

# LE PROJET GESIPOL DIVA

Vers une optimisation de l'approche TRIADE

Lilian MARCHAND (SUEZ) – Florence BAPTIST (Soltis)

02/04/2024



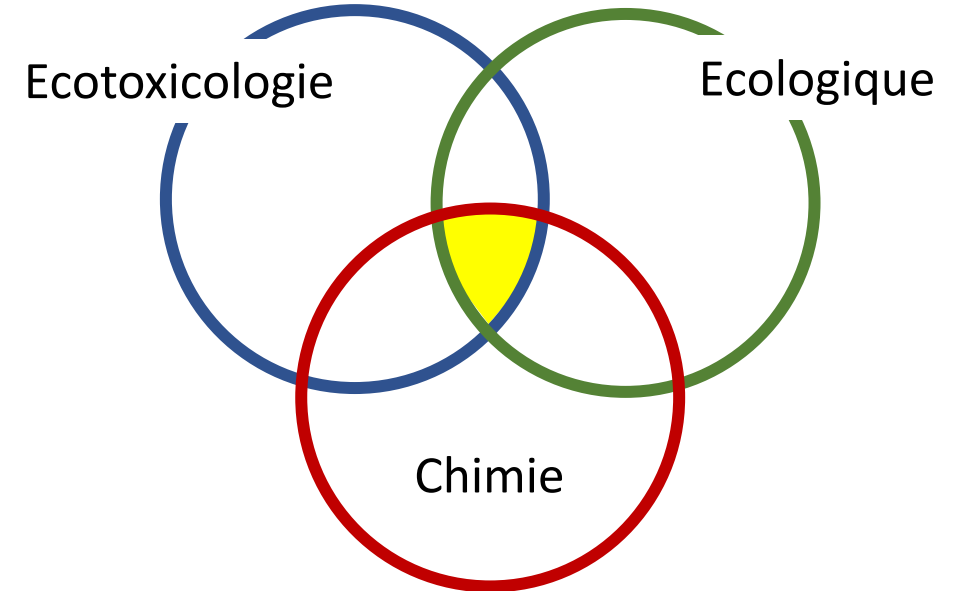


# L'approche TRIADE

## Norme ISO 19204, Triade

*International Standard ISO 19204 “Soil quality – Procedure for site specific ecological risk assessment of soil contamination (Soil quality TRIAD approach)”.*

- Renseigner l'état d'un sol par comparaison à un sol « de référence »
- Utiliser conjointement trois approches différentes d'analyse du risque



Adapté de Pucheux et al. Présentation Ademe.



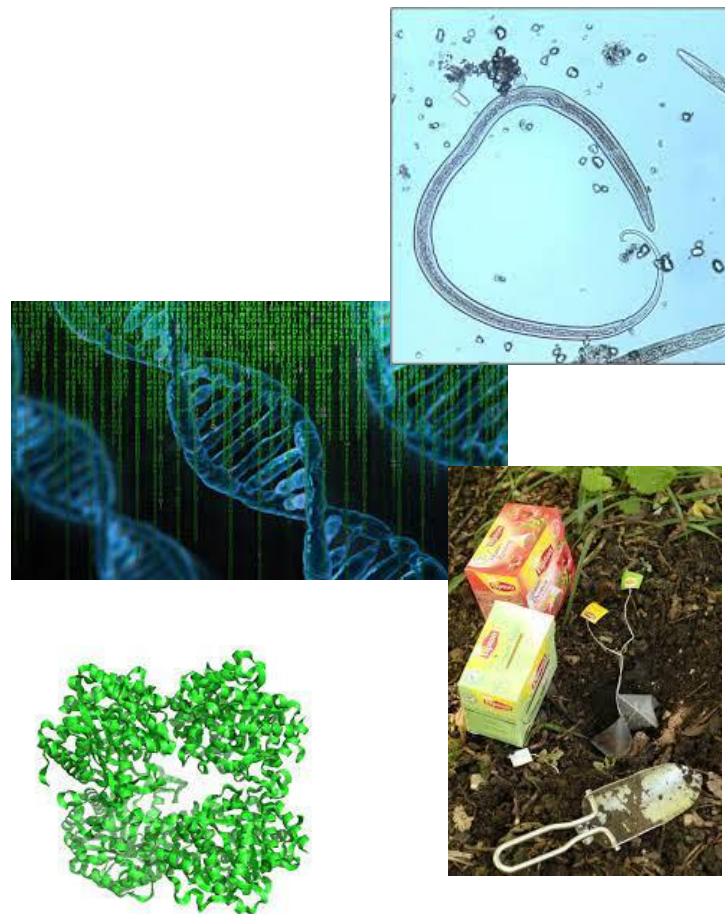
# Le projet DIVA (ADEME – GESIPOL, 2022-2025)

