

Assemblée générale du SOERE PRO

Vendredi 22 juin 2018, Paris





Nouvelles tendances pour les recherches en écotoxicologie terrestre

Christian Mougin

Fabrice Martin-Laurent, Olivier Crouzet, Michael Hedde

christian.mougin@inra.fr

Les thèmes abordés



- ❖ **Introduction**

- ❖ **Améliorer l'évaluation des dangers**

- ❖ **Améliorer l'étude des expositions**

- ❖ **Améliorer les bases scientifiques d'une évaluation des risques écologiquement pertinente**

- ❖ **Mais aussi...**

- ❖ **Conclusions**

Des pratiques aux services.... Les organismes du sol

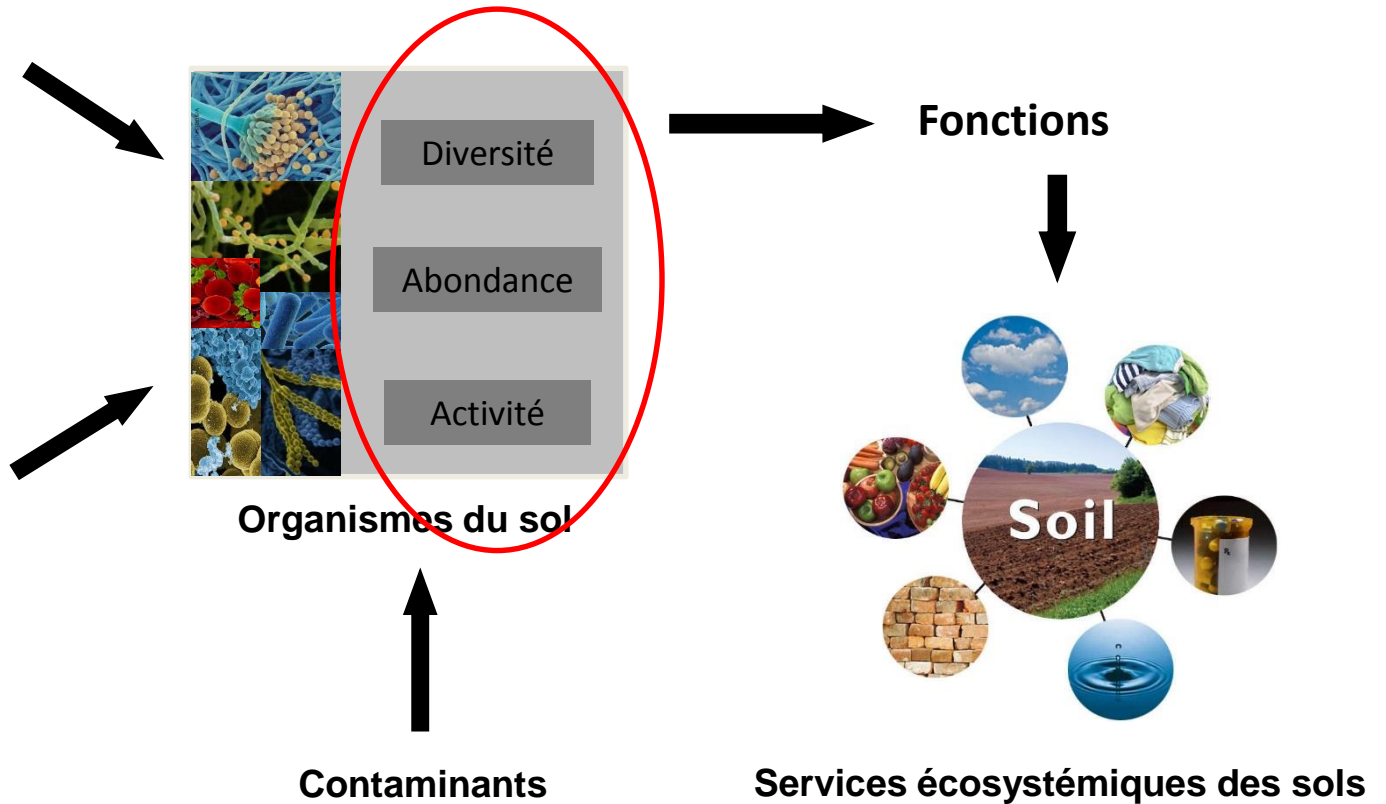


Usage des sols



Pratiques agricoles

Des approches basées sur le trio



Les leçons des études antérieures : le Soere PRO et l'ESCo MAFOR

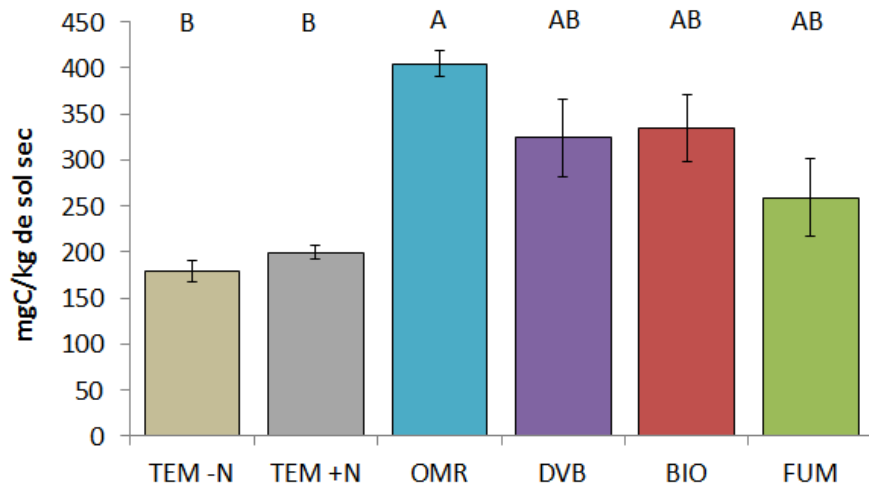


- ❖ **Une interprétation difficile des indicateurs issus des approches écotoxicologiques classiques : facteurs confondants ou interférents**
- **Des effets potentiellement néfastes des contaminants masqués par les apports C, P**
- **Une biodisponibilité souvent réduite des contaminants, souvent pas de bioaccumulation constatée**
- **L'enjeu demeure :**
 - **l'évaluation des risques sur le long terme de la présence de mélanges de contaminants (organiques, métaux, biologiques) en faibles doses, dans un contexte de changements globaux**
 - **même si la plupart des fonctions des sols et services écosystémiques ne semblent pas affectés (pour l'instant)**
 - **attention au cycle de l'N**

