

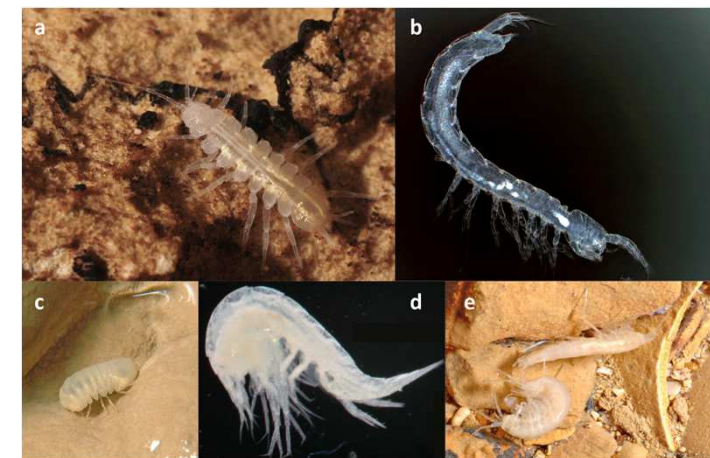
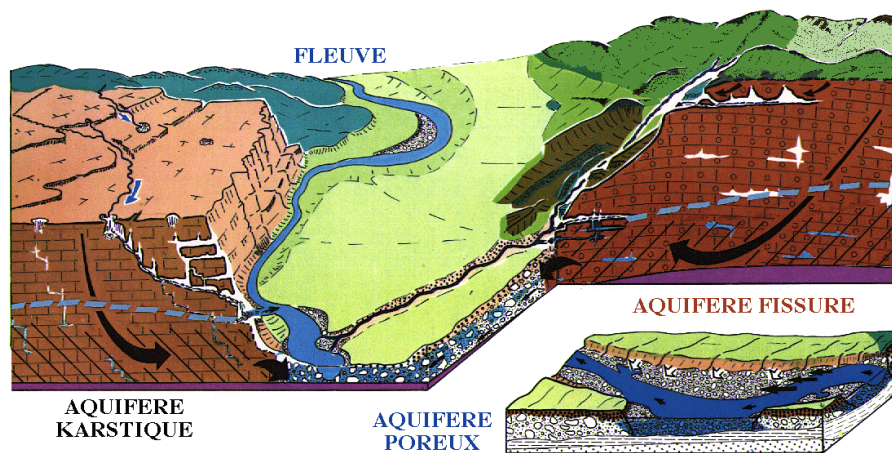
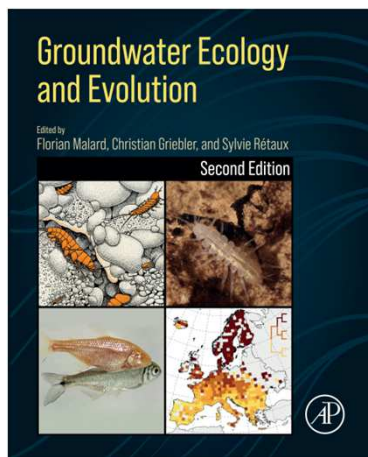


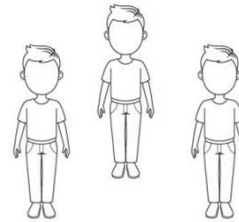
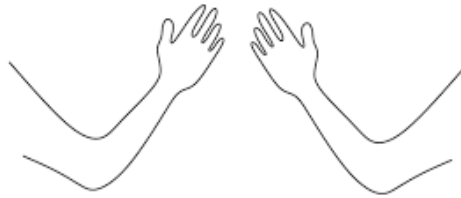
*Les eaux souterraines,
support d'une
biodiversité
insoupçonnée*

Florian Malard



Université Claude Bernard





*Recherches
opérationnelles*



Données



Elu

*Montage de dossiers
AEP – assainissement*

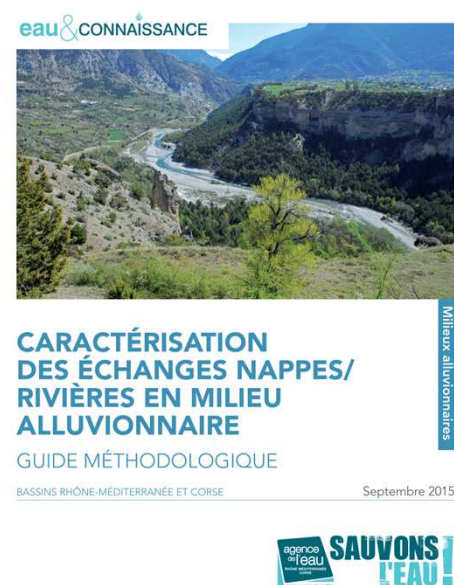
*Expertise
personnelle*



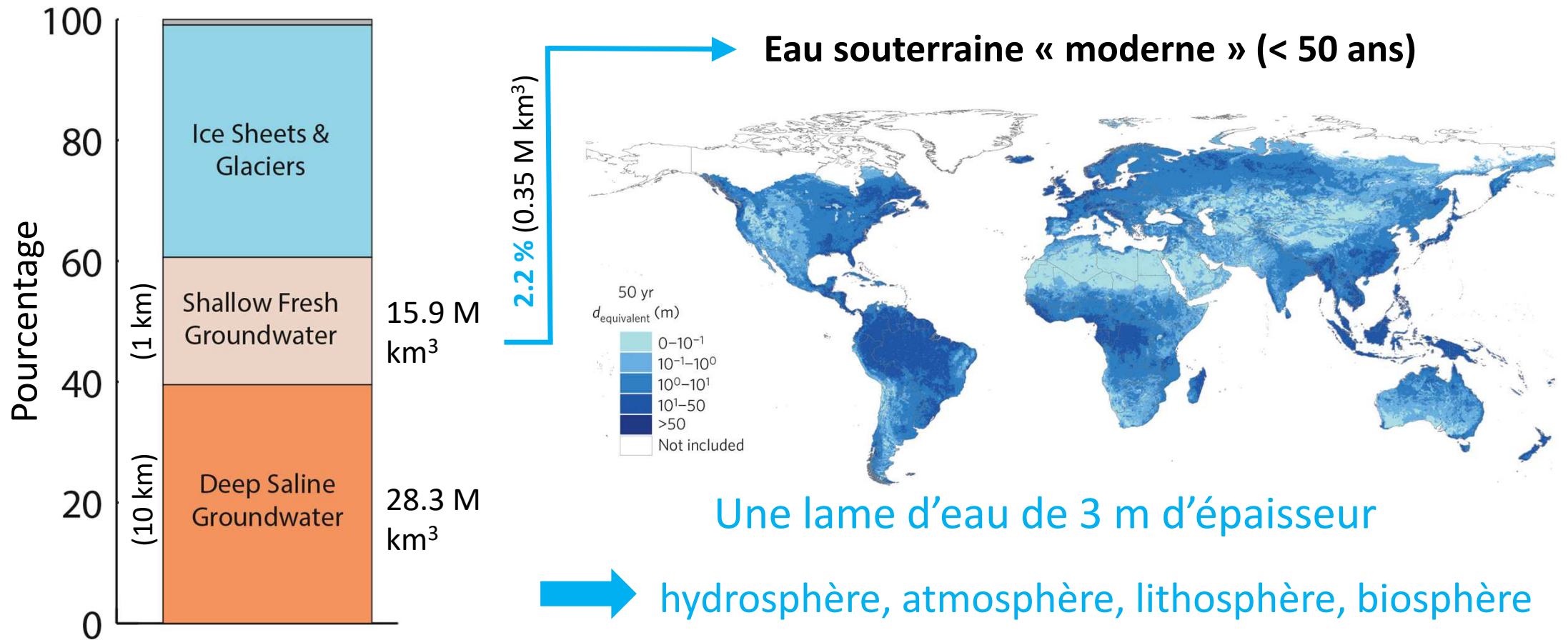
Au menu...

- *Le maillon invisible d'une seule et même ressource*
- *Biodiversité souterraine*
- *Son rôle: épurateur, architecte, ingénieur*
- *Bioindication souterraine*
- *Les lacunes de connaissance*

Le maillon invisible d'une seule et même ressource



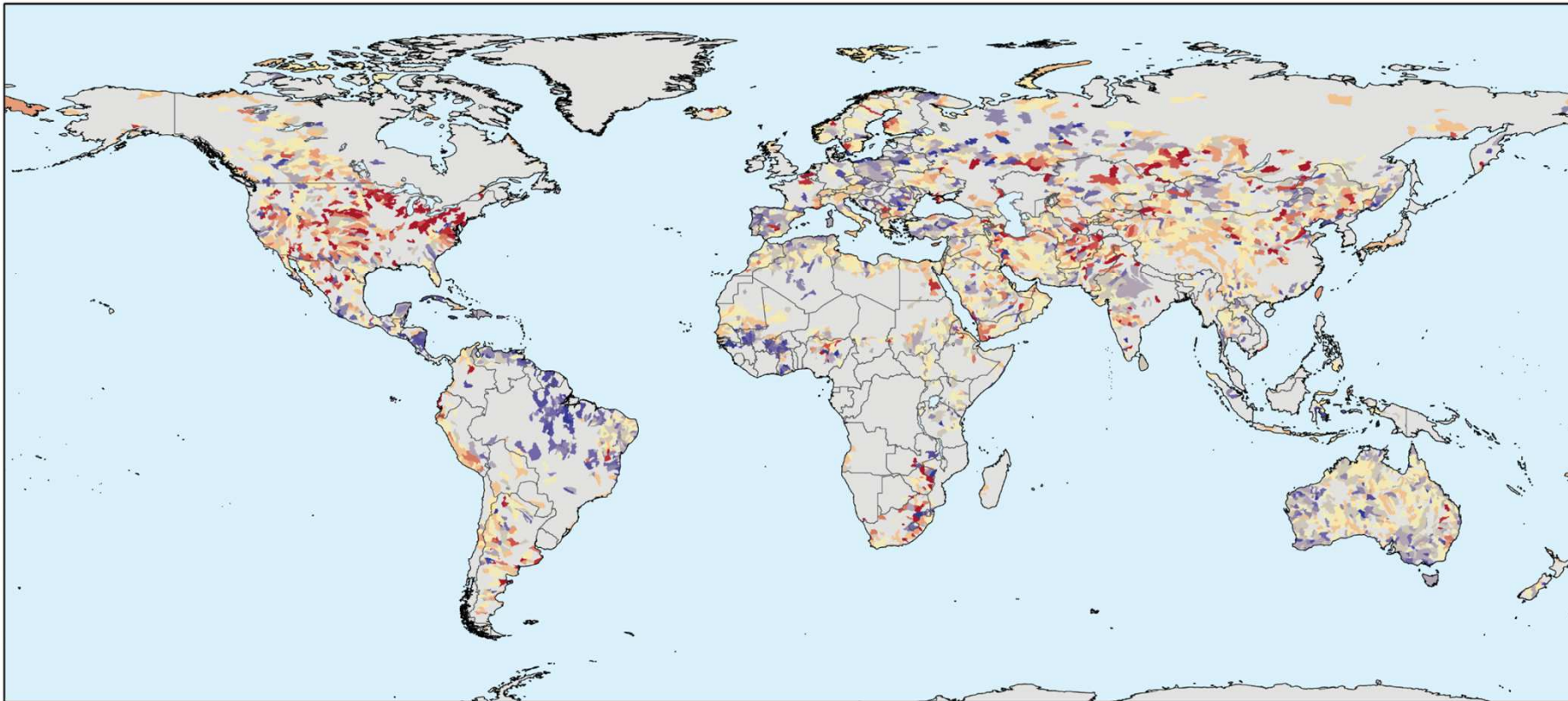
Rendre visible le maillon invisible...



