\chi^2_{\text{Pearson}}(12) = 67.60, p = 8.97e-10, \hat{V}_{\text{Cramer}} = 0.23, \text{CI}_{95\%} [0.14, 1.00], n_{\text{obs}} = 346$



b) **Exotic or invasive taxa / groups**
 $\chi^2_{\text{Pearson}}(12) = 30.80, p = 2.11e-03, \hat{V}_{\text{Cramer}} = 0.35, \text{CI}_{95\%} [0.00, 1.00], n_{\text{obs}} = 53$



c) **Mix of native & exotic taxa**
 $\chi^2_{\text{Pearson}}(12) = 33.25, p = 8.85e-04, \hat{V}_{\text{Cramer}} = 0.28, \text{CI}_{95\%} [0.00, 1.00], n_{\text{obs}} = 90$



Sign of evidenced effect ■ NEG ■ POS ■ CHANGE ■ NS □ UNK








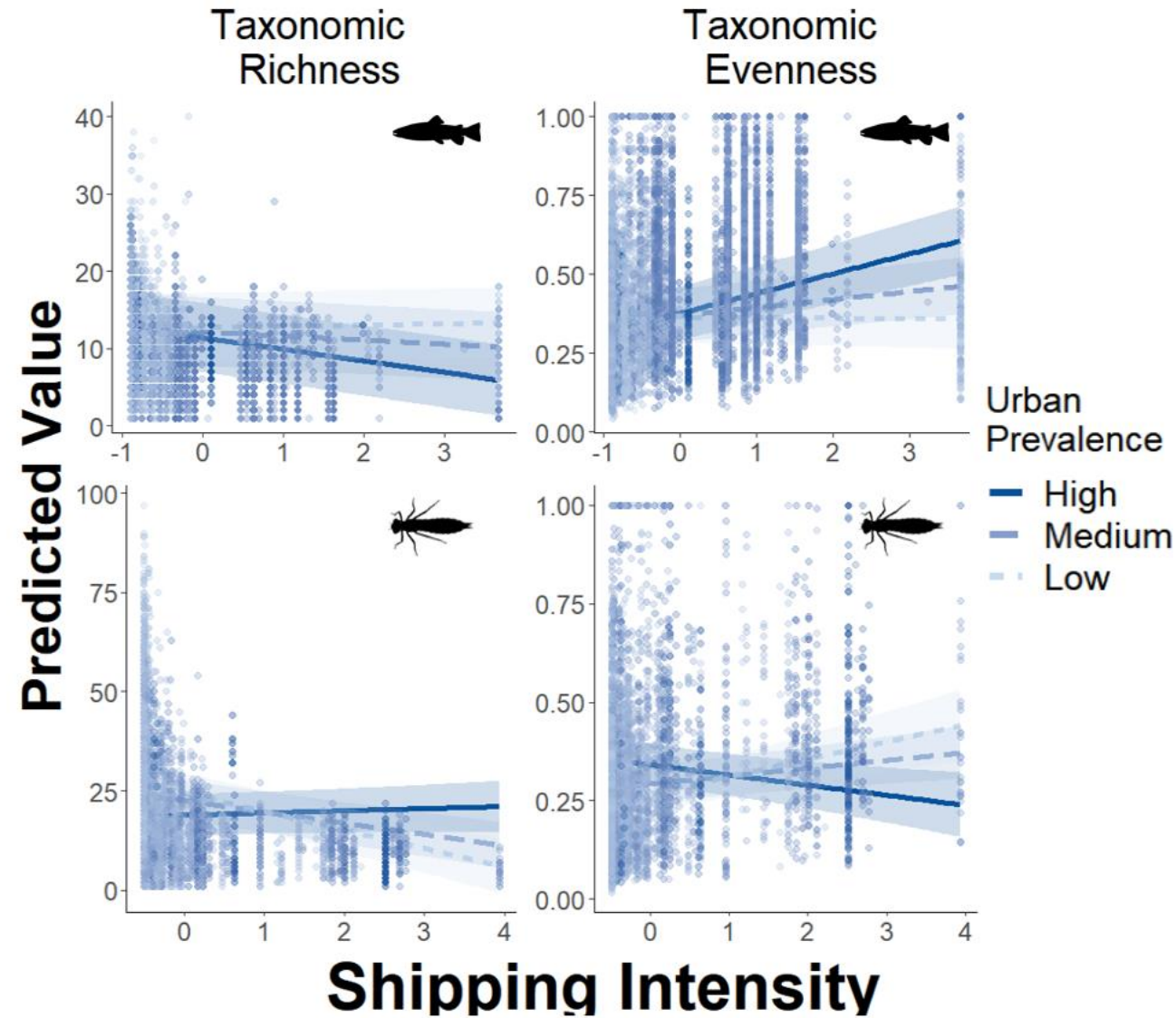
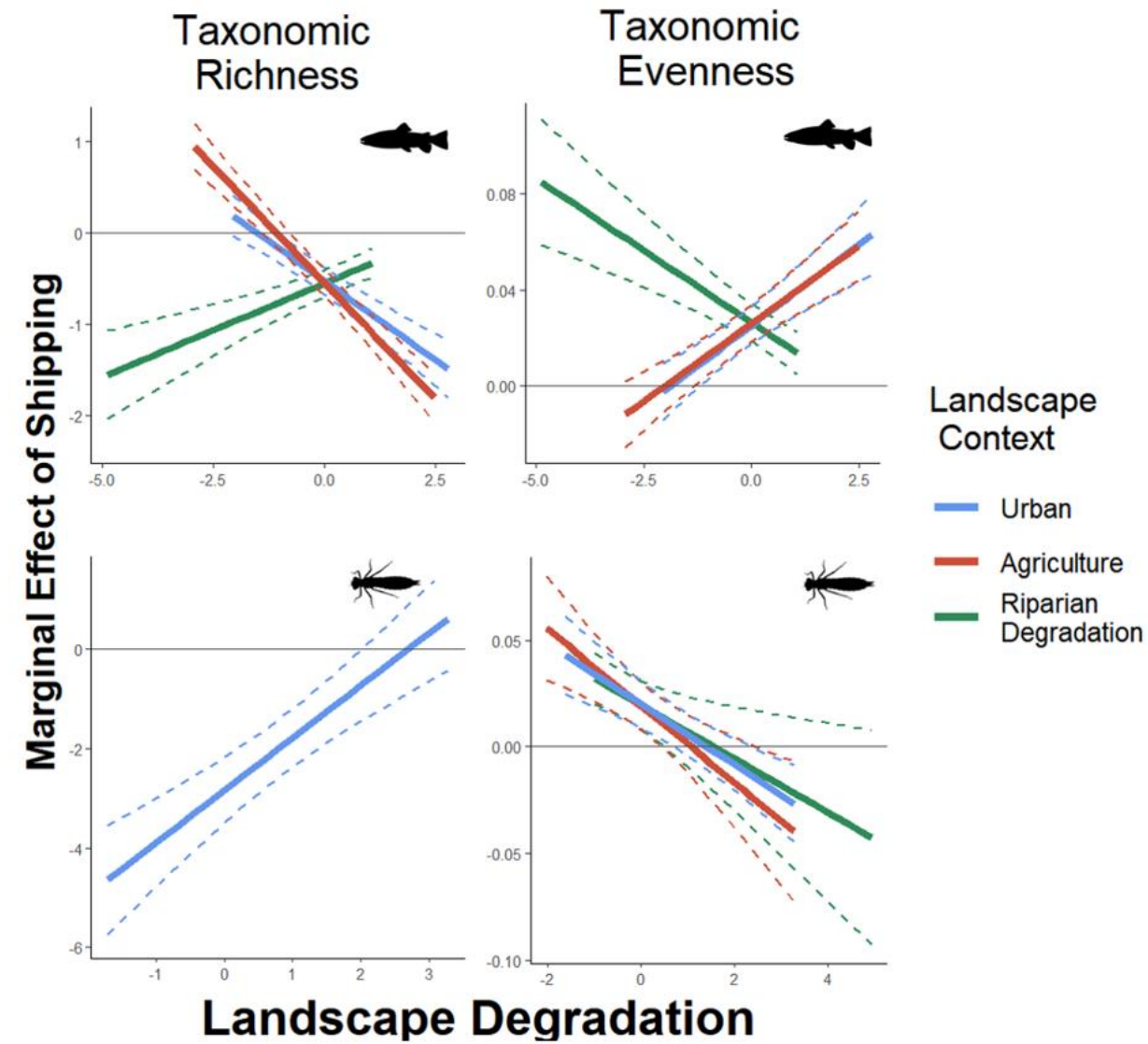