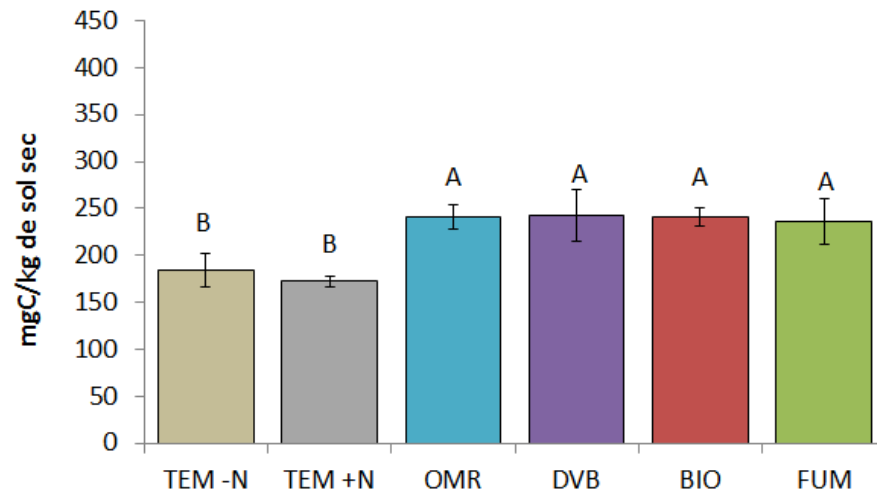
Effet des PRO sur la biomasse microbienne



Effets à court terme



Effets résiduels



Effet à court terme :

- ↗ de la BM (facteurs 1,2 à 1,9)
- PRO le + efficace = OMR (riche en C facilement biodégradable et directement assimilable par les microorganismes)
- Stimulation champignons > bactéries

Effet à long terme:

↗ BM totale ~ ∇ les traitements organiques (facteur 1.4) après 7 apports (↗ teneurs en MO des sols)

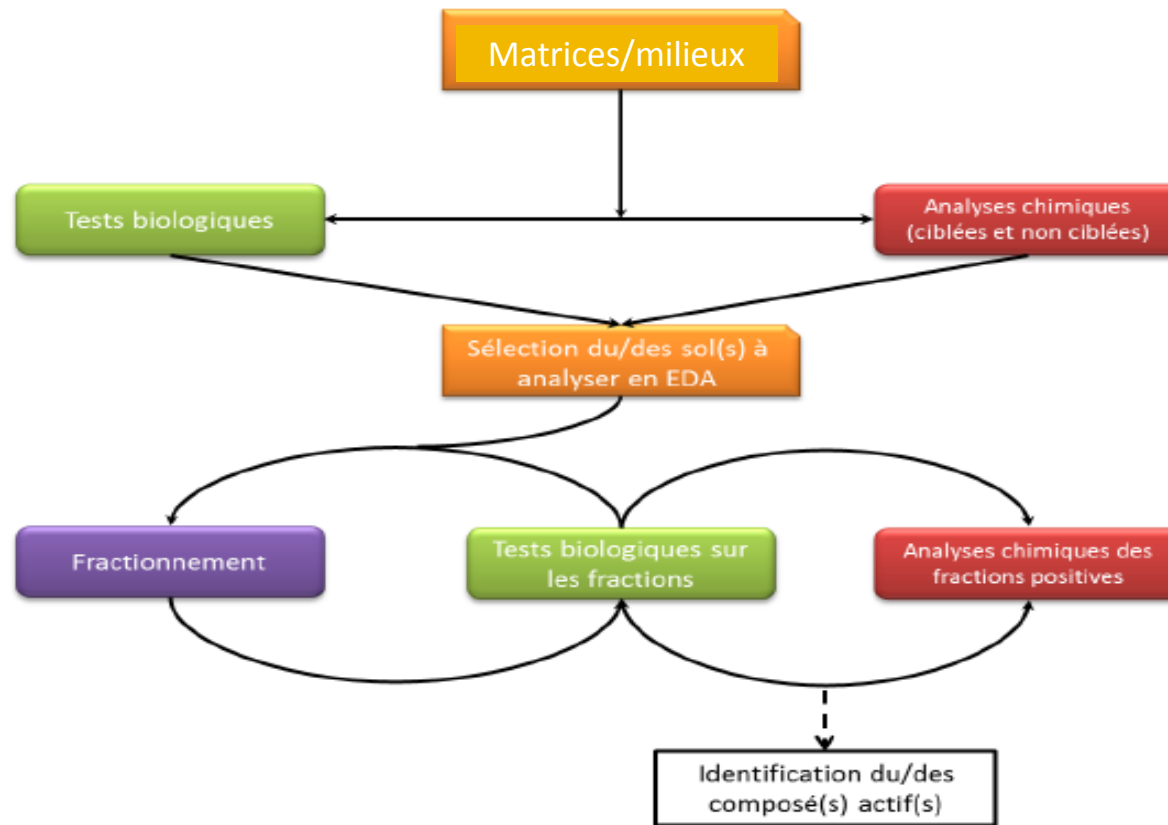
(Obriot et al., 2016)



Améliorer l'évaluation des dangers



- ❖ **Caractériser le profil chimique des matrices/milieux : associer des effets précis à des composés actifs identifiés**



- **Renseigner sur les flux potentiels et les transferts de contaminants**

(Delafoulhouze, 2016)

Utiliser une batterie de bioessais



- ❖ *In vivo* : organismes entiers, bactéries luminescentes > intégrateurs
- ❖ *In vitro* : récepteurs nucléaires (48), cultures cellulaires

Type I

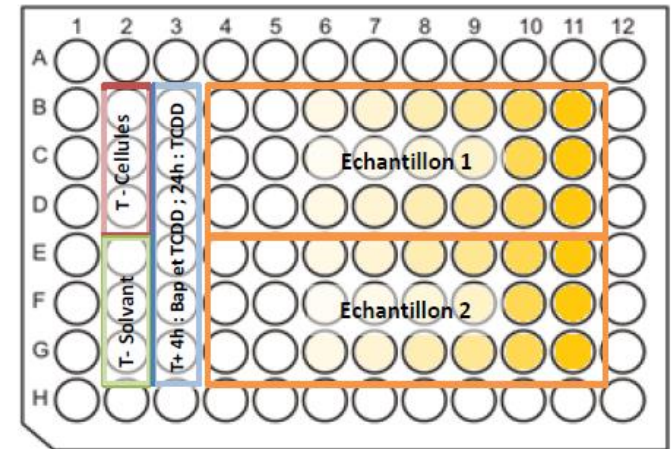
- progestérone (PR)
- oestrogènes (ER)
- androgènes (AR)...

Type II

- hormones thyroïdiennes (TR)
- acide all-transrétinoïque (RAR)
- proliférateurs activés des peroxysomes (PPAR)...

Type III

- pregnane-X-récepteur (PXR)
- récepteur constitutif des androstanes (CAR)...