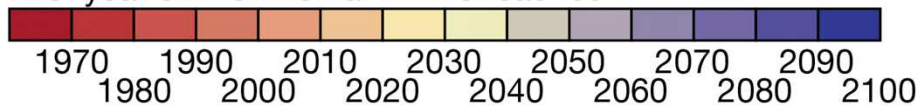
Gleeson et al. 2015; Ferguson et al. 2021

Une seule et même ressource...

En 2050, le débit d'étiage des rivières atteindra un niveau environnemental critique dans 42 à 79 % des bassins dans lesquels les eaux souterraines sont pompées.



First year environmental limit is reached



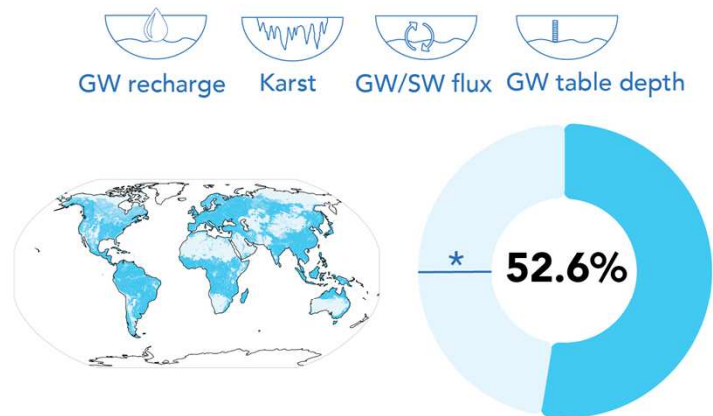
Gleeson & Richter 2017; de Graaf et al. 2019

Une seule et même ressource...

Sacco et al. in press



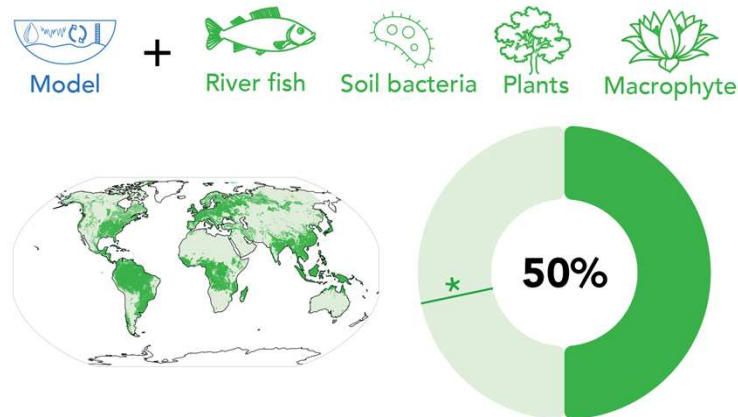
GROUNDWATER / SURFACE WATER INTERACTIONS



Global areas with medium to high GW/SW interactions

*Reaching 74.9% without deserts and high mountains

SURFACE BIODIVERSITY and GROUNDWATER / SURFACE WATER INTERACTIONS



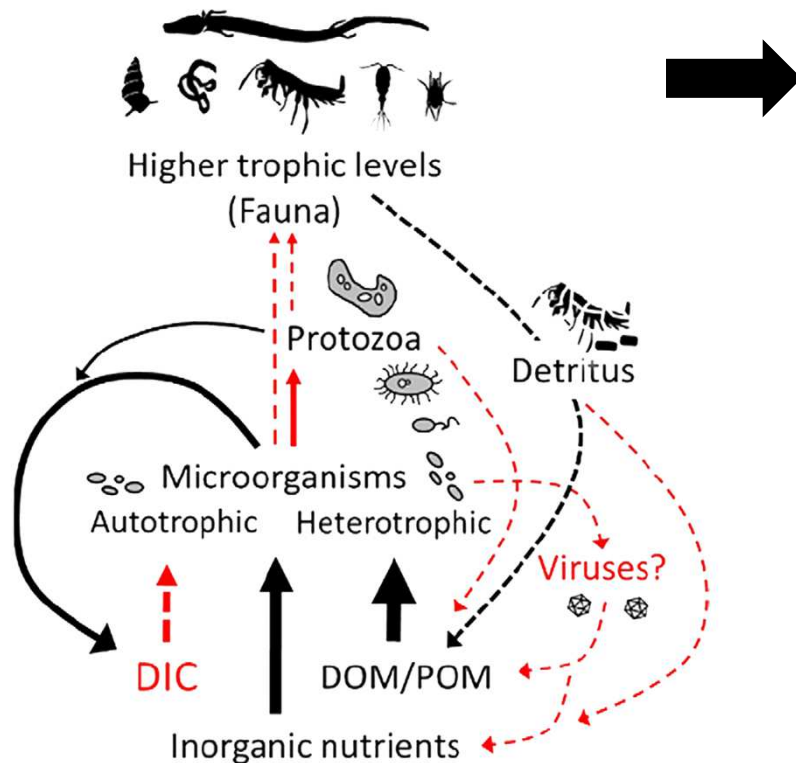
Global areas with high surface biodiversity and GW interactions

Biodiversité souterraine
« Out of sight, out of mind »

L'habitat d'eau douce le plus répandu sur la planète

Réseaux trophiques

Des organismes spécialistes



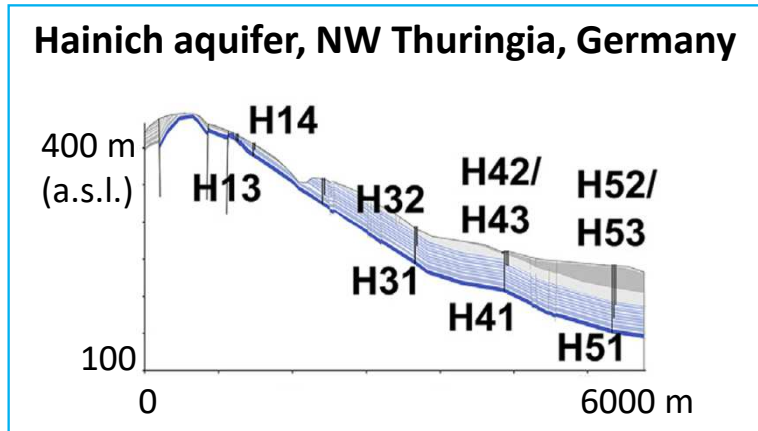
Griebler et al. 2022



Mais pas seulement...

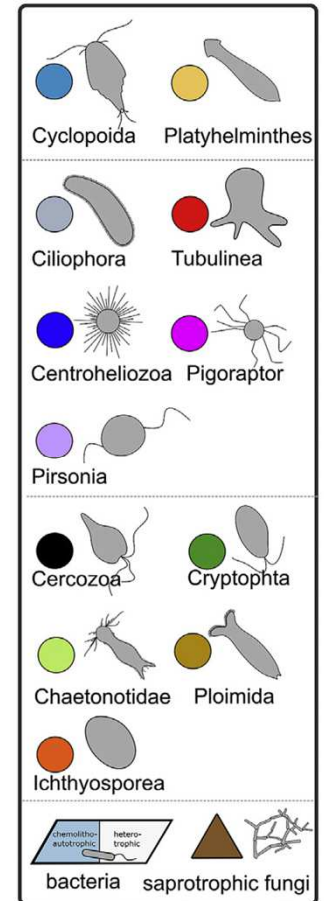
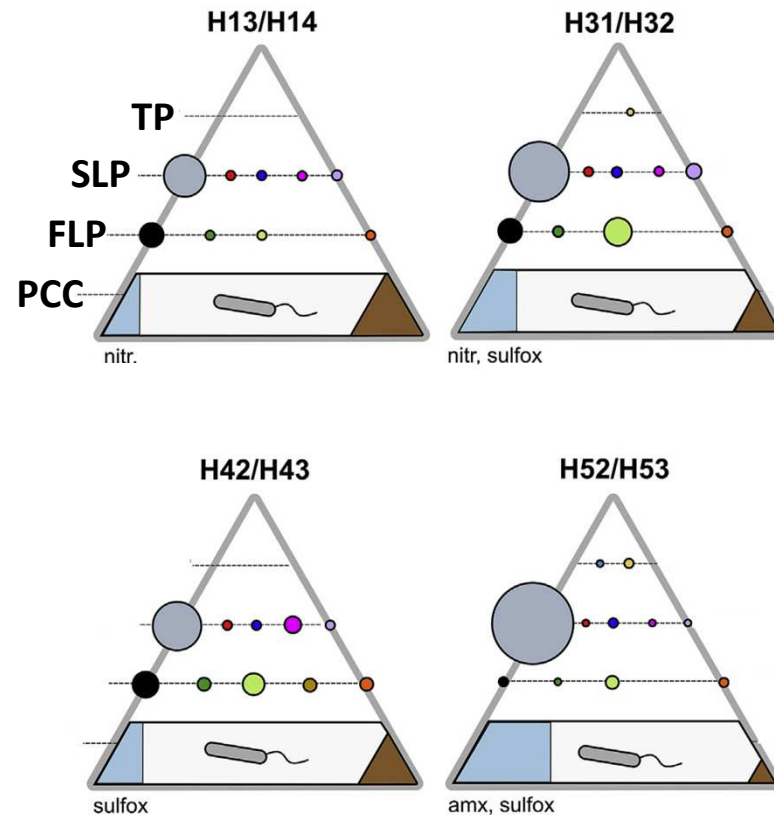