Q1 – peut-on alléger la méthode de calcul des indices fournis par la TRIADE ?

$$\begin{aligned} P(A|B) &= \frac{P(B|A)P(A)}{P(B)} \varphi = \frac{1+\sqrt{5}}{2} n! \sim \sqrt{2\pi n} \left(\frac{n}{e}\right)^n \\ \nabla &= \hat{x} \frac{\partial}{\partial x} + \hat{y} \frac{\partial}{\partial y} + \hat{z} \frac{\partial}{\partial z} \det(A) = \sum_{\sigma \in S_n} \varepsilon(\sigma) \prod_{i=1}^n a_{\sigma(i),i} \\ \sum_{k=0}^n k &= \frac{n(n+1)}{2} B > \frac{1}{T} \int_0^T f(x) dx \quad e^x = \lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{x}{n}\right)^n \\ e^x &= \sum_{n=0}^{\infty} \frac{x^n}{n!} P(A) = \frac{\text{Card}(A)}{\text{Card}(\Omega)} \sum_{n=0}^{\infty} n = -\frac{1}{12} \\ A &= PDP^{-1} \left(\frac{1}{2}\right)! = \frac{\sqrt{\pi}}{2} \frac{n!}{\binom{n}{k}} = \frac{n!}{k!(n-k)!} \\ \int_a^b f(x) dx &= \lim_{n \rightarrow +\infty} \frac{(b-a)}{n} \sum_{k=1}^n f\left(a + k \frac{(b-a)}{n}\right) \\ f'(a) &= \lim_{h \rightarrow 0} \frac{f(a+h) - f(a)}{h} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-x^2} dx = \sqrt{\pi} \\ f(x) &= \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} F(s) = \int_0^{\infty} f(t) e^{-st} dt \\ \hat{f}(\xi) &= \int_{-\infty}^{\infty} f(x) e^{-2\pi i x \xi} dx \quad \iiint_V (\nabla \cdot \mathbf{F}) dV = \oint_S \mathbf{F} \cdot d\mathbf{S} \quad \zeta(s) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^s} \end{aligned}$$



Q2 – Comment consolider le volet écologique dans l'approche TRIADE ?