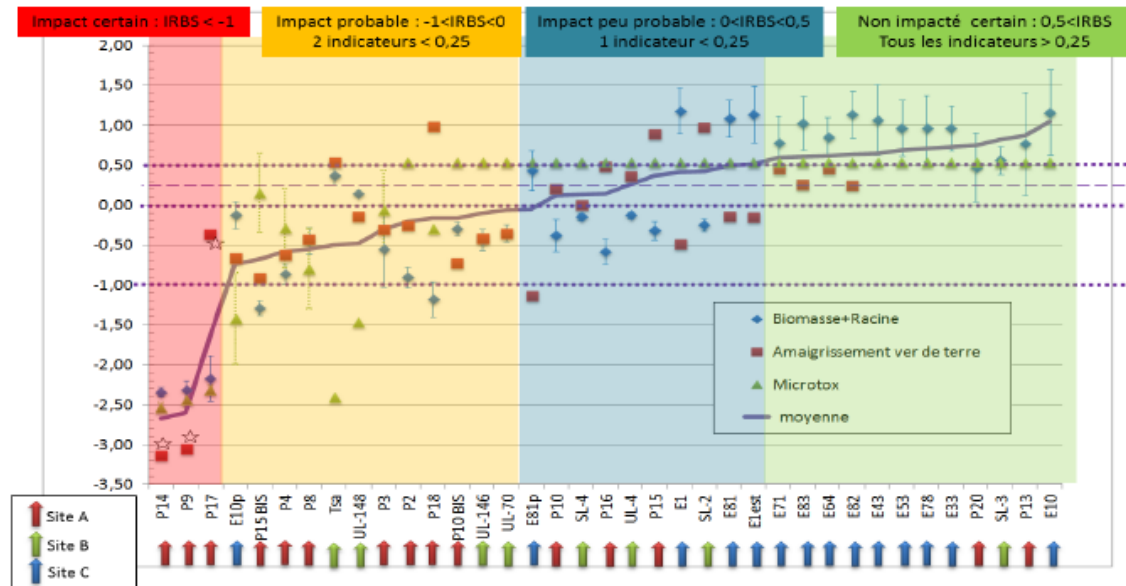
➤ Orienter la connaissance des effets

(Delafoulhouze, 2016)

Hiérarchiser les dangers



❖ Scoring : indice de réponse biologique du sol (IRBS)



➤ Evaluer l'applicabilité aux sols d'agrosystèmes

(Delafoulhouze, 2016)

A associer à Typol ?



❖ Compléter la base...

Chemosphere 111 (2014) 613–622

Contents lists available at ScienceDirect

Chemosphere

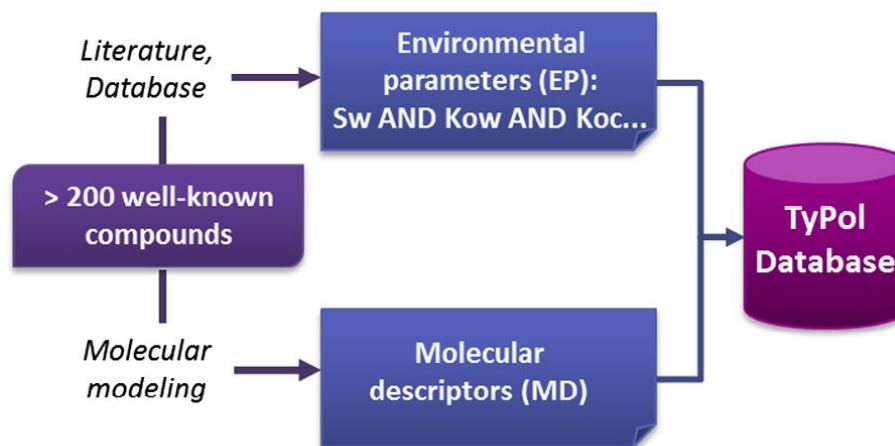
ELSEVIER journal homepage: www.elsevier.com/locate/chemosphere



TyPol – A new methodology for organic compounds clustering based on their molecular characteristics and environmental behavior



Rémi Servien^{a,b,*}, Laure Mamy^c, Ziang Li^d, Virginie Rossard^b, Eric Latrille^b, Fabienne Bessac^{e,f,g}, Dominique Patureau^b, Pierre Benoit^d





Améliorer l'étude des expositions

Les verrous en écotoxicologie



- ❖ **Comprendre les facteurs qui contrôlent l'exposition**
 - **Biodisponibilité et transformations des substances**
 - **Exposome vs stades de développement**
 - **Interactions entre les compartiments trophiques > réseaux**

- ❖ **Développer l'utilisation d'outils révélateurs et intégrateurs de l'exposition**
 - **Omiques de nouvelle génération**