Richesse et complexité des réseaux trophiques



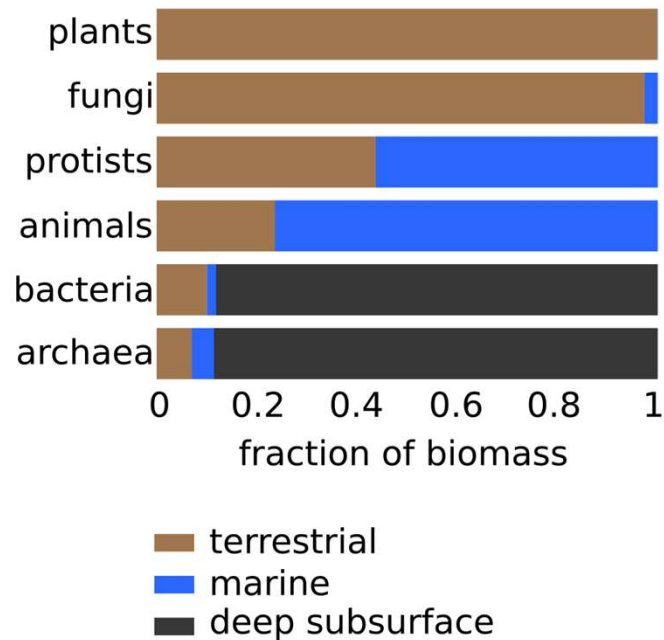
Herrmann et al. 2022

- En moyenne, **1134 OTUs** pour les **micro-eukaryotes** (protistes et champignons) et **2177 OTUs** pour les **bactéries**.
- Interactions** positives ou négatives significatives entre **94 OTUs de micro-eukaryotes** et **730 OTUs bactériennes**.



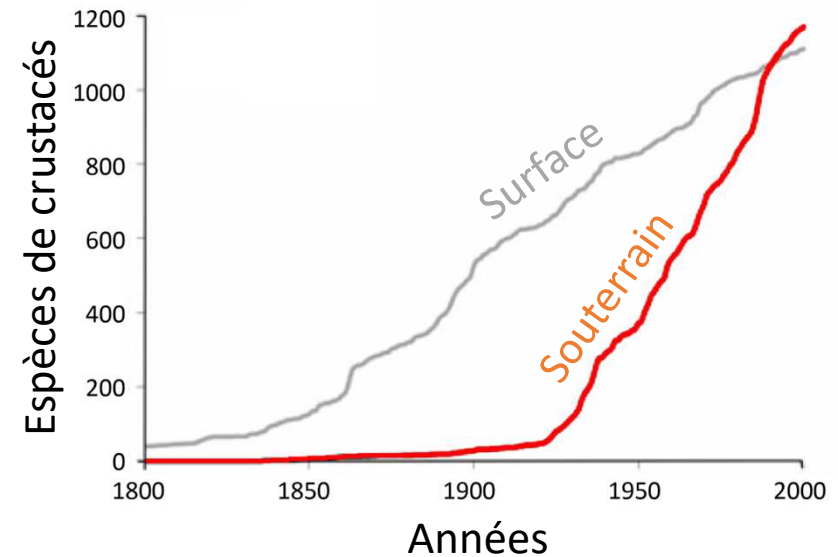
Biomasse et biodiversité souterraines

>80% de la biomasse procaryotique planétaire (21 à 62 gigatons) est souterraine (e.g., aquifères et sous le fond marin).



Bar-On et al. 2018

En Europe, le nombre d'espèces de crustacés souterrains est supérieur au nombre d'espèces de crustacés dans les eaux douces de surface

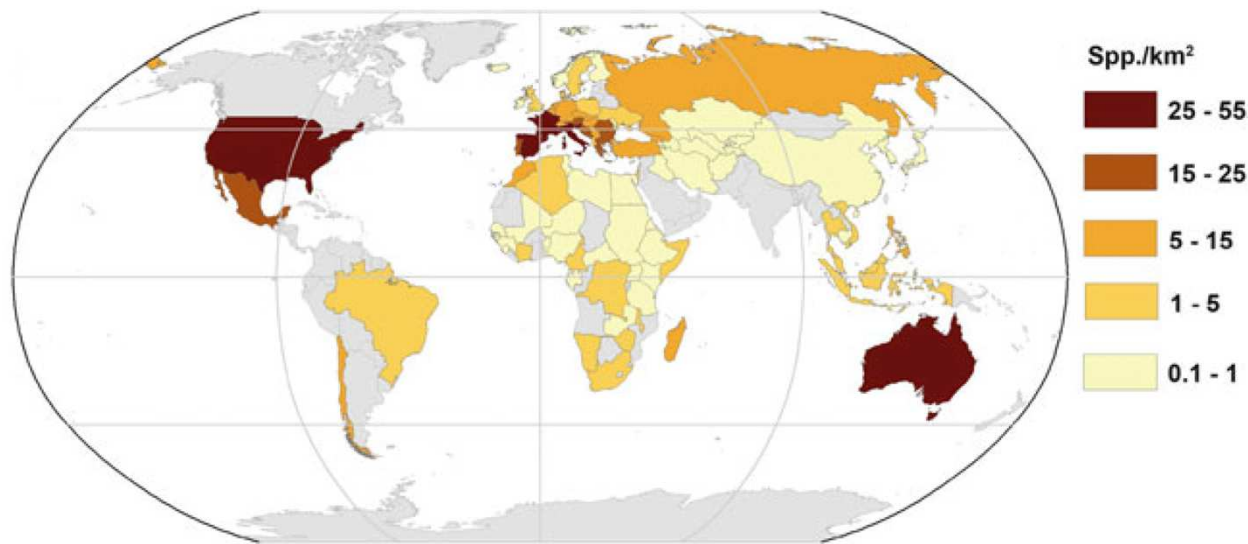


Stoch et Galassi 2010

Des peuplements généralisés à l'ensemble de la planète

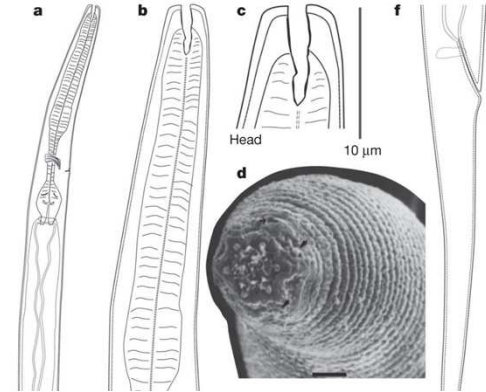
Estimations grossières: 50 à 100.000 espèces
versus 125.000 dans les eaux douces de surface

Culver et Holsinger 1992; Balian et al. 2008



Zagmajster et al. 2018

Verticalement:
3600 m: mines,
Afrique du Sud



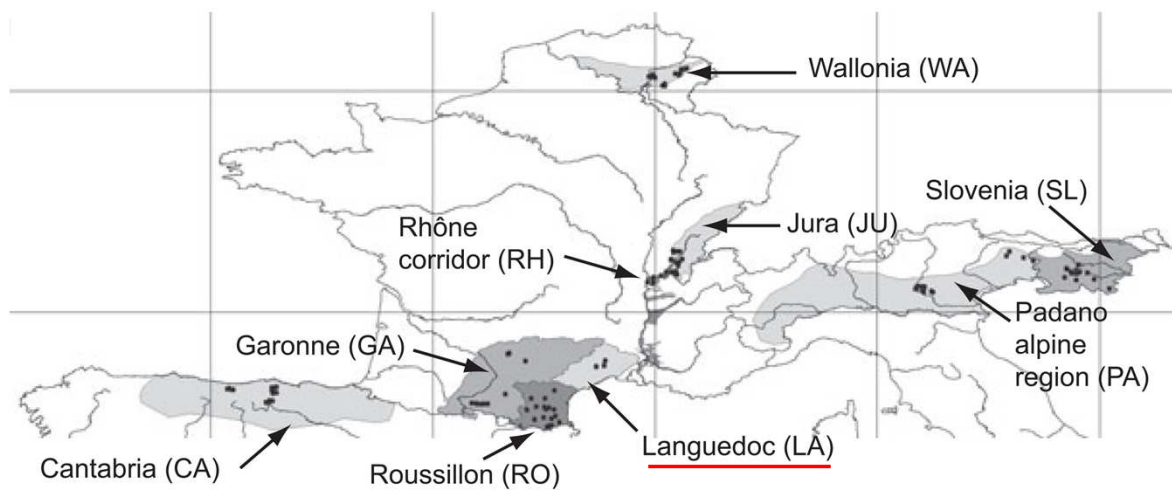
Borgonie et al. 2011

Désert australien



Halse 2018, Langille et al. 2021

Des « Galápagos » souterraines

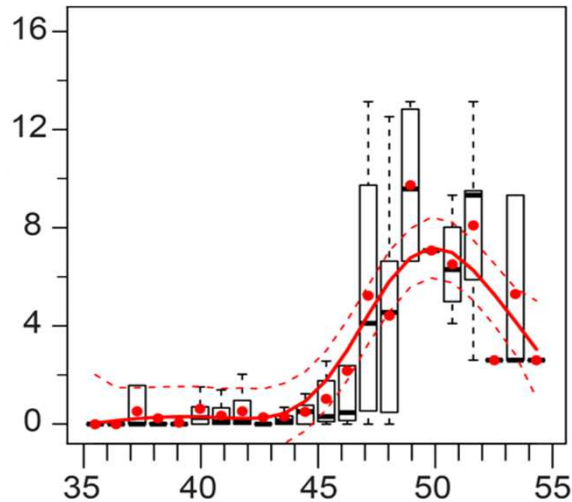


Malard et al. 2009

Region	Wallonia	Jura	Rhône corridor	Languedoc	Roussillon	Garonne	Cantabria	Padano -alpine	Slovenia
Wallonia	22–8								
Jura	12	46–16							
Rhône corridor	9	22	37–7						
Languedoc	6	11	13	41–22					
Roussillon	2	3	4	6	43–30				
Garonne	5	6	8	9	5	54–39			
Cantabria	2	1	1	1	2	3	58–50		
Padano-alpine region	4	8	4	2	2	2	2	76–54	
Slovenia	3	6	6	4	1	2	5	16	107–84