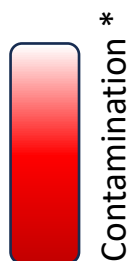
# Les trois plateformes DIVA

Bordeaux

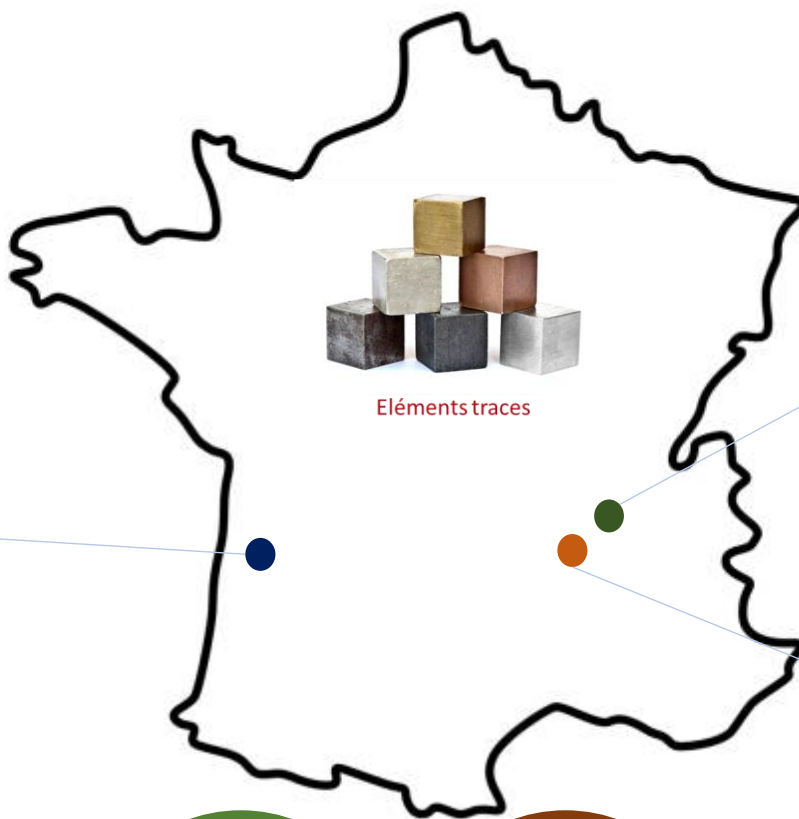
Site BORIFER

Ancien site industriel  
non réhabilité

Parcelles DIVA créées  
en 2022



Contamination \*



Eléments traces

Pierre Bénite

Vallée de la chimie

Plateforme de revalorisation de  
sols urbains

Parcelle AGREGE créée en 2018



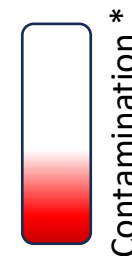
Contamination \*

Saint Chamond

Site NOVASCIERIES

Plateforme de revalorisation de  
sols urbains

Parcelle AGREGE créée en 2018



Contamination \*

Analyses  
chimiques

Analyses  
écotox

Analyses  
écologiques

Analyses  
agro-pédo

3 ans

\* Sur la base des concentrations totales en éléments traces

# Détail des indicateurs du projet DIVA

	Indicateurs
Chimie	Concentrations totales (ET)
	Concentrations totales (HAP)
	Concentrations totales (PCB)
	Extraction Cacl2 (ET)
	Indice PhytoAc/CMT
	ionome foliaire 2 sp (ET)
	Indices GSET & GERITOX (ex situ)*
Ecotox	Test émergence racinaire 7j 2 espèces
	Test croissance 28j 2 espèces
	Test ecotox nématodes
Ecologie	Couverture végétale (recouvrement)
	Couverture végétale (richesse)
	Litter bags
	qPCR biomasse microbienne (16S +18S)
	Activité enzymatique (5 enzymes)
	μrespiration
	Richesse et diversité Bactéries (ADNe)
	Richesse et diversité Champignons (ADNe)
	Richesse et diversité acariens (ADNe)
	Richesse et diversité collemboles (ADNe)
	Richesse et diversité nématodes (ADNe)
	Richesse et diversité autre mésofaune (ADNe)
	Test fonctionnalité nématodes
complément Agro/pédo	Marqueurs ADNe du cycle du carbone et de l'azote (diversité des gènes fonctionnels)
	Pack agro (C/N, texture, pH, teneur en carbone et azote total, teneur en MO, P2O5 olsen, CEC, CaCO2)
	Rockeval (teneur en C orga et minéral)
	Fractionnement MO
	Biomasse microbienne (fumigation/extraction)
	Description fossé pédologique
	Densité apparente
	Mesure de la perméabilité à deux profondeur (porcher)
	RH (pF 2.5 . pF 4.2)



# DIVA – Vers une démarche TRIADE allégée ?

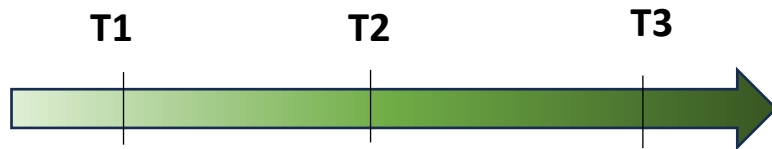
## Notes TRIADE

*Jensen & Mesman (2006)*

*Pucheux et al. (2017)*

*Norme ISO 19204*

- **Démarche itérative à 3 niveaux (Tiers)**



- *Robustesse de l'information*
- *Cout analytique*
- *Complexité d'interprétation*

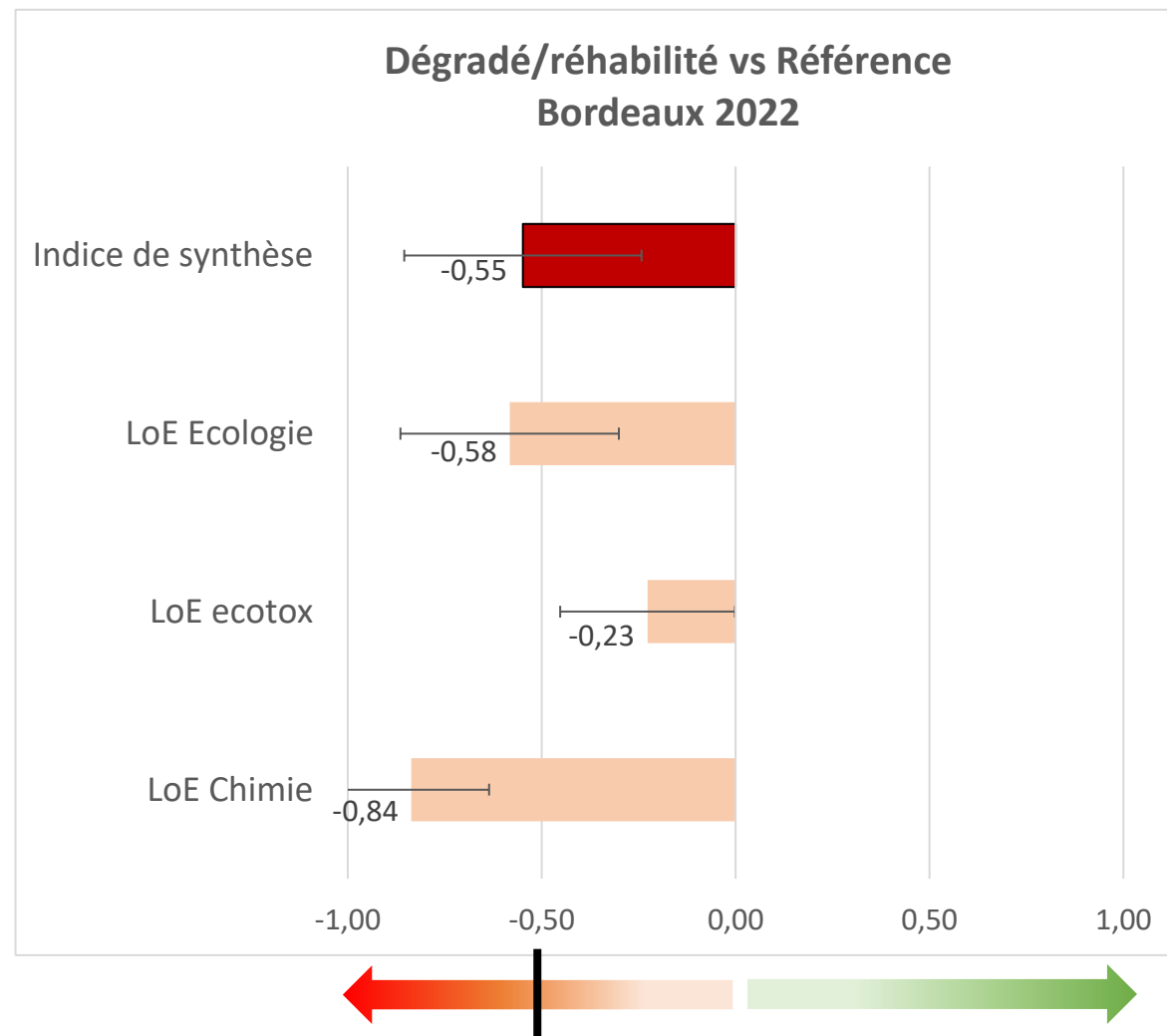
- **Plusieurs équations (imbriquées)** interviennent dans le calcul
- **Risques de biais de calcul** (identifiés dans le projet DIVA)

## Notes TRIADE-DIVA

- **Démarche en 1 étape** (*mais pouvant aussi être réalisée de manière itérative selon le souhait de l'opérateur*)
- **1 seule équation pour l'ensemble du calcul**
- **Elimination des biais de calcul** (*à confirmer*)



# Exemple de rendu TRIADE-DIVA



Site de référence



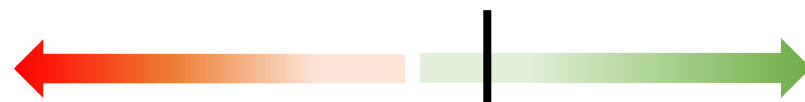
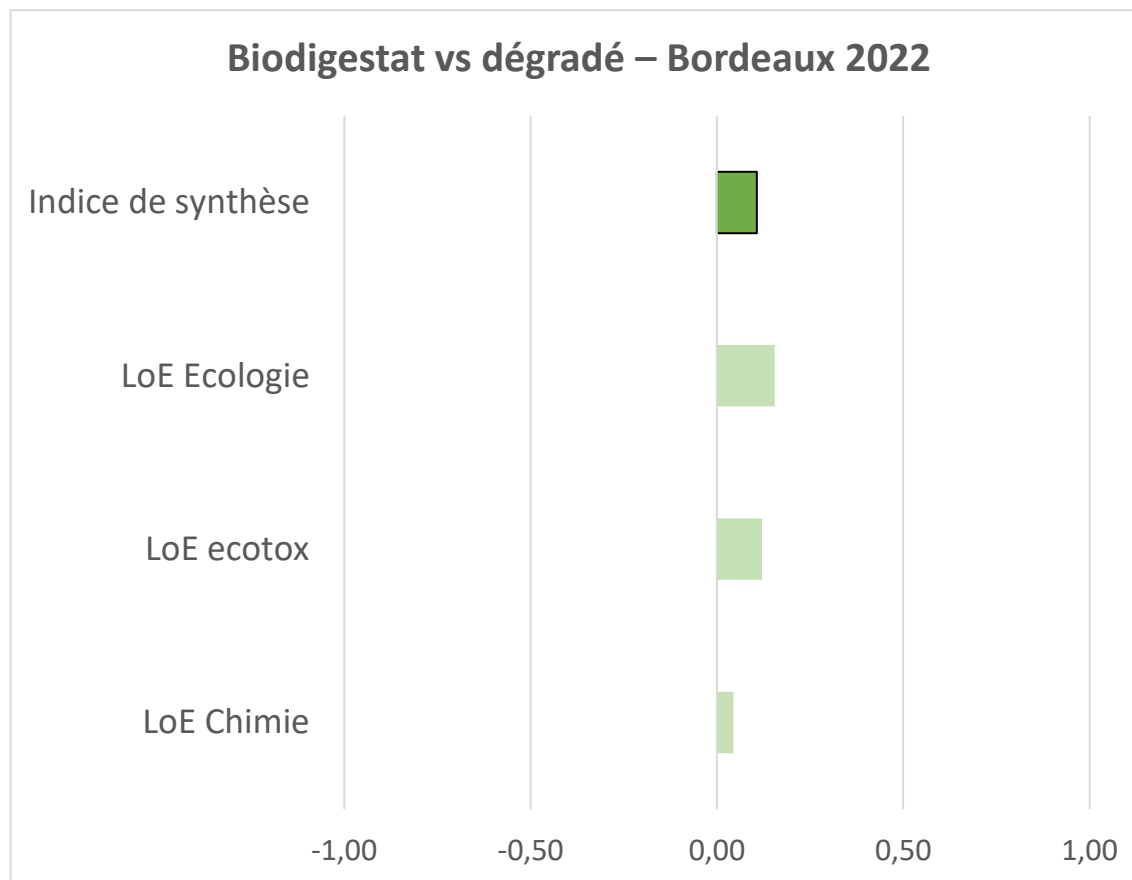
**Traduit ce qui reste à réhabiliter pour revenir au niveau de l'état de référence**

Site dégradé (réhabilité)





# Exemple de rendu TRIADE-DIVA



Site dégradé



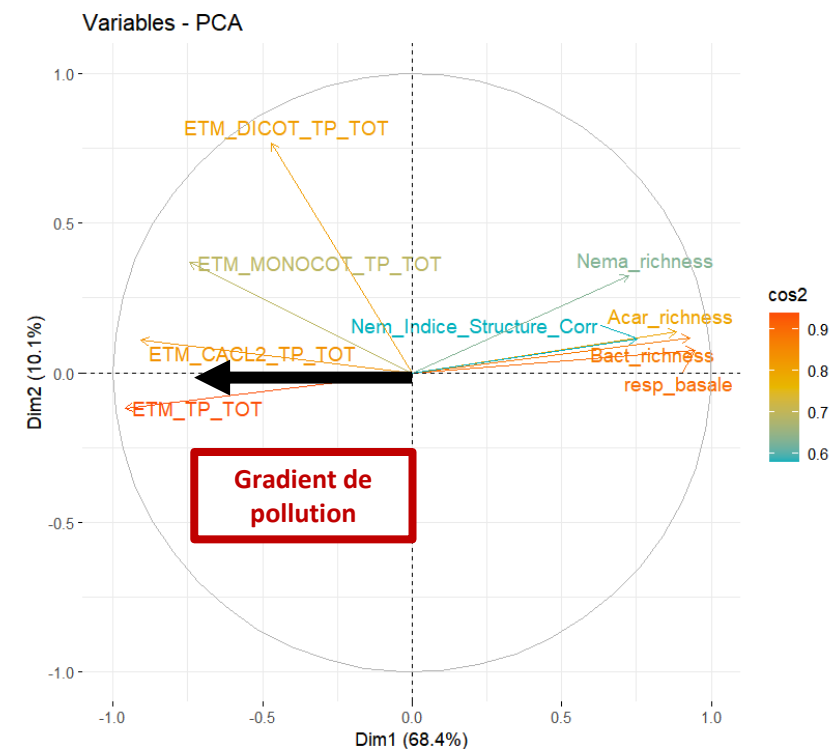
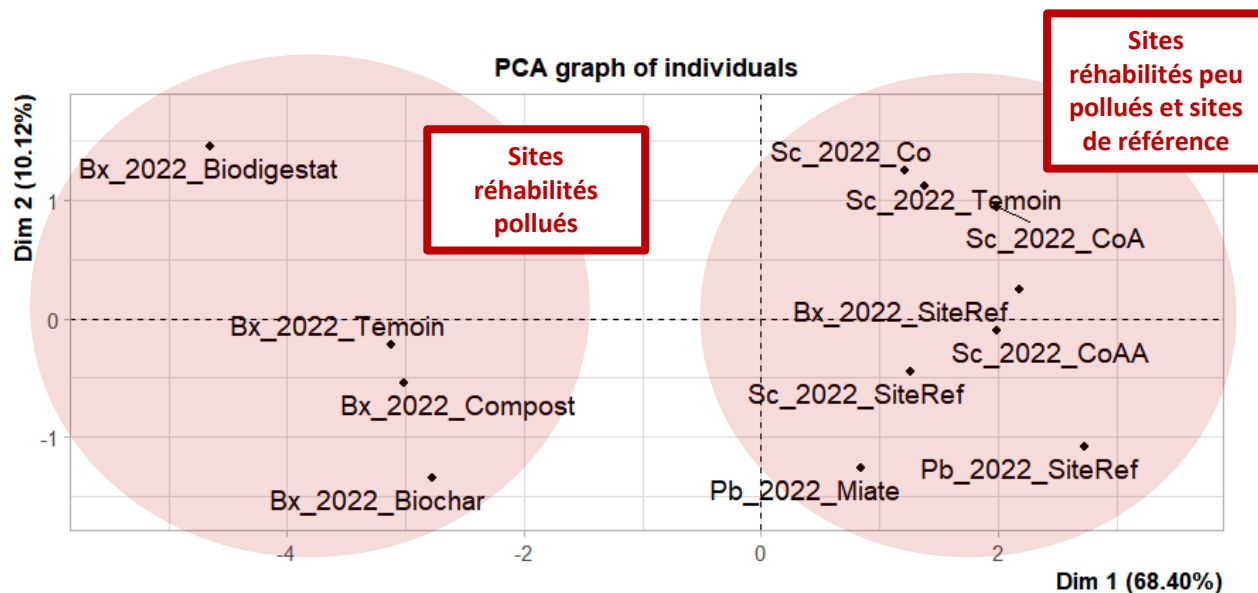
Traduit ce qui a été gagné/perdu par l'option de réhabilitation par comparaison à l'état dégradé

Site dégradé (réhabilité)



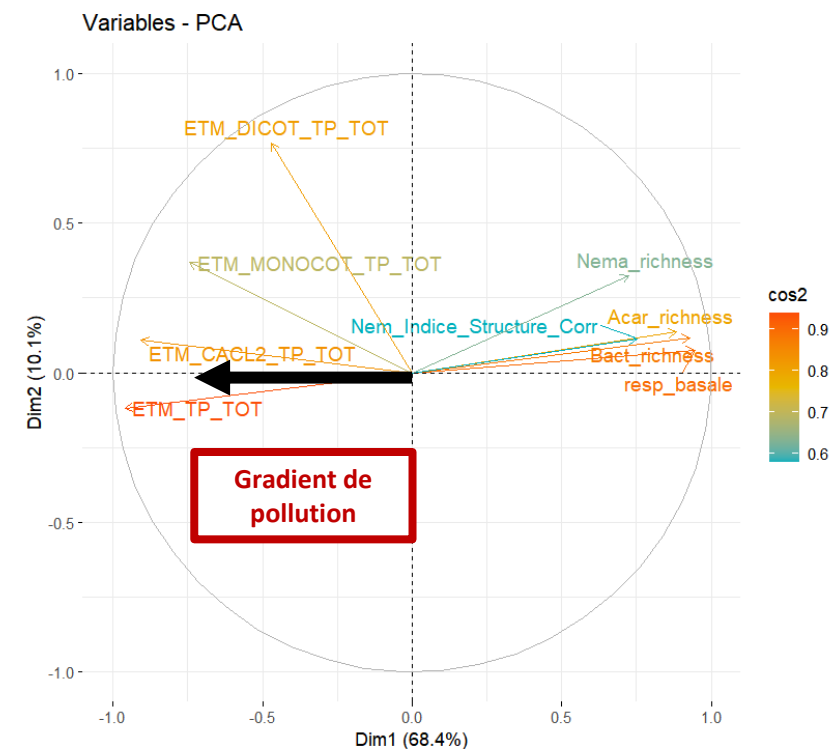
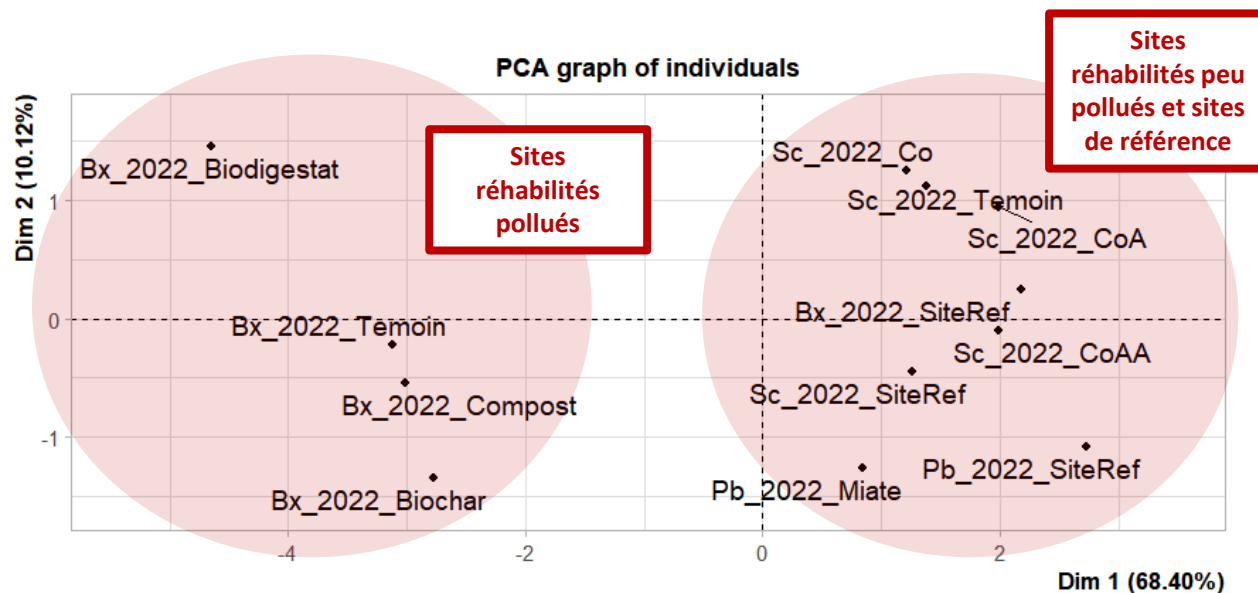
# DIVA : la consolidation du volet écologique

→ Comment construire le volet écologique de manière à ce qu'il témoigne du risque lié à la contamination ?



# DIVA : la consolidation du volet écologique

→ Comment construire le volet écologique de manière à ce qu'il témoigne du risque lié à la contamination ?

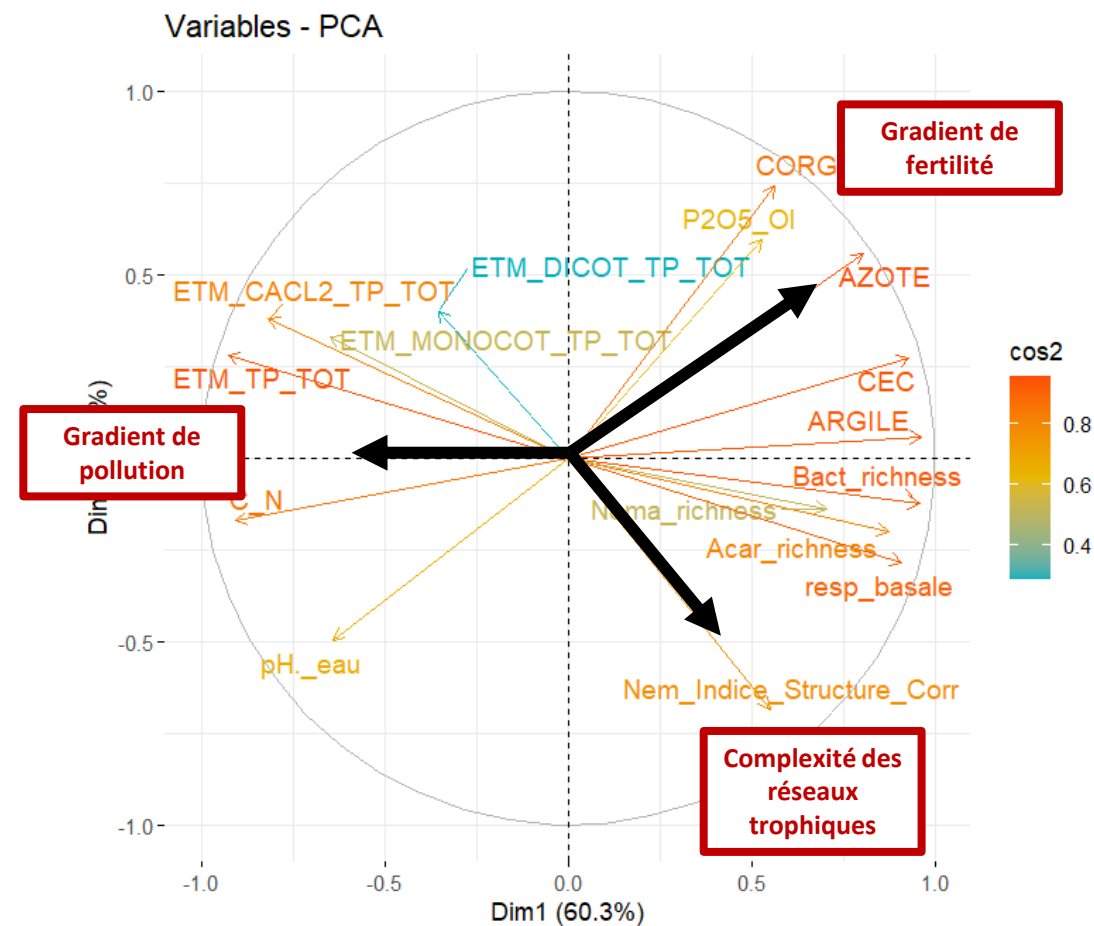