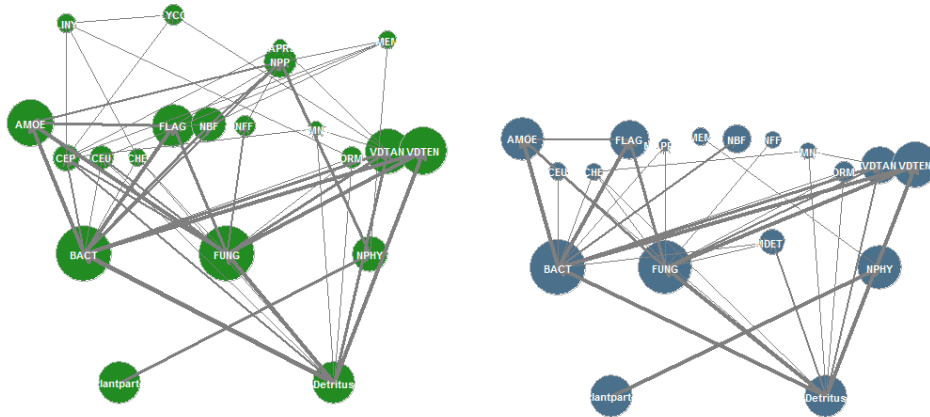
Réseaux trophiques



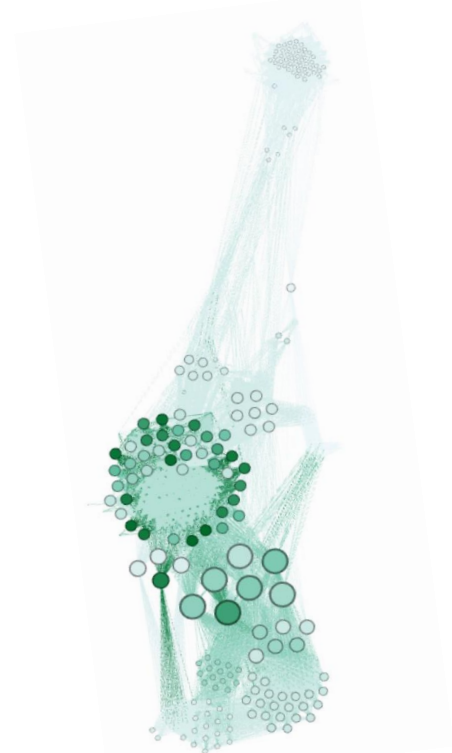
❖ Vision intégrée des interactions

Effet des pratiques sur les flux de C dans les réseaux
SOERE ACBB - ANR SOFIA

Identification visuelle des organismes

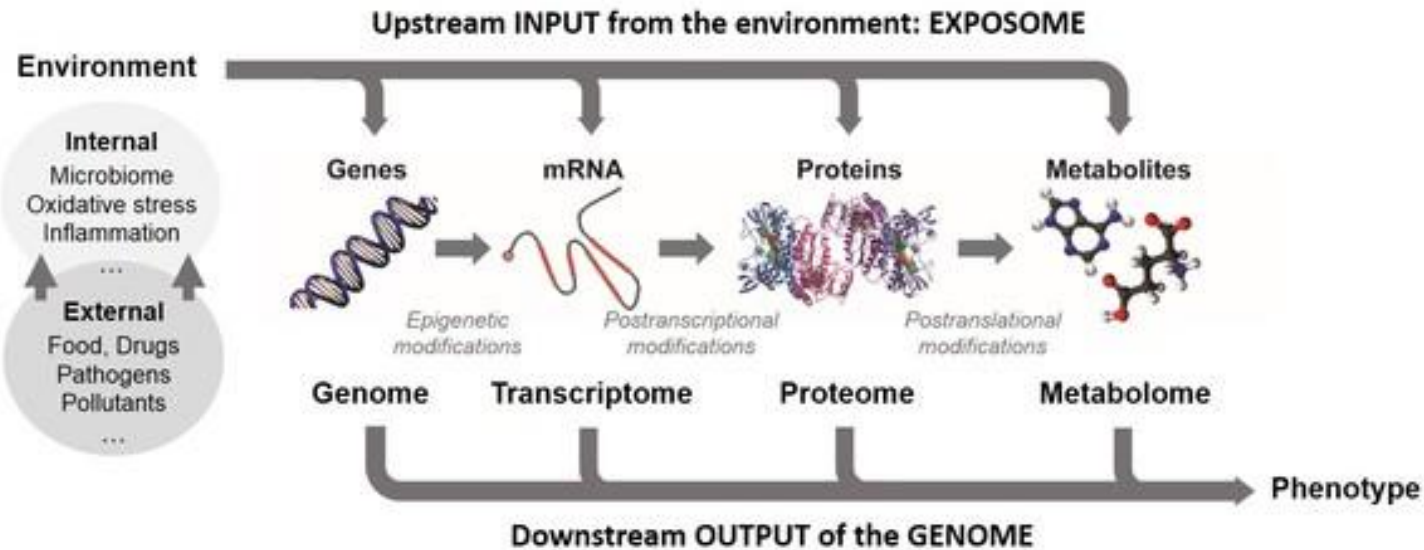


Métaséquençage
environnemental



(Coudrain et al., soumis)