Le passé et le présent

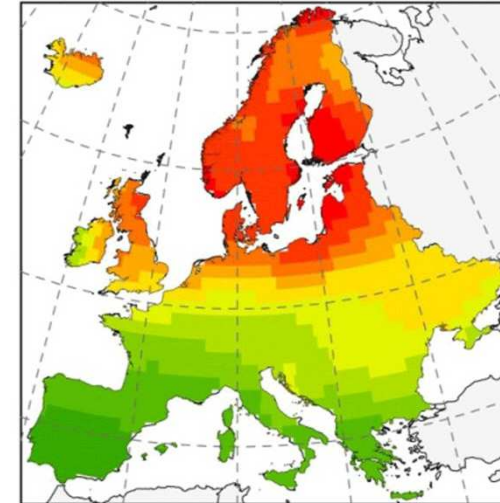
Taille des aires
de répartition



le passé



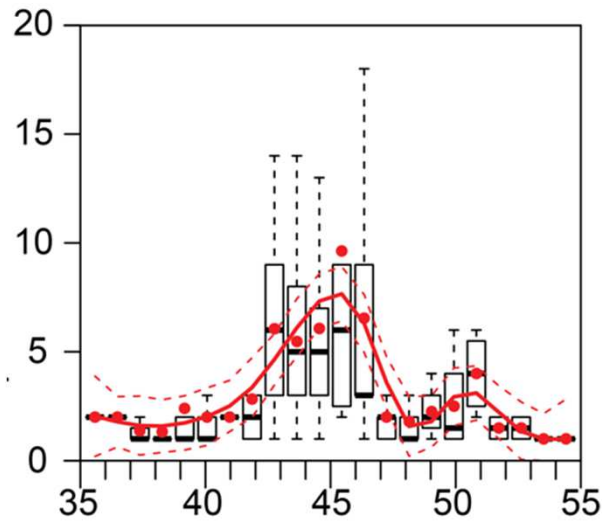
Climats du
Pléistocène



Froid

Chaud

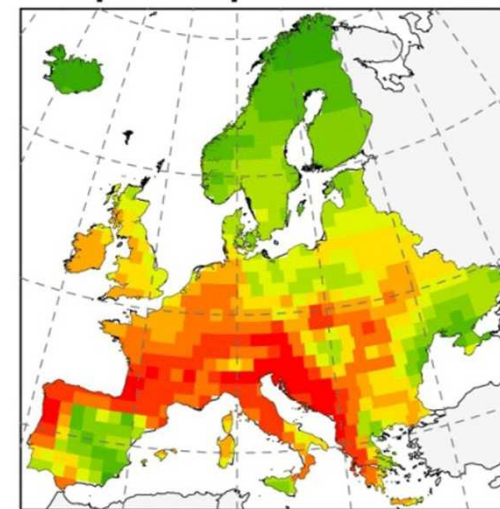
Richesse spécifique
des régions



le présent



Productivité
en surface



Faible

Forte

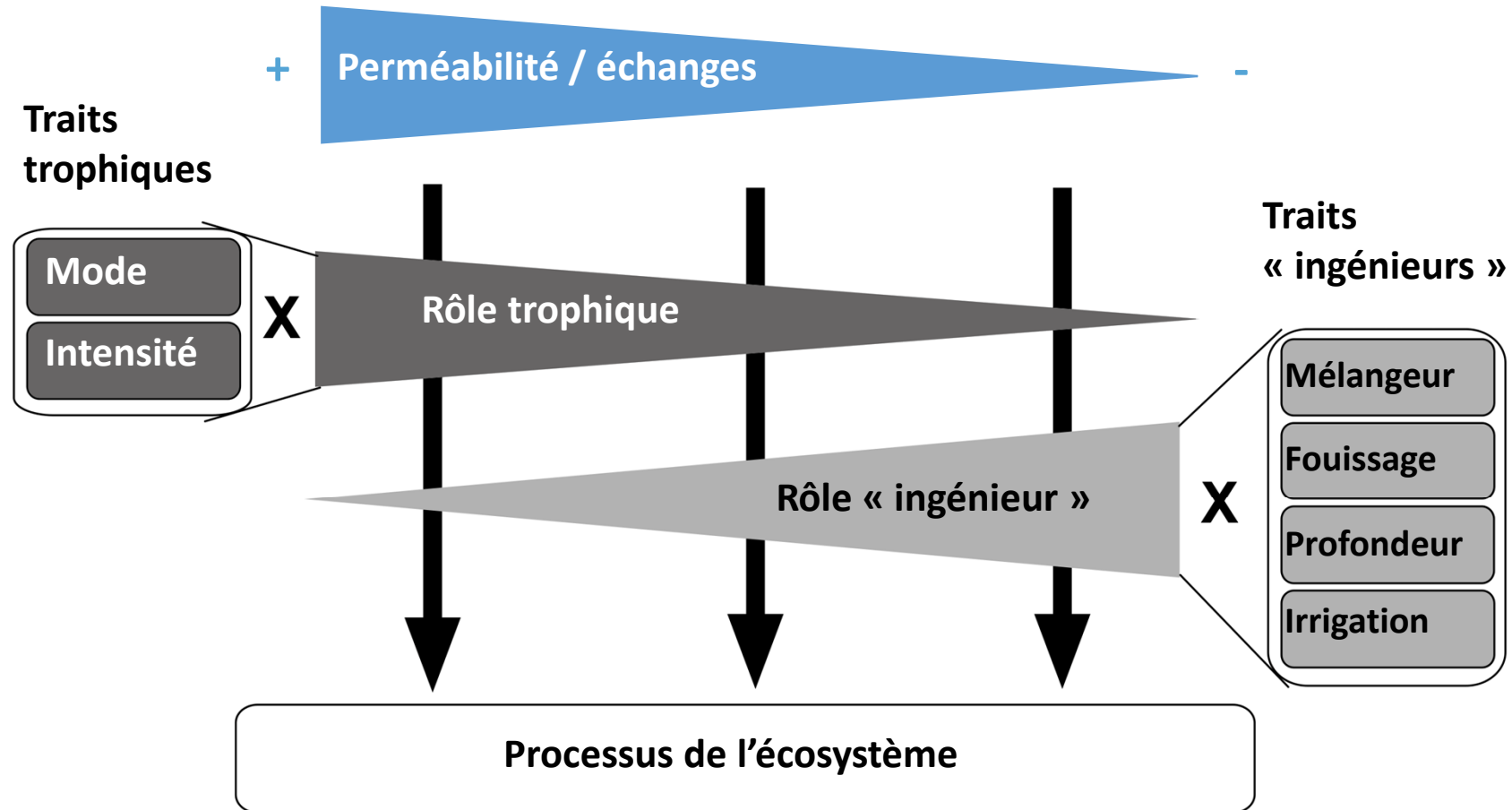
Faible

Latitude

Zagmajster et al. 2014, Eme et al. 2018

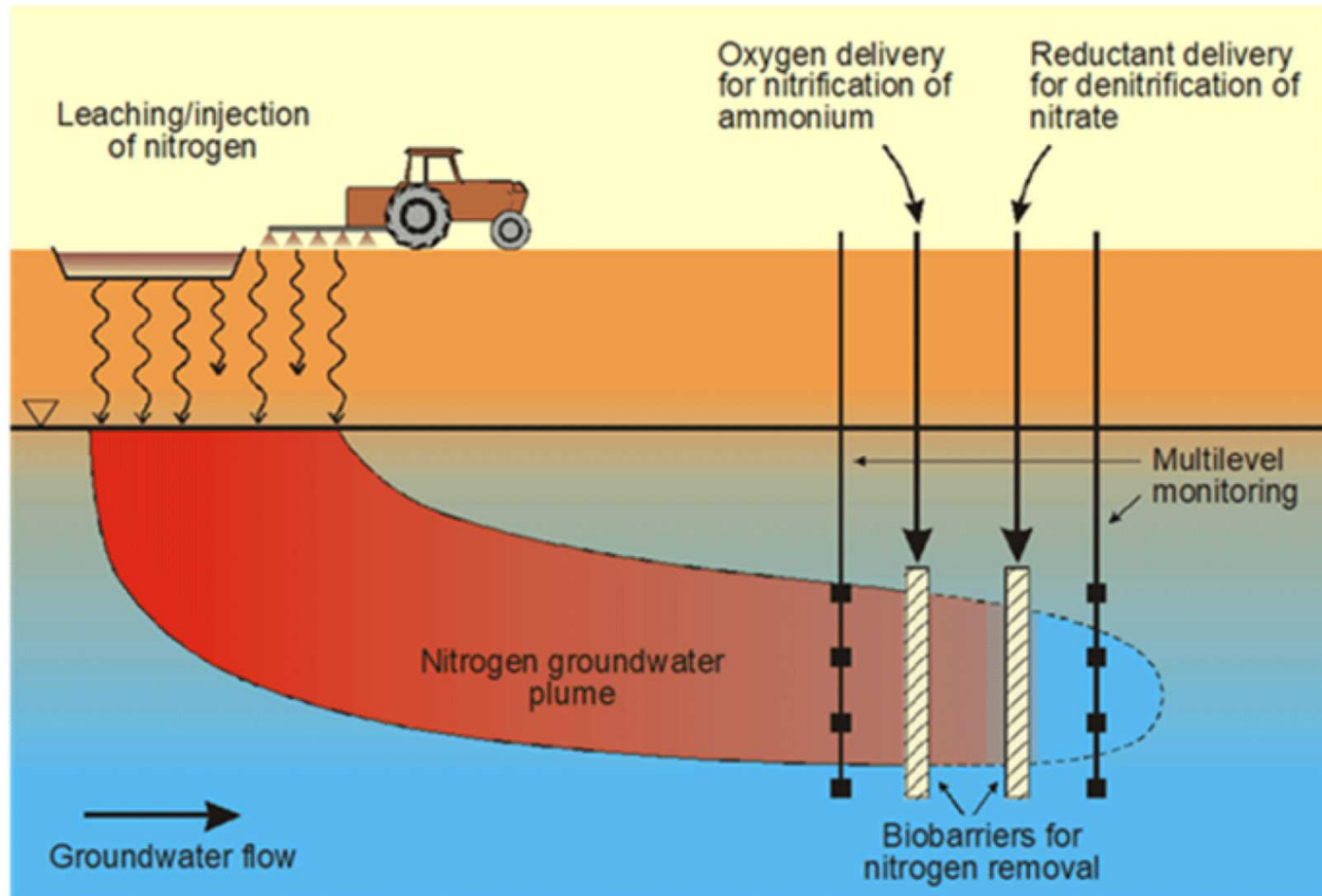
Le rôle de la biodiversité souterraine