	 Taxonomic richness	 Functional richness	 Taxonomic diversity	 Functional diversity	 Taxonomic evenness	 Functional evenness	 Invasive abundance
Ships	-0.125 -0.238	-0.036 -0.037	-0.18 -0.396		0.025 0.027		0.048 0.097
Ports	0.01 0.025	0.005 0.009	0.06				
Locks	0.025		0.043	0.006 -0.011	-0.012		-0.051
Channelization		0.032 0.005			0.014	0.007	-0.145 0.158
Riparian degradation		-0.007		0.01	-0.008		-0.05
Agriculture	-0.011	-0.004	0.047	-0.007		0.011	0.06 0.098
Urban	-0.05 -0.047	-0.016 -0.01	-0.125		-0.009	0.021 0.01	0.054 0.144
Ships:Riparian	0.025 0.018	-0.004		-0.004	-0.012 -0.012	-0.006	-0.103
Ships:Agriculture	-0.067	-0.014	-0.123 -0.167	0.004 -0.014	0.013 -0.015	0.007	
Ships:Urban	-0.047 0.067	-0.015 0.007	-0.051		0.013 -0.013	0.005	0.078
Channelization:Riparian		-0.036					0.185
Channelization:Agriculture	-0.01				0.07 -0.007	0.02	-0.144 0.163
Channelization:Urban	0.011	0.01	0.065	0.004 -0.015			

Fig. 2 | Inland navigation and other stressor effects on freshwater fish and macroinvertebrate biodiversity. Model estimates from the GLMMs. Each column represents a separate model, with the response metric and taxonomic group as the column header, with predictors of the model as rows. Red cells indicate a negative effect and