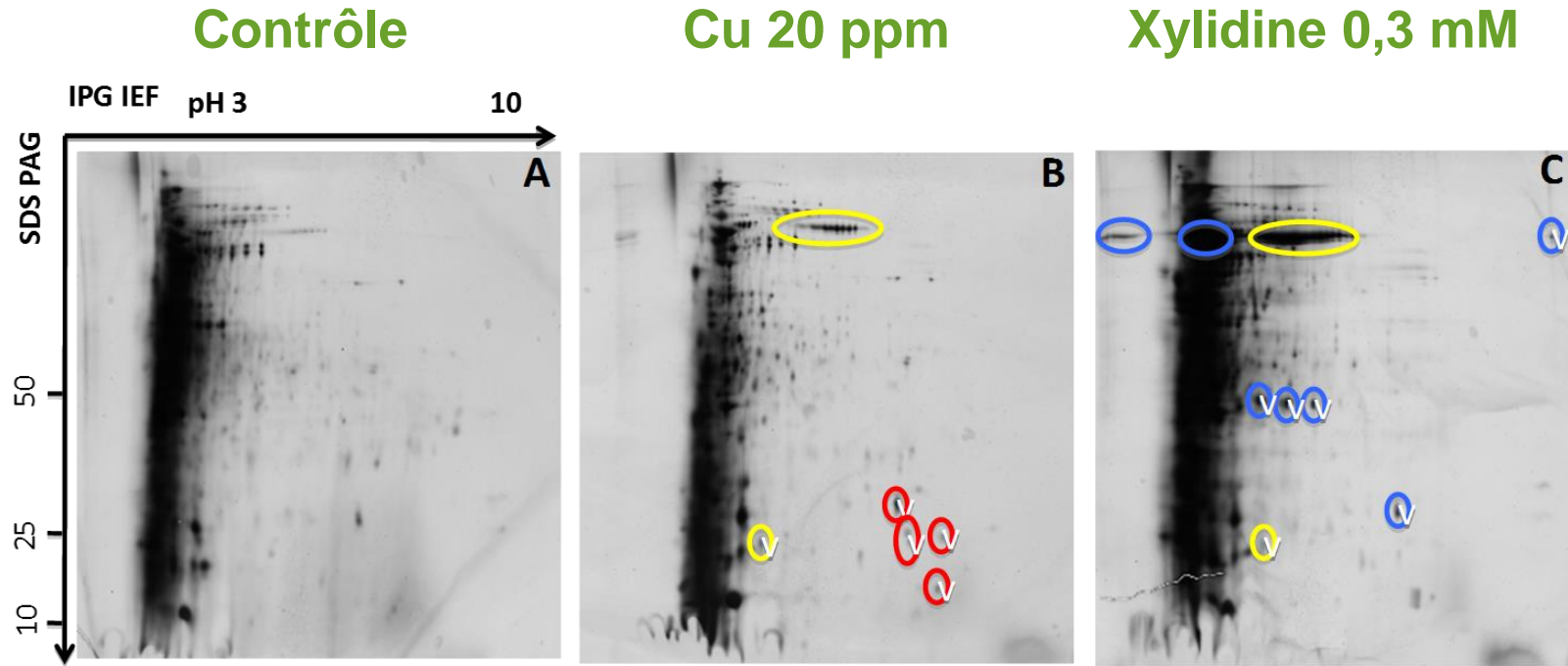
Omiques



❖ Outils d'une puissance inédite : biomarqueurs d'exposition

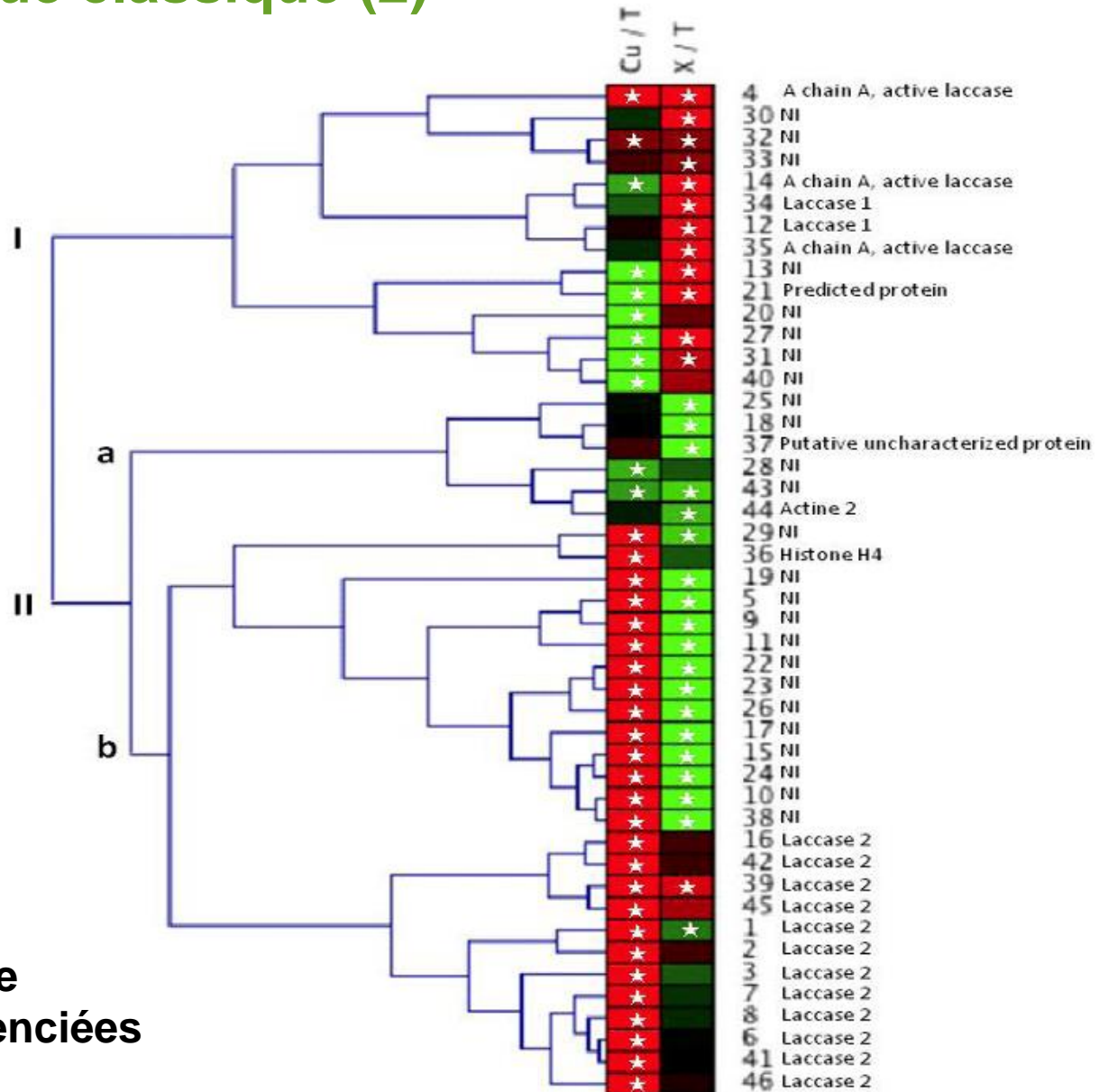
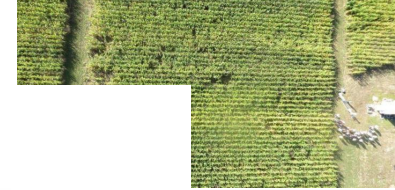
- Mesure de l'expression de l'exposition à de nombreuses molécules en quelques heures
- Accès aux effets biologiques de faibles doses
- Classification des molécules en fonction du profil d'expression

La protéomique classique (1)



- L'exposition de *T. versicolor* à des contaminants chimiques métalliques ou organiques modifie de façon sélective les profils électrophorétiques

La protéomique classique (2)

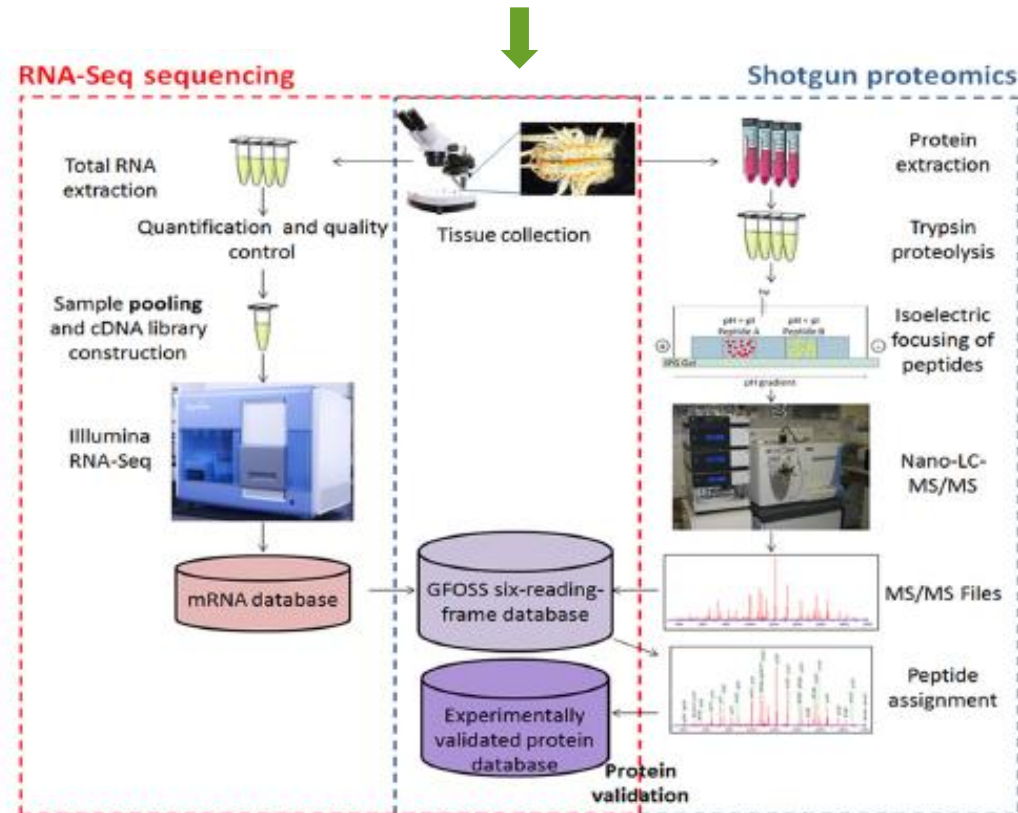


➤ Mise en évidence de réponses différenciées



Proteogenomics of *Gammarus fossarum* to Document the Reproductive System of Amphipods*[§]

Judith Trapp^{‡§}, Olivier Geffard^{‡¶}, Gilles Imbert[§], Jean-Charles Gaillard[§], Anne-Hélène Davin[§], Arnaud Chaumot[‡], and Jean Armengaud^{§¶}



« Non model organism » : sentinelle

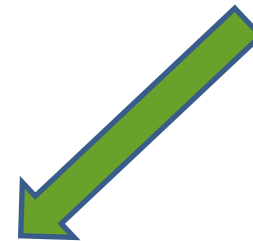


Organisme modèle

- ~~Cultivable/élevable~~
- ~~Phénotype caractérisé~~
- ~~Génétiquement « engineerable »~~



Non model organism



- Jouent un rôle particulier dans l'écosystème, et ont une représentativité écologique : sentinelles, clés de voute, bioindication active
- Doivent permettre de dépasser le réductionnisme inhérent aux modèles classiques pour décrire des mécanismes universels



(© M. Hedde et al.)



Améliorer les bases scientifiques d'une évaluation des risques écologiquement pertinente



❖ Paramètres d'effet pertinents

- Par rapport à la structure et au fonctionnement des écosystèmes dans un contexte multistress
- Utilisables pour la bio-évaluation *in situ* des agro-écosystèmes
- Prédicatifs des effets aux faibles doses

❖ Comprendre le rôle des toxiques et de leurs mélanges dans les processus d'évolution du vivant

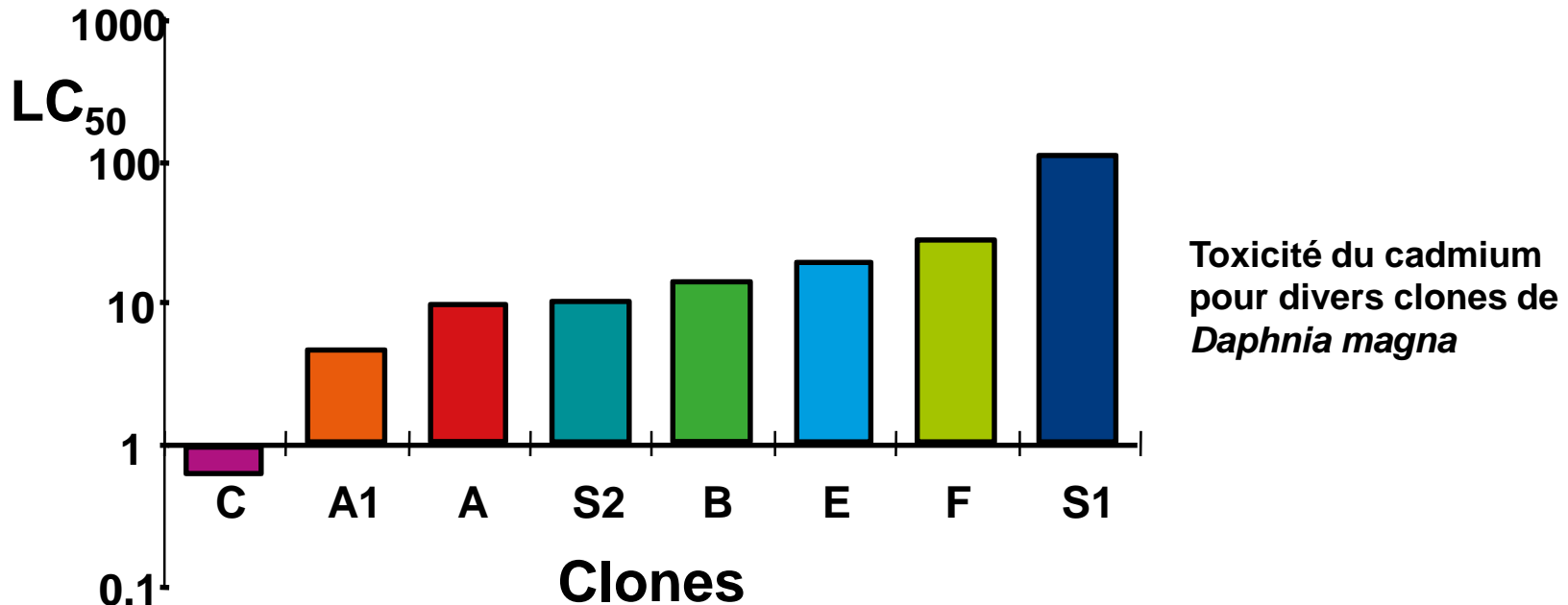
❖ Evaluer la vulnérabilité et la résilience des écosystèmes

Sortir de la classification linnéenne



❖ Le monde vivant évolue en permanence

- La réponse des organismes est variable, selon leur génétique

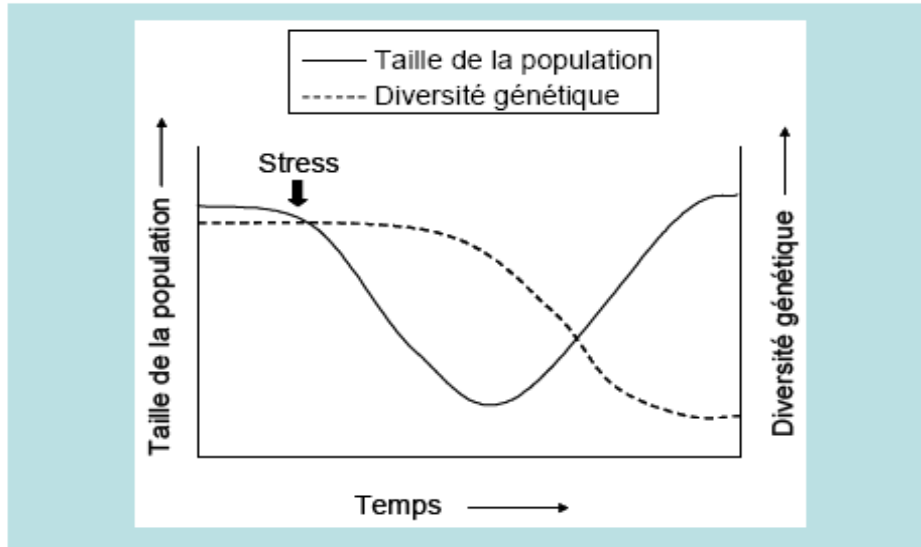


- Un génotype rare est plus important qu'une espèce rare

❖ En écotoxicologie cela implique de nouvelles méthodes

- Prise en compte du génotype dans les SSD
- PICT

La perte de diversité génétique



(Bickham et al. 2000)

- ❖ Une fois le stress levé, la diversité génétique n'est pas rétablie, même si l'effectif se reconstitue
- ❖ Un contaminant ayant un effet démographique négatif peut entraîner la population vers une situation où la dérive et la consanguinité gouvernent l'évolution génétique > risques d'extinction augmentés
- ❖ La baisse de diversité génétique dans les populations est généralement associée à une réduction de leur fitness, et de leur adaptabilité à la variation environnementale ultérieure

PICT (Pollution-Induced Community Tolerance)

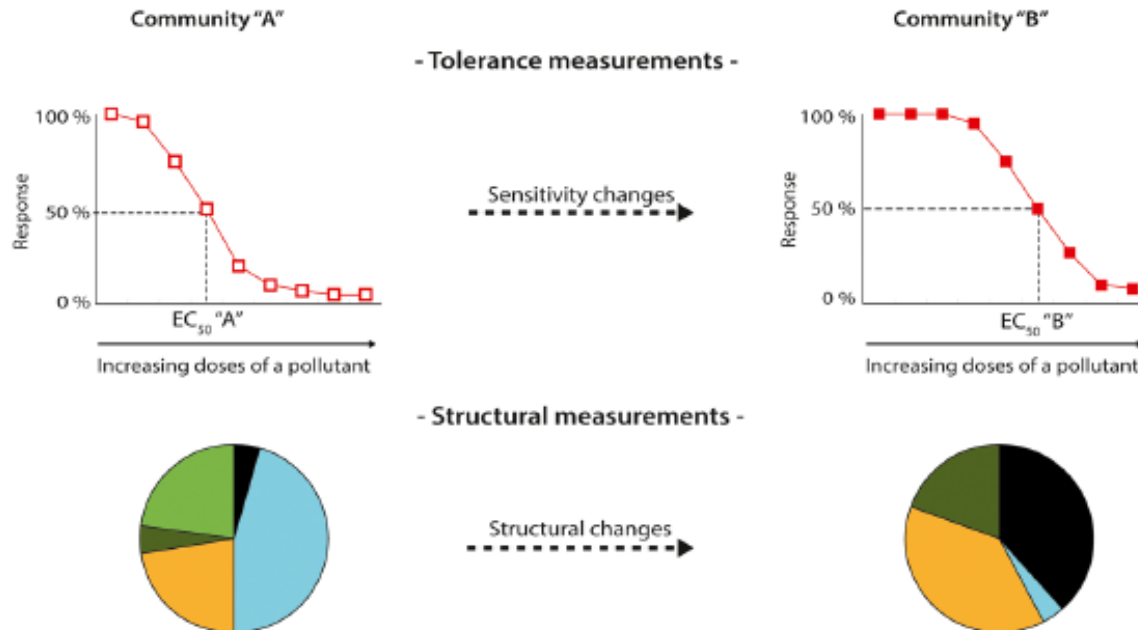


Objectif

Aborder l'évaluation du risque d'exposition toxique avec une plus grande pertinence écologique

Principe

Une communauté exposée de manière chronique à un toxique soupçonné, sera sélectionnée et s'adaptera à celui-ci, acquérant ainsi une tolérance accrue vis-à-vis de ce type de toxique



(Tili et al., 2016)

Encore plus d'écologie !

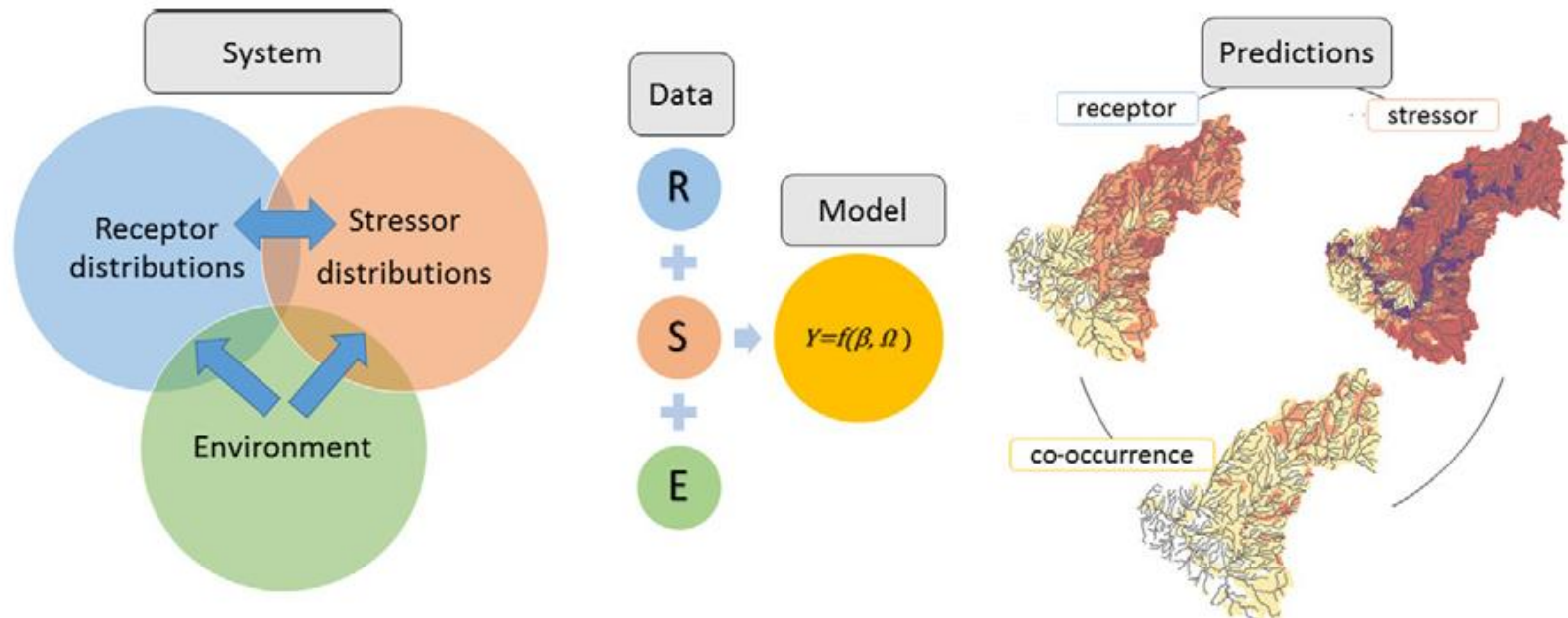


❖ Nouvelle technique d'analyse : Joint Species Distribution Modelling (JSDM)

Modéliser conjointement la distribution de plusieurs espèces et séparer l'effet de l'environnement de l'effet des interactions biotiques