Epurateurs et architectes du monde souterrain



After Mermillod-Blondin et al. 2018

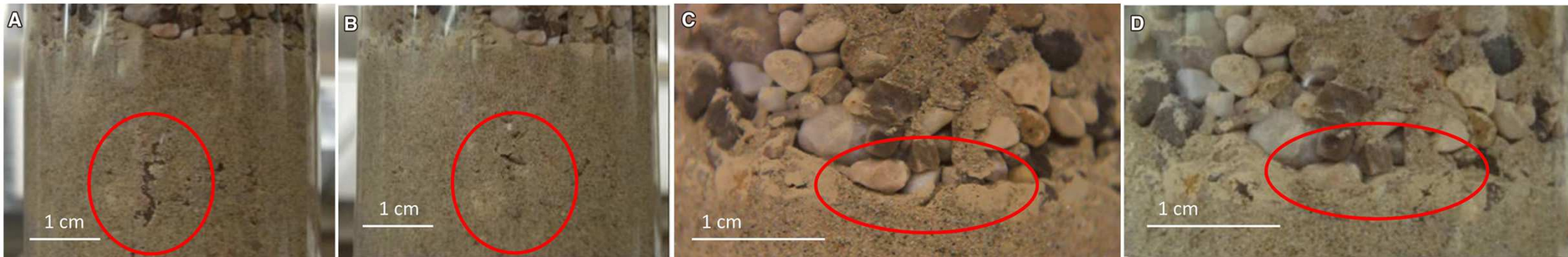
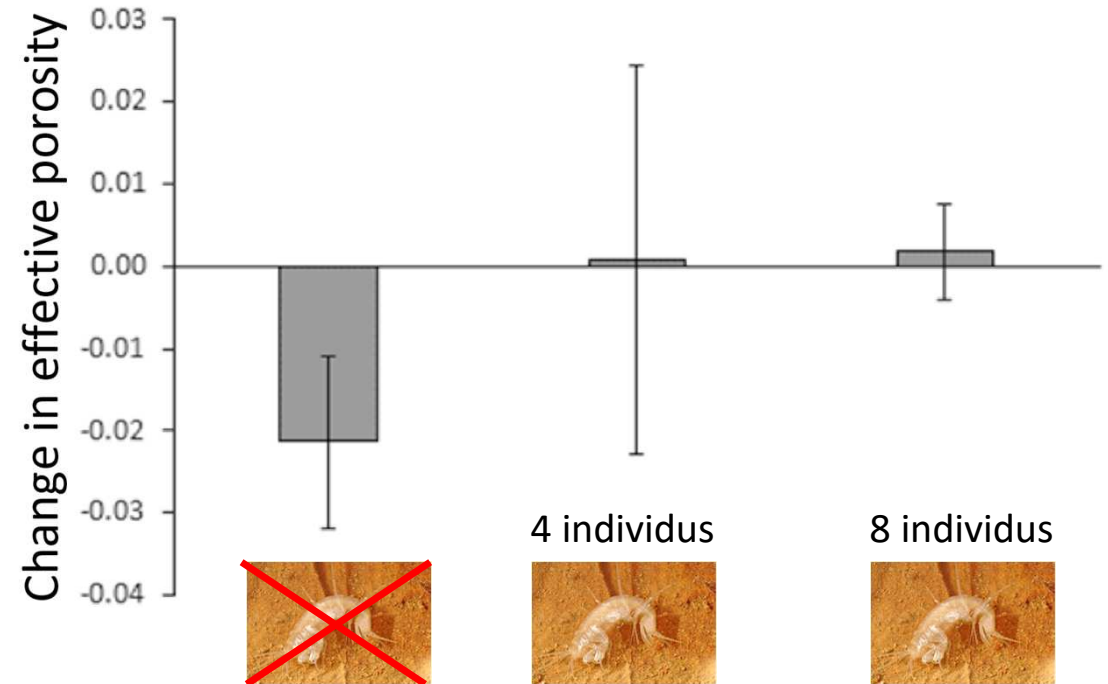
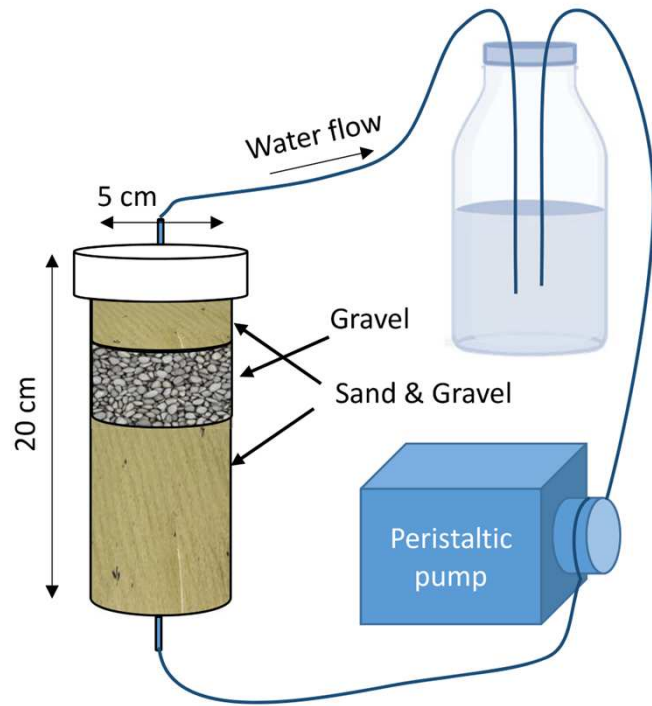
Epurateurs



Groundwater bioremediation

Davis 2023

Architectes



Hose & Stumpp 2019

Groundwater amphipods alter aquifer sediment structure

Christine Stumpp¹, Grant C. Hose²

¹Helmholtz Zentrum München, Institute of Groundwater Ecology, Ingolstädter Landstrasse 1,
85764 Neuherberg, Germany