blue cells represent a positive effect, with colour intensity representing the magnitude of effect. Non-significant effects are blank cells (*P* values and standard errors reported in Supplementary Table 1).

‘Ships’ refers to ship traffic, ‘Ports’ and ‘Locks’ represent the density of each, ‘Channelization’ represents the portion of the river stretch that has been channelized, ‘Agriculture’ and ‘Urban’ represent the respective portion of land use at each site, and ‘Riparian degradation’ represents the portion of the riparian habitat that has been lost from its potential extent. All predictors were standardized to an average value of 0 and s.d. of ± 1 , allowing one to compare predictors.



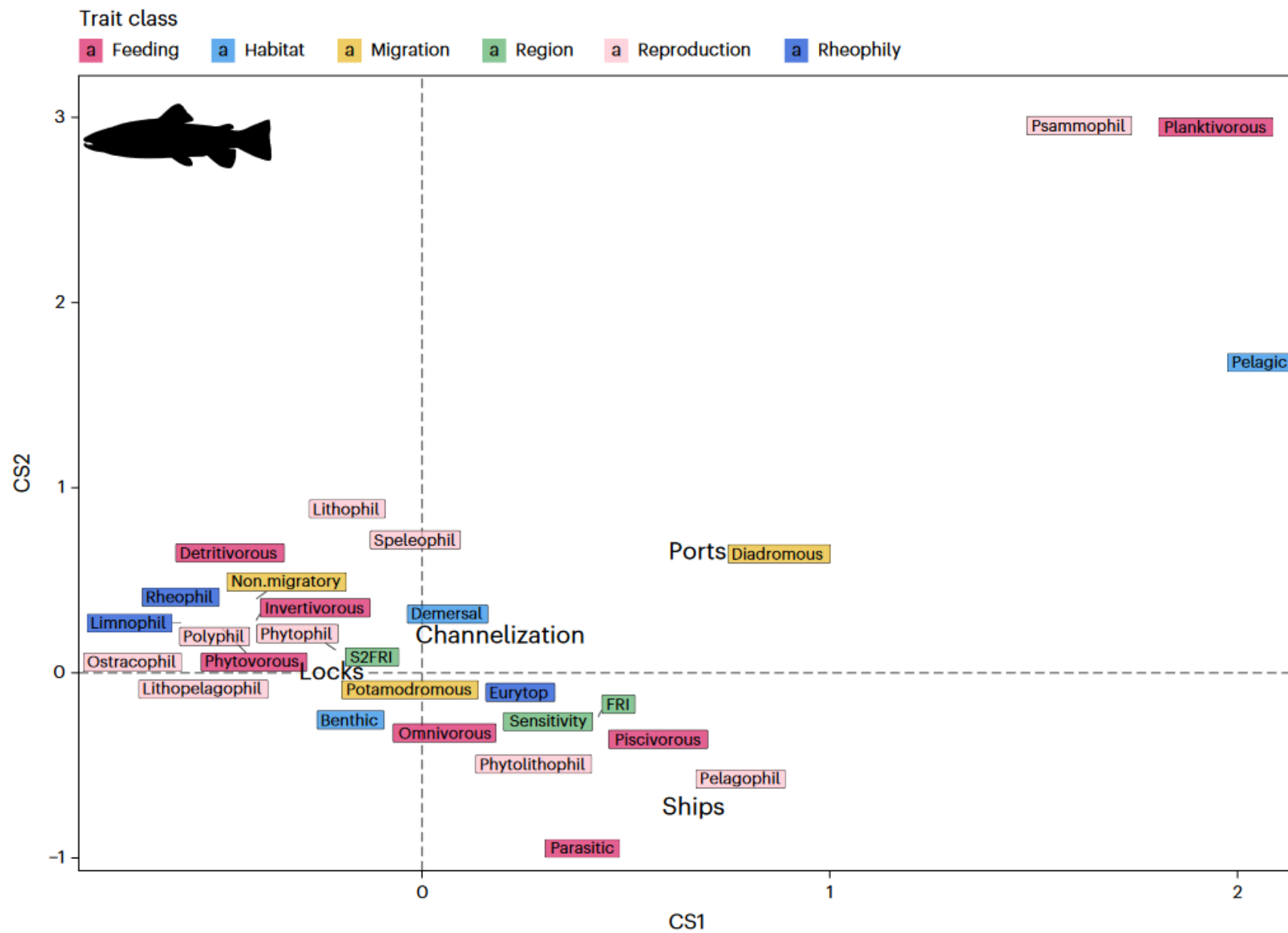
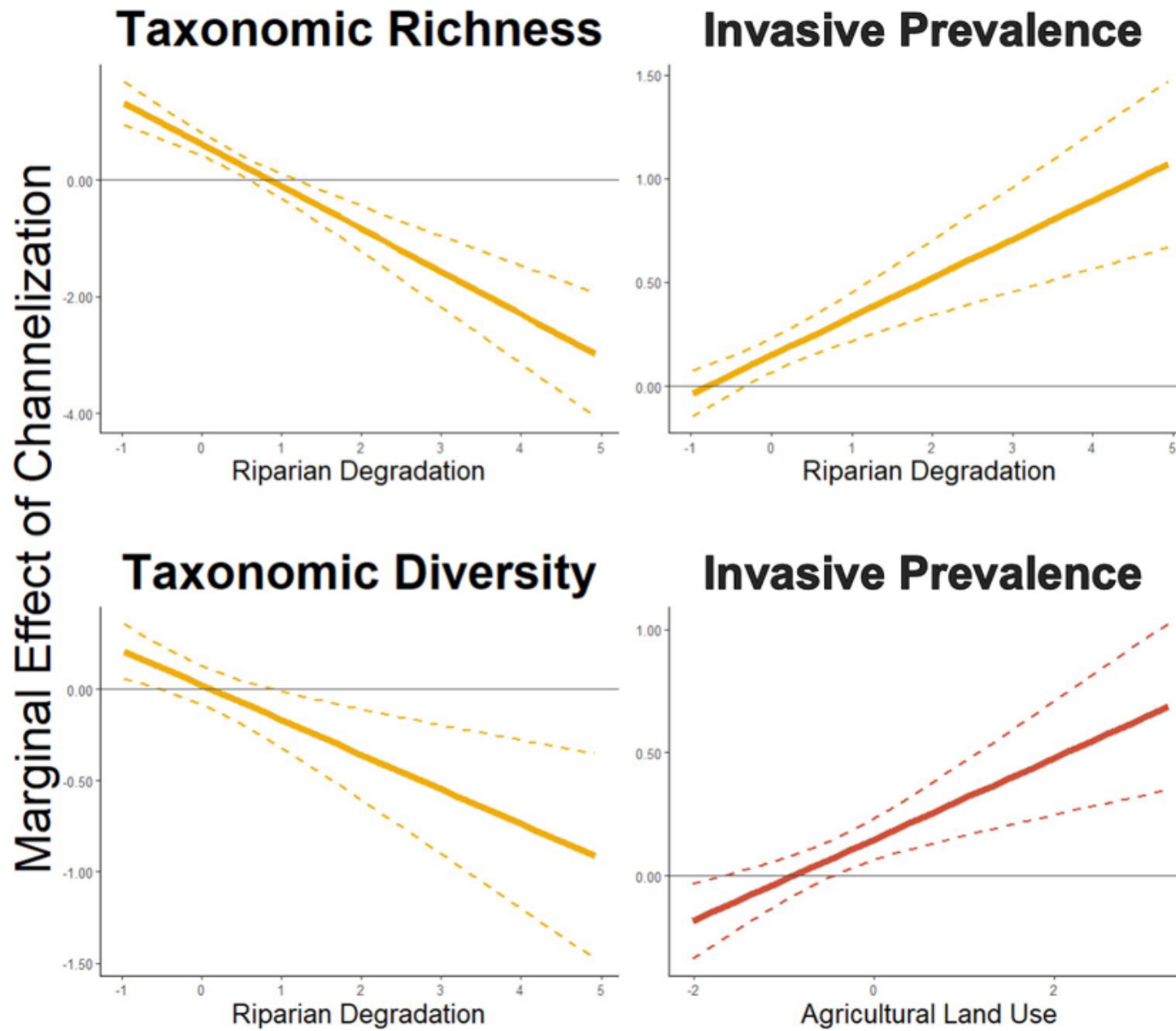


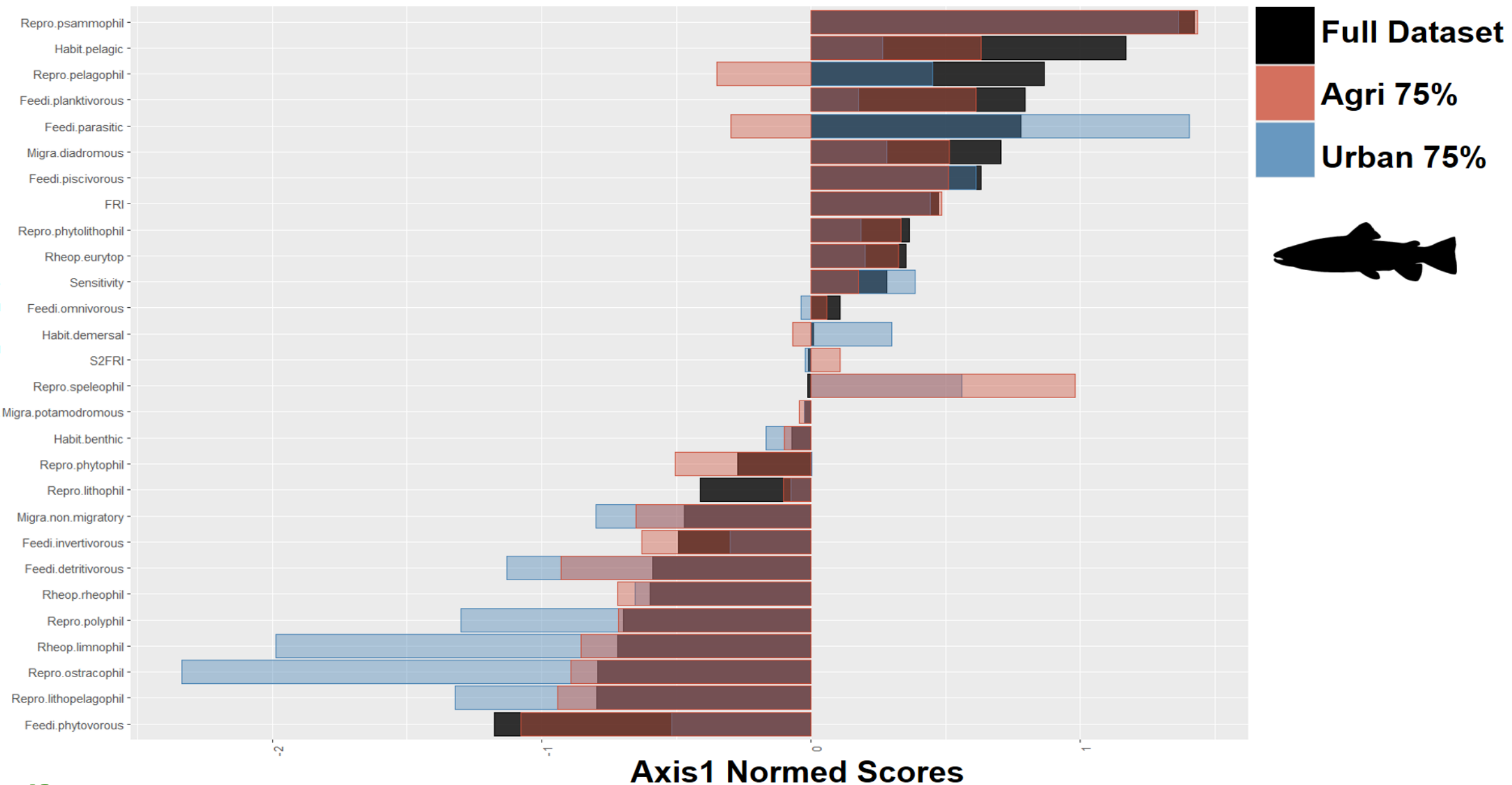
Fig. 4 | Fish trait responses to navigation. Ordinations from an RLQ–fourth-corner analysis that represents the relationships between fish traits (coloured text) and navigation pressures (bold green boxes). Both ordination axes (traits and navigation pressures) are significantly linked ($P = 0.002$). Both traits and

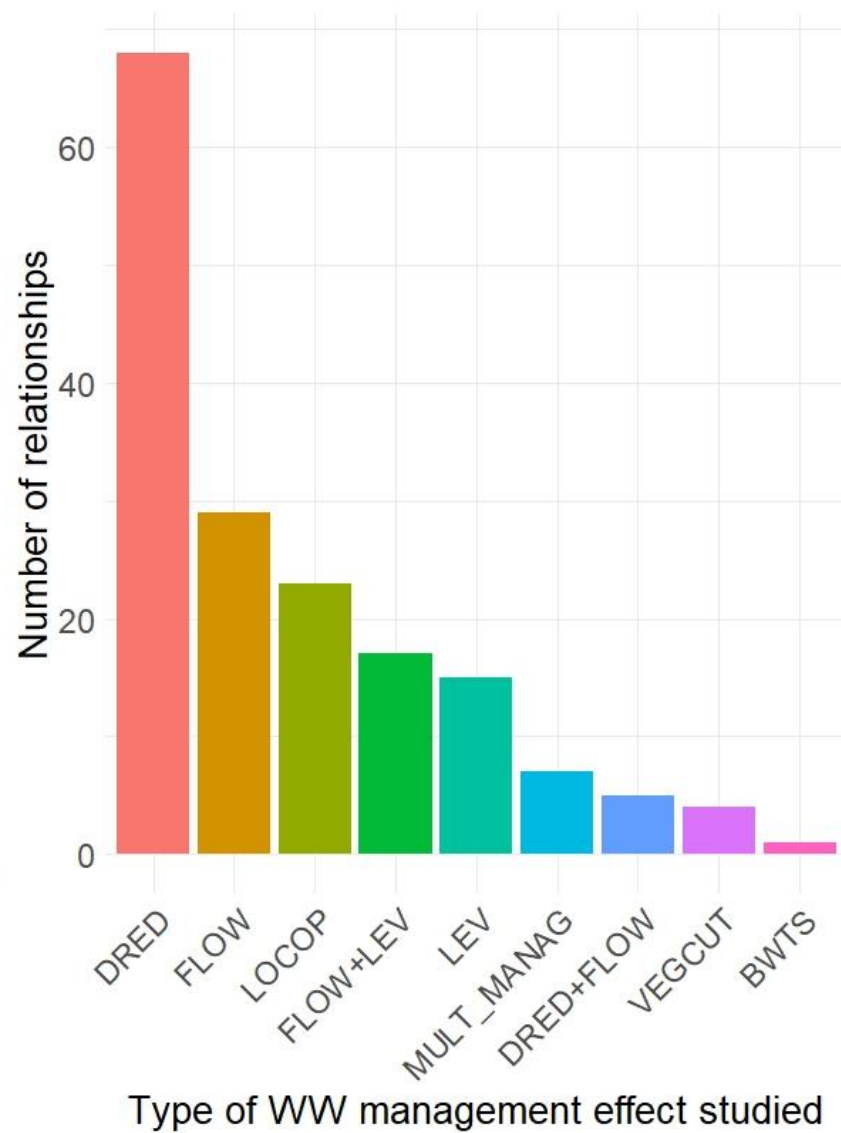
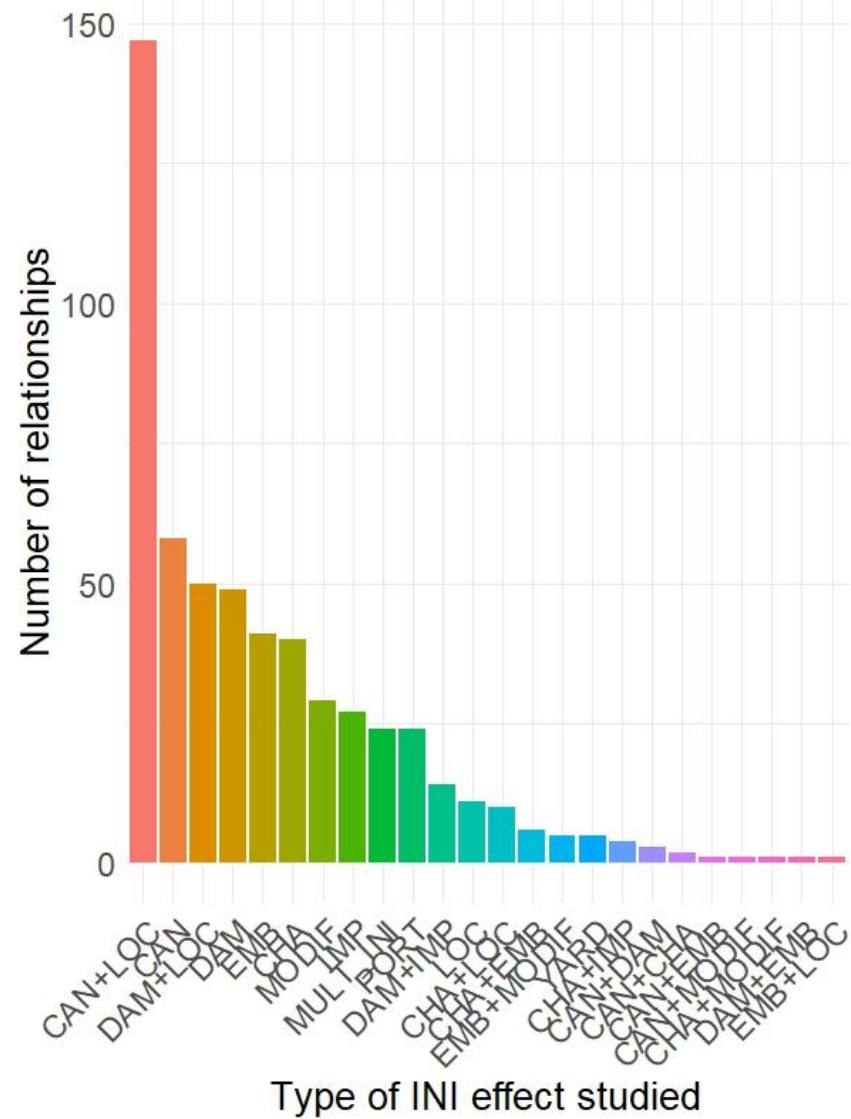
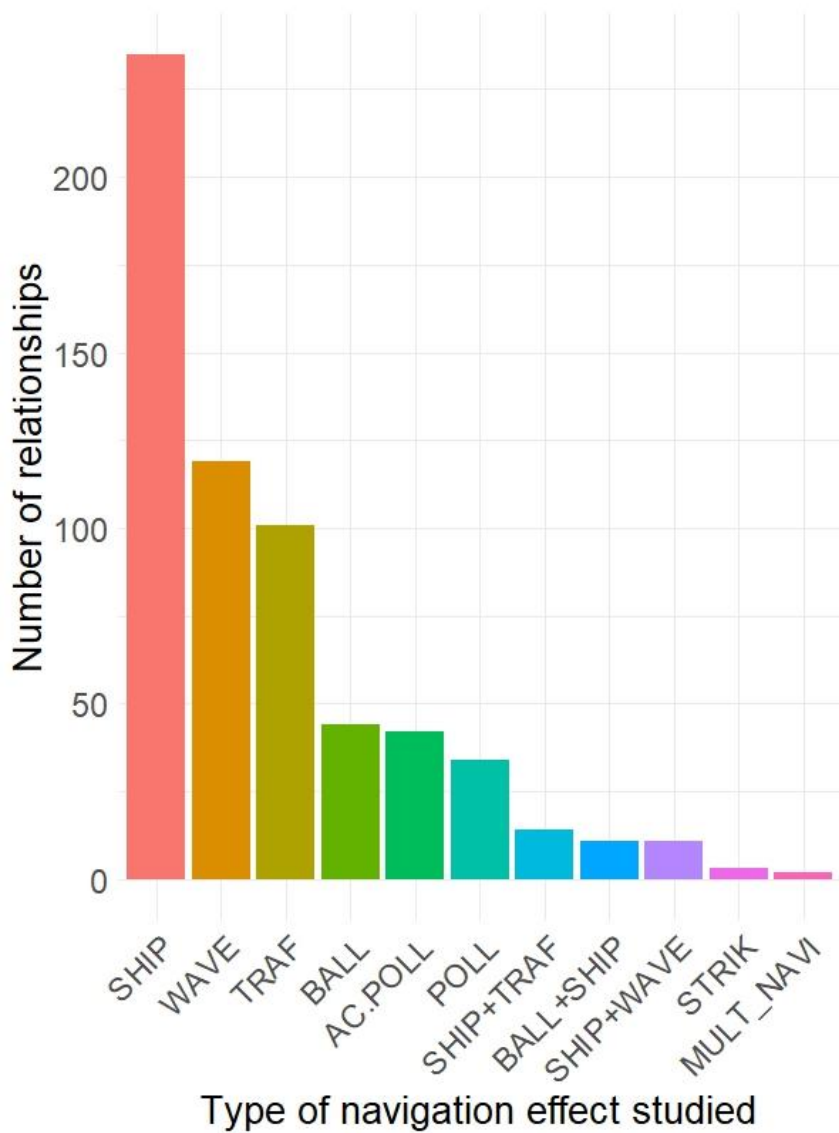