Caractériser et analyser les expositions : relier sources de stressors et récepteurs écologiques, et leurs distributions spatio-temporelles

Cartes de risques environnementaux





- ❖ **Etudier les effets trans-générationnels résultant de l'exposition sur le long terme : génétique des populations x écotoxicologie**
- ❖ **Le contaminant est une force sélective à l'origine de changements évolutifs**
- ❖ **Epigénétique : hyperméthylation ou hypométhylation d'une portion de génome ou d'un locus spécifique > sous ou sur expression de la transcription par rapport aux conditions de base > empreintes spécifiques**

Utiliser les traits biologiques



- ❖ **La sensibilité toxique n'est pas la seule variable**

- ❖ **Certains traits expliquent**
 - **des différences d'exposition (alimentation, habitat, etc...)**
 - **une vulnérabilité particulière (métabolisme, régulation...)**
 - **un effet populationnel (histoire de vie, résilience...)**

- ❖ **Les traits des espèces se transposent au niveaux**
 - **des habitats**
 - **des chaînes trophiques**

Les traits fonctionnels







A database for soil invertebrate biological and ecological traits

- Presentation
- Data exploration map
- Data request
- Contribute data
- Tutorial
- T-SITA
- Trait information scanning
- Technical documentation
- Login



Photographs:
<http://www.elsevier.com/locate/S0167636911000000>
<http://www.elsevier.com/locate/S0167636911000000>
<http://www.elsevier.com/locate/S0167636911000000>
<http://www.elsevier.com/locate/S0167636911000000>
<http://www.elsevier.com/locate/S0167636911000000>

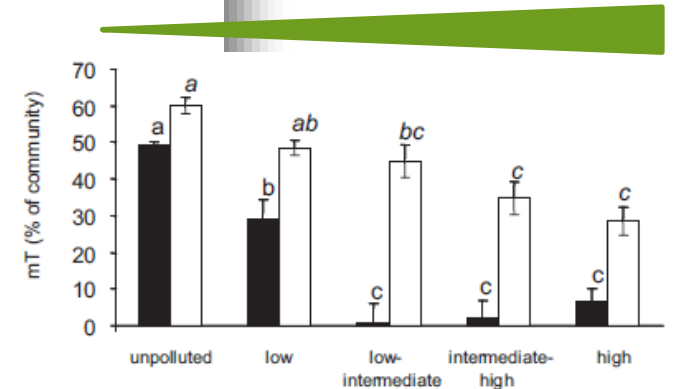


Fig. 2. Relationships (mean \pm SEM; $n = 4$) between mean proportion of soft-body (open bars) and geophages (black bars) individuals in macro-invertebrate community (mT) and soil contamination level in agricultural plots of the Pierrelaye wastewater irrigation area (France). For each data series, different letters indicated statistical differences ($p < 0.05$).

<http://betsi.cesab.org/>
 (Hedde et al., UR Pessac)

Exposition par ingestion > contact



Mais aussi...

Les micro et nanoplastiques dans les sols ?



Manufacture of macroplastics

Manufacture of synthetic textiles

Manufacture of microplastics

Science of the Total Environment 586 (2017) 127–141

Contents lists available at ScienceDirect

Science of the Total Environment

journal homepage: www.elsevier.com/locate/scitotenv



Wastewater treatment

Sludge application

Soil erosion and runoff

Deposition

Soil erosion and runoff

Sediment retention

Accumulation in soils

Direct input



frontiers
in Plant Science

OPINION
published: 18 October 2017
doi: 10.3389/fpls.2017.01805

Microplastic Incorporation into Soil in Agroecosystems

Matthias C. Rillig^{1,2*}, Rosolino Ingraffia³ and Anderson A. de Souza Machado^{1,2}

Des effets possibles sur *L. terrestris*



- ❖ Mésocosmes contenant de 0 à 1,2 % (p/p) de poudre de PE (< 400 µm) dans la litière déposée en surface
- ❖ Exposition de 14 et 60 jours
- ❖ A 60 jours :
 - mortalité ↗ à $\geq 0,4$ %
 - croissance ↘ à $\geq 0,4$ %
 - ingestion ↗ à $\geq 0,4$ %
 - nombre de galeries ↘ à = 0,4 %
 - pas d'effet sur la reproduction (production et biomasse des cocons)
 - pas d'effet sur le positionnement vertical des vers
- Effets possibles sur la décomposition de la matière organique et les cycles biogéochimiques
- Incorporation au sol et transfert possible dans les réseaux trophiques



Les impacts des changements globaux



- ❖ **Changement climatique (augmentation de T° et événements extrêmes)**
- **Evolution des milieux (sol...)**
- **Dynamique des contaminants : transferts, transformation, spéciation**
- **Phénologie des organismes, dynamique des populations et communautés**
- **Physiologie des organismes > effets**
- **Espèces en expansion ou invasives, parasitisme...**
- **Problématiques de stress-multiples, seuils critiques**



❖ Méthodes impliquant ECOSYS (ISO/TC 190/SC4 « Caractérisation biologique »)

- ISO 20130 (en cours). Soil quality - Measurement of enzyme activity patterns in soil samples using colorimetric substrates in micro-well plates
- ISO 23753-1 (en cours). Qualité du sol - Détermination de l'activité des déshydrogénases dans les sols. Partie 1: Méthode au chlorure de triphényltétrazolium (CTT)
- ISO 23753-2 (en cours). Qualité du sol - Détermination de l'activité des déshydrogénases dans les sols. Partie 2: Méthode au chlorure de iodotétrazolium (CIT)
- ISO 11268-3:2014. Soil quality - Effects of pollutants on earthworms - Part 3: Guidance on the determination of effects in field situations
- ISO 18311:2016. Qualité du sol - Méthode pour tester les effets des contaminants du sol sur l'activité alimentaire des organismes vivant dans le sol – test Bait-lamina

Normalisation ISO (2)



- ❖ **Des propositions de méthodes à faire dans le ISO/TC 190/SC 4**
 - **WG 2 : Effects on soil fauna**
 - **WG 3 : Effects on soil flora**
 - **WG 4 : Micro-organisms**
 - **WG 5 : Ecotoxicological aspects**

- ❖ **Le sol, parent pauvre...**

En conclusion



- ❖ **L'enjeu : l'évaluation des risques sur le long terme de la présence de mélanges de contaminants (organiques, métaux, biologiques) en faibles doses, dans un contexte de changements globaux**
- ❖ **De nouvelles approches sont développées**
- ❖ **Il faut le transposer du milieu aquatique au terrestre, et tester leur sensibilité**
- ❖ **Probablement de nouveaux partenariats à construire (UP-Say, CEA...)**
- ❖ **Des pistes d'évolution ?**





Merci pour votre attention !