²Department of Biological Sciences, Macquarie University, NSW 2109, Australia

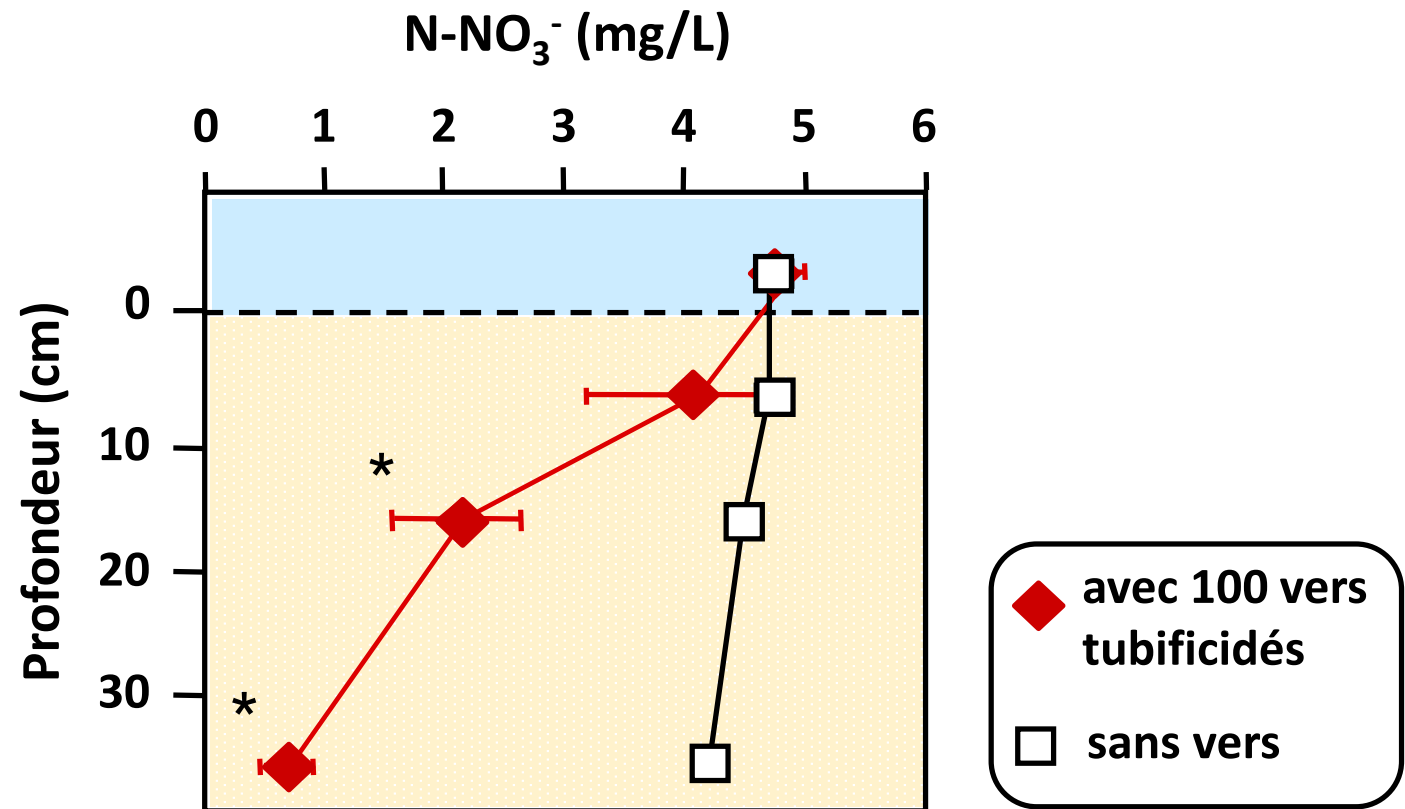
HelmholtzZentrum münchen

German Research Center for Environmental Health



MACQUARIE
University

Ingénieurs

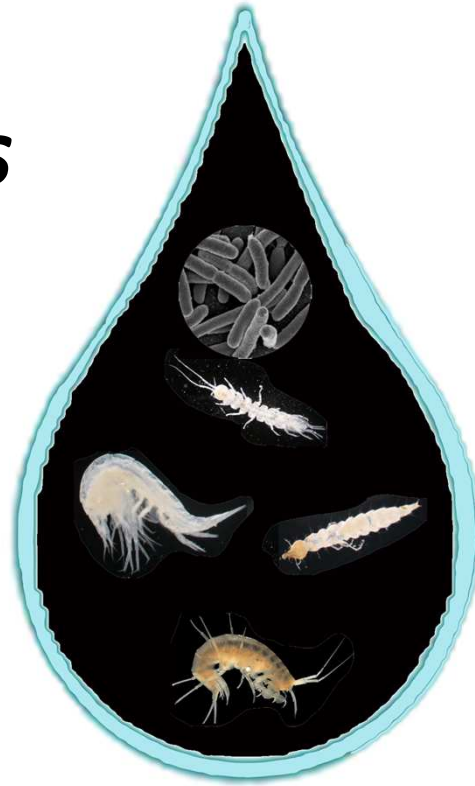


Mermillod-Blondin et al. 2001

Bioindication souterraine

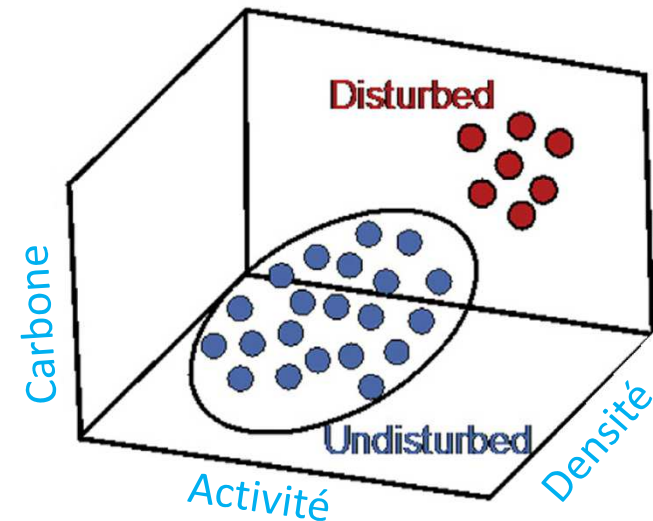
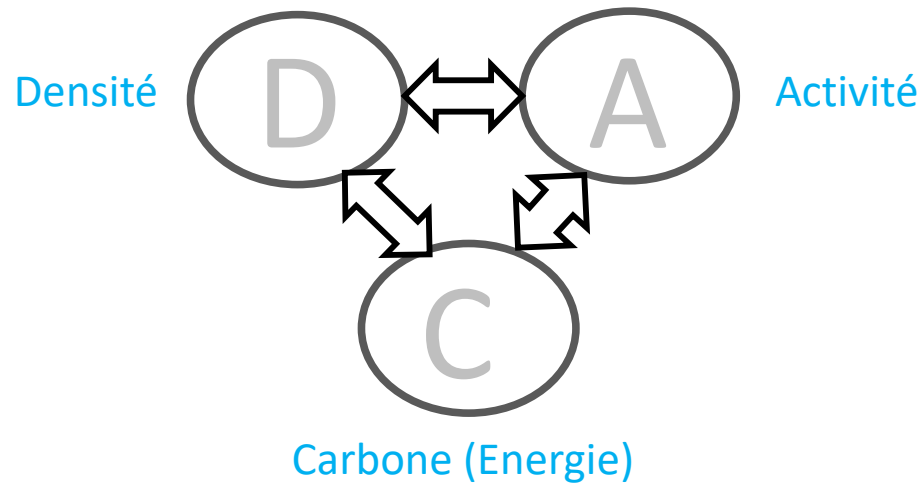
Communautés

Processus



Ecotoxicologie

L'index D-A-C (micro-organismes)



- Matrices: eau (Fillinger et al. 2019), sédiments (Navel et al. 2012), billes d'argile (Voisin et al. 2016)
- Perturbations: hydrocarbures, usage des sols (agriculture), urbanisation (Fillinger et al. 2019; Lebon et al., 2021; Fabre L. thèse en cours, Projet BioKarst, AC Agence de l'Eau)

Vers des index composites multi-paliers

Indicateurs

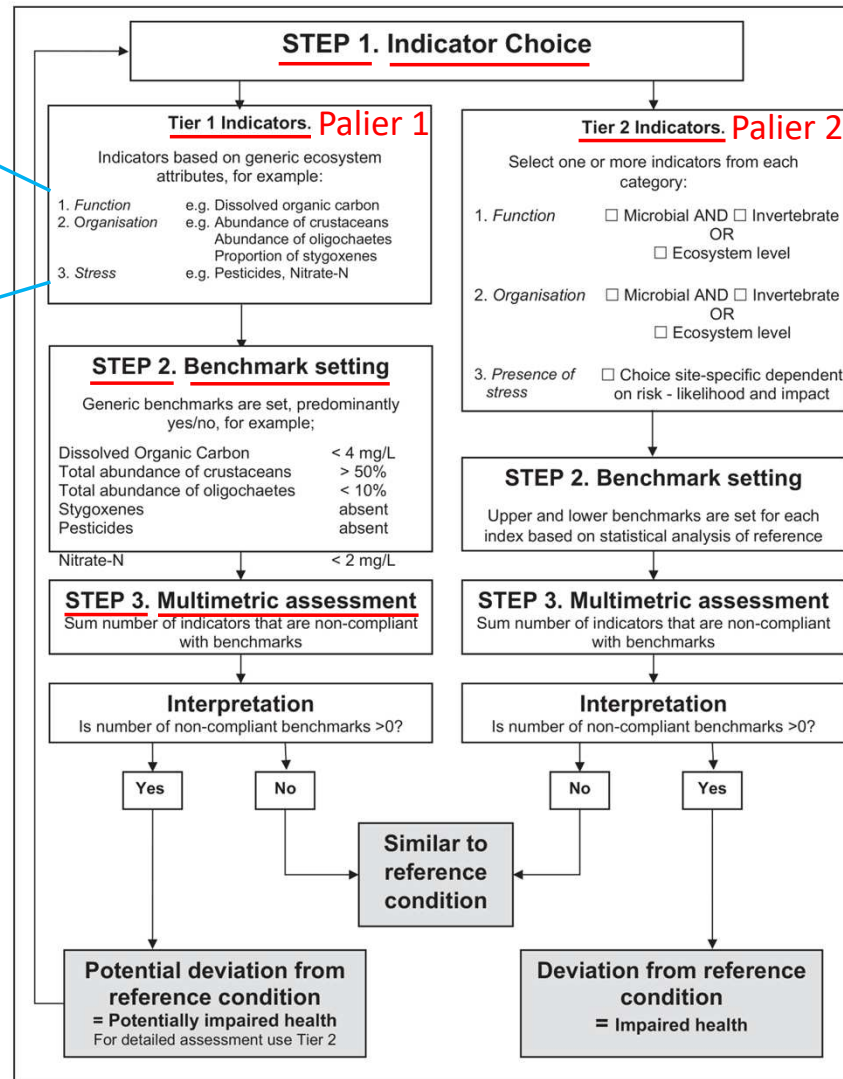
Fonctionnement

Organisation

Stress

Valeurs de référence

Evaluation multi-critères

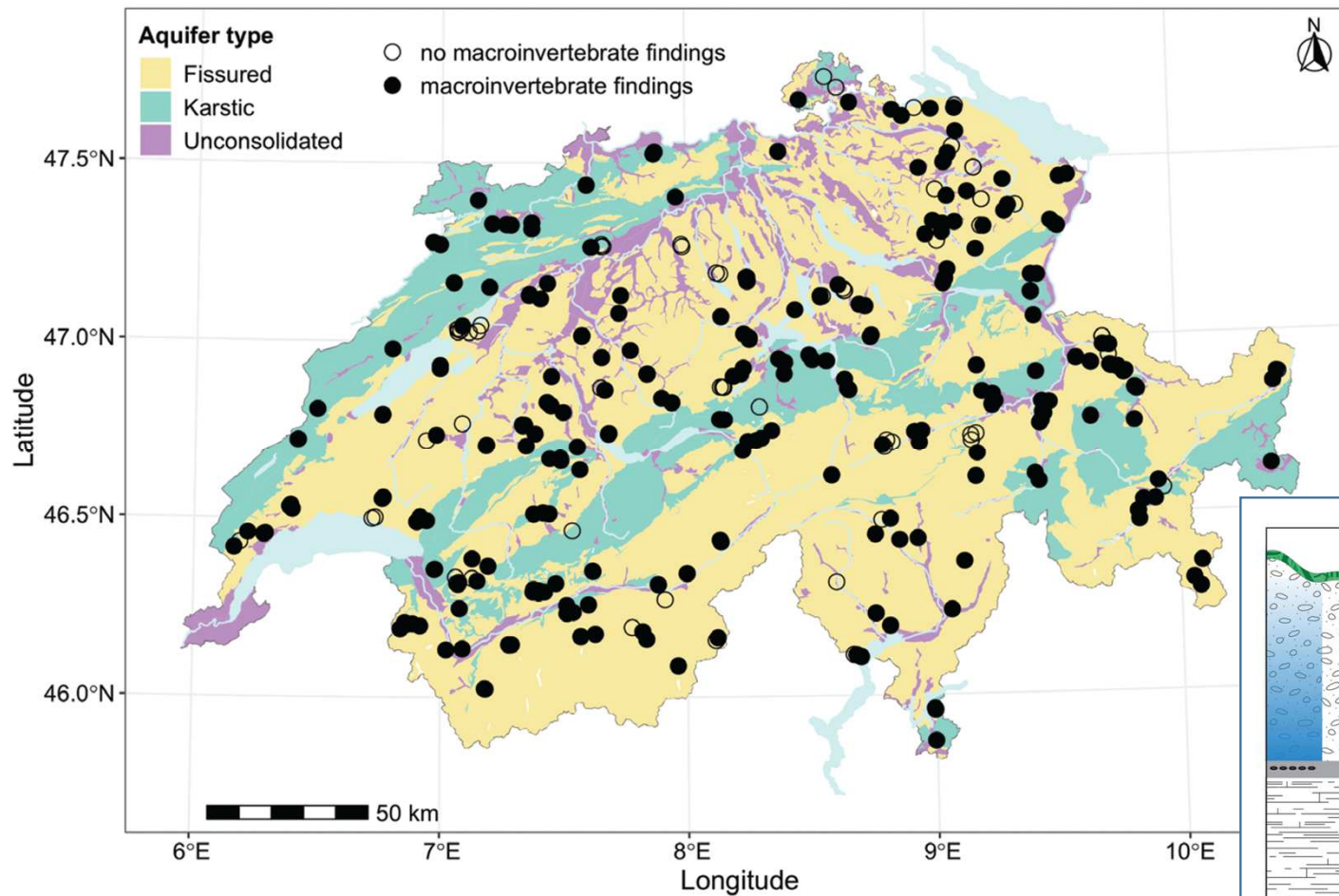


Micro-organismes

Macro-organismes

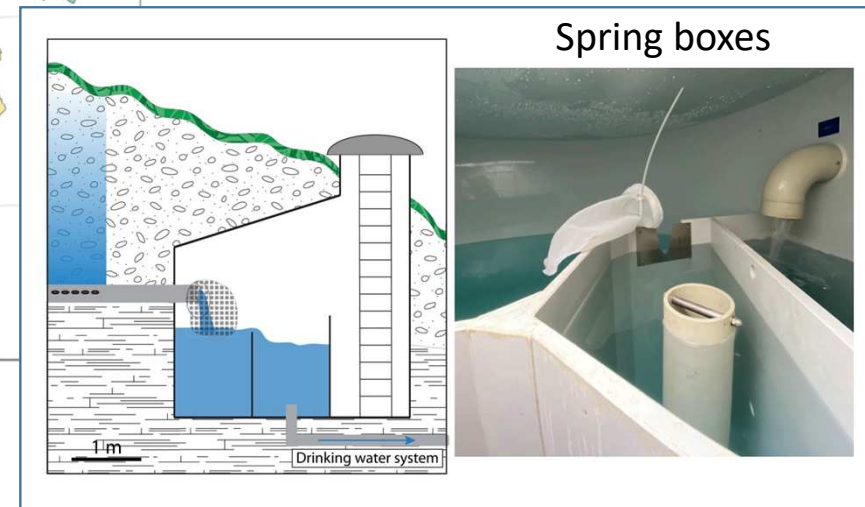
Processus de l'écosystème
(e.g. respiration)

La faune aquatique souterraine des captages suisses

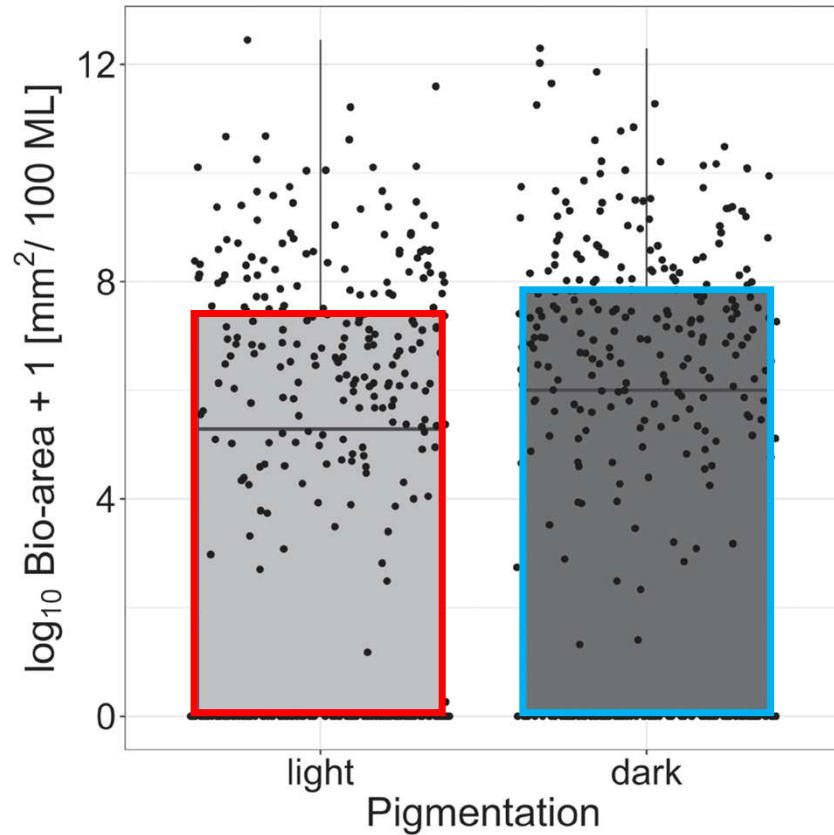


1182 filtrages de faune en
provenance de 346 « spring boxes »

Schneider et al. 2023, Couton et al. 2023



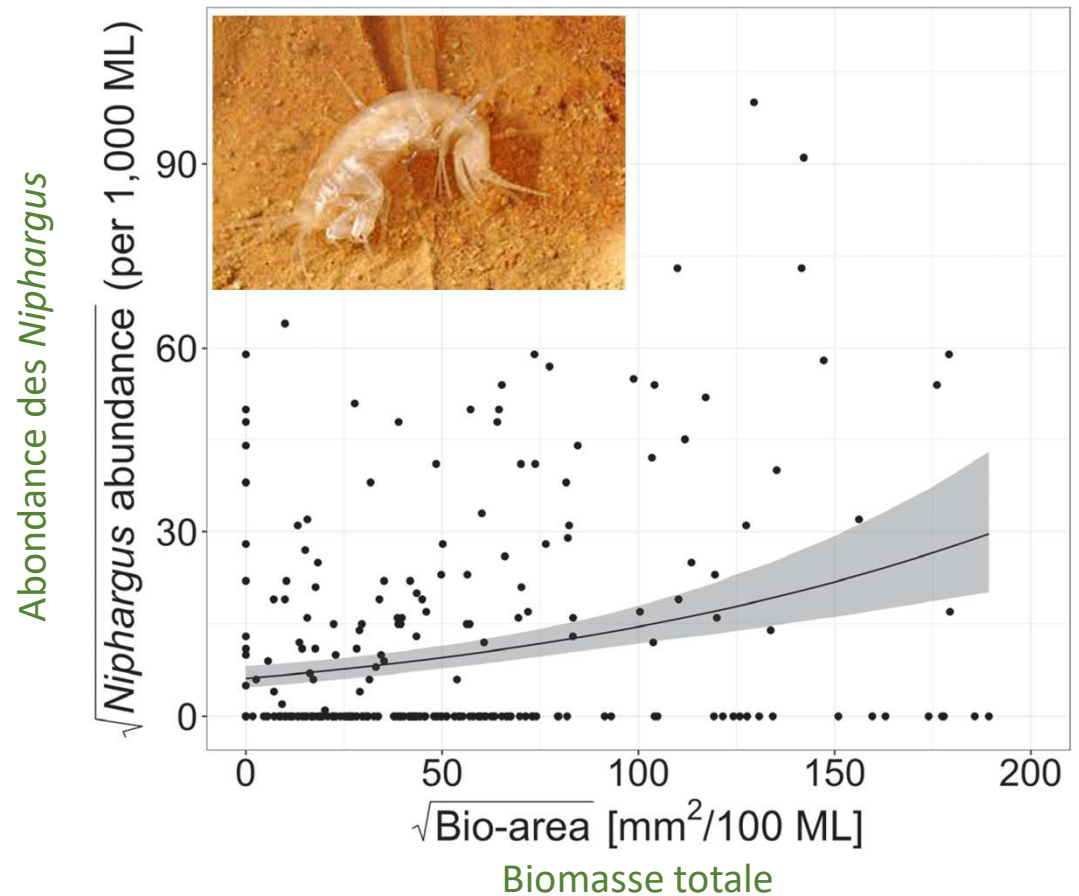
Le maillon invisible d'un même réseau trophique



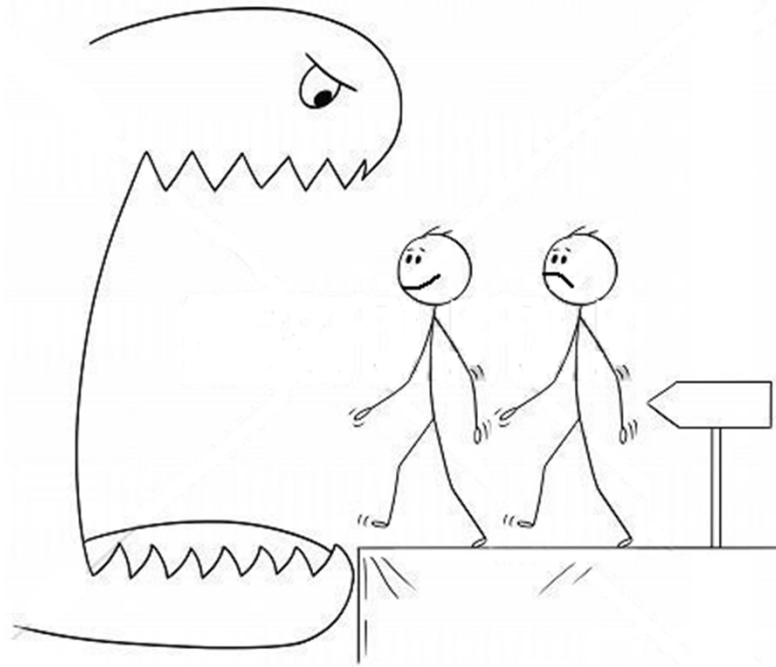
De surface



Souterrain



Les lacunes de connaissance



l'ignorance

Conservation et gestion des écosystèmes souterrains

La protection de la biodiversité des eaux souterraines et l'évaluation de la santé des écosystèmes aquatiques souterrains sont systématiquement négligées dans les législations relatives à l'eau, les plans de gestion environnementale, les programmes de conservation et les objectifs en matière de biodiversité.

Sánchez-Fernández et al. 2021 ; Fiser et al. 2022 ; Griebler et al. 2023

- Conservation

CBD, Ramsar Convention, WHC, IUCN Red Species List,
EU Biodiversity Strategy for 2030

- Gestion des eaux souterraines (DCE)



Les multiples formes d'ignorance

- Ignorance scientifique



Rôle fonctionnel de la biodiversité et services écosystémiques

- Ignorance des mécanismes de la recherche



“Plus de recherches, de connaissances, sont nécessaires”

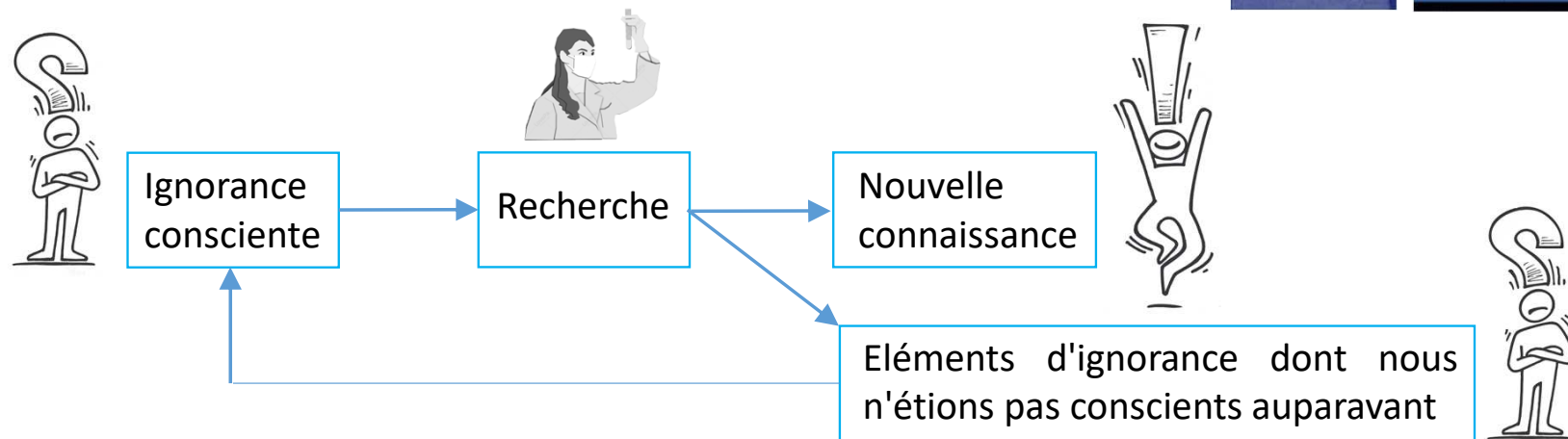
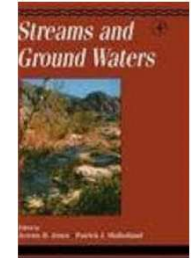
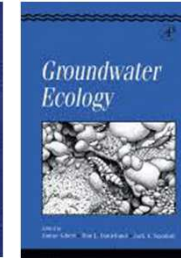
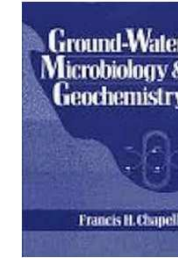
- Ignorance des “systèmes d’information-action”



La connaissance doit traverser de multiples frontières

Plus de recherches, de connaissances, sont nécessaires...

“ Il convient de mener des recherches ... pour garantir la qualité et la protection de l'écosystème des eaux souterraines. (Alinéa 20: Directive n° 2006/118/CE du 12/12/**2006**) “



“A chaque fois que la science réussit à convertir un domaine donné d'ignorance consciente en connaissance, une nouvelle ignorance consciente est presque inévitablement créée”.

Wilholt 2020

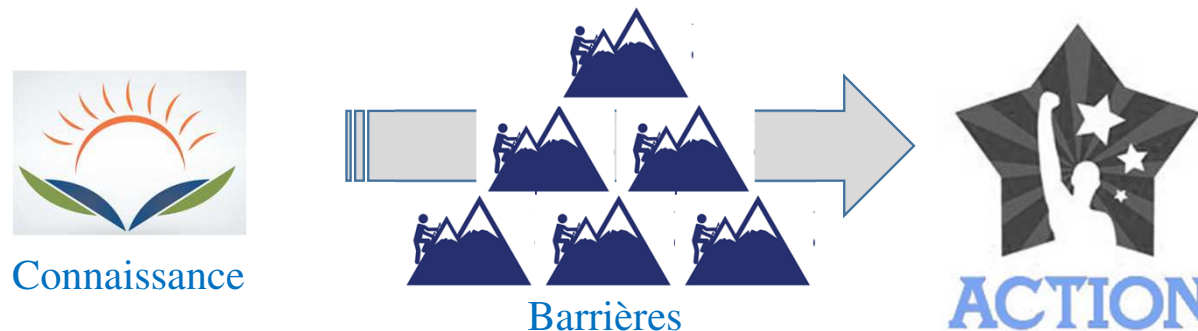
Ignorance des “systèmes d’information-action”

“Toutes les ignorances scientifiques n’ont pas les mêmes conséquences opérationnelles”

- Implication des “opérationnels” dans les agendas de recherche



- Fonctionnement des systèmes “information – action”



Quels attributs
et objets ?

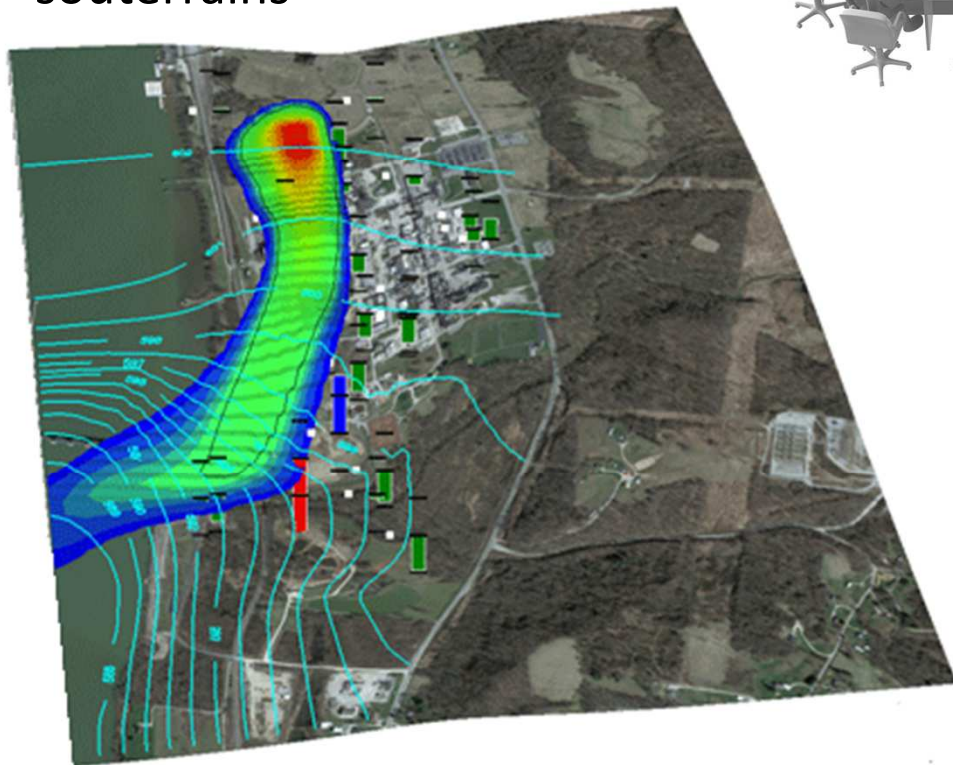
- Attributs clés

Crédibilité, RElevance, et LEgitimité

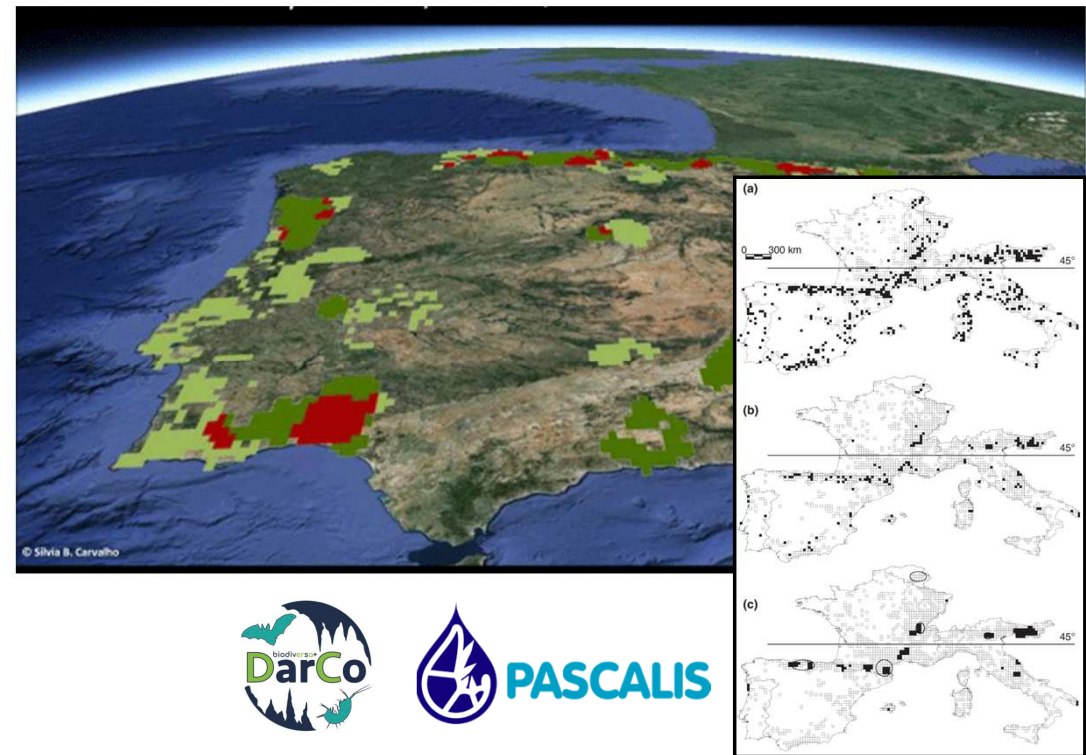


Les objets "frontières"

Modèles des écoulements
souterrains



Algorithmes de planification
en conservation



Georges et al. 2009

Des difficultés à ajuster les stratégies

DCE

Eau de
surface

Eau
souterraine

Ecosystèmes de surface dépendants
des eaux souterraines

... une seule et même ressource ...



- Ignorance “motivée” (rationnelle)



- Syndrôme du Concorde (irrationnel)



Pour finir...

- Un maillon invisible, une biodiversité *insoupçonnée*
- Les eaux souterraines et leurs écosystèmes ne reçoivent peut-être pas l'attention qu'ils méritent
- L'ignorance scientifique est un aspect parmi tant d'autres
- De multiples formes d'ignorance aux différents niveaux des "systèmes d'information-action"



Merci de votre attention