navigation pressures with highly positive x -axis values (for example, 'Pelagic habitat' and 'Ships') are strongly associated, and the same for y -axis relationships. Axes 'CS1' and 'CS2' are species traits coefficient scores, which bound both trait and environmental variables.







Extended Data Fig. 1 | Macroinvertebrate's response to channelization is dependent on riparian degradation and agricultural cover. The panels show the marginal effect of channelization from the GLMMs on macroinvertebrate communities along a gradient of riparian degradation and agricultural land use. A negative value on the y-axis indicates a negative impact of channelization

on said metric (for example a decrease in taxonomic richness), and a value at 0 (grey horizontal line) indicates a null effect. Left panel shows the relationships of taxonomic richness and right panel shows the prevalence of invasive taxa. Predictors were standardized to zero mean and a SD of ± 1 .





Predictor	 Taxonomic Richness		 Functional Richness		 Taxonomic Diversity		 Functional Diversity		 Taxonomic Evenness		 Functional Evenness		 Invasive Abundance	
Ships	█	█	█	█	█	█			█	█			█	
Ports	█		█							█			█	
Locks	█		█		█		█	█	█	█		█	█	
Channelization		█	█					█			█		█	█
Riparian Degradation	-0.103		-0.007				0.010	-0.010	-0.008				-0.051	
Agriculture			-0.007	0.006			-0.006		0.006		0.008		0.064	0.122
Urban	-0.276	-1.121	-0.014	-0.009	-0.111			-0.011	0.015				0.052	0.157
Ships:Riparian	0.205		-0.004				-0.004		-0.012	-0.013	-0.005		-0.102	
Ships:Agriculture	-0.509		-0.015		-0.139	-0.173	0.004	-0.015	0.013	-0.018	0.006			
Ships:Urban	-0.347	1.056	-0.016	0.007	-0.064				0.013	-0.014			0.076	
Channelization:Riparian			-0.774		-0.010	-0.045	-0.196						0.191	
Channelization:Agriculture	-0.132								0.008	-0.006	0.020		-0.146	0.152
Channelization:Urban	0.162		0.010	0.010	0.069		0.004	-0.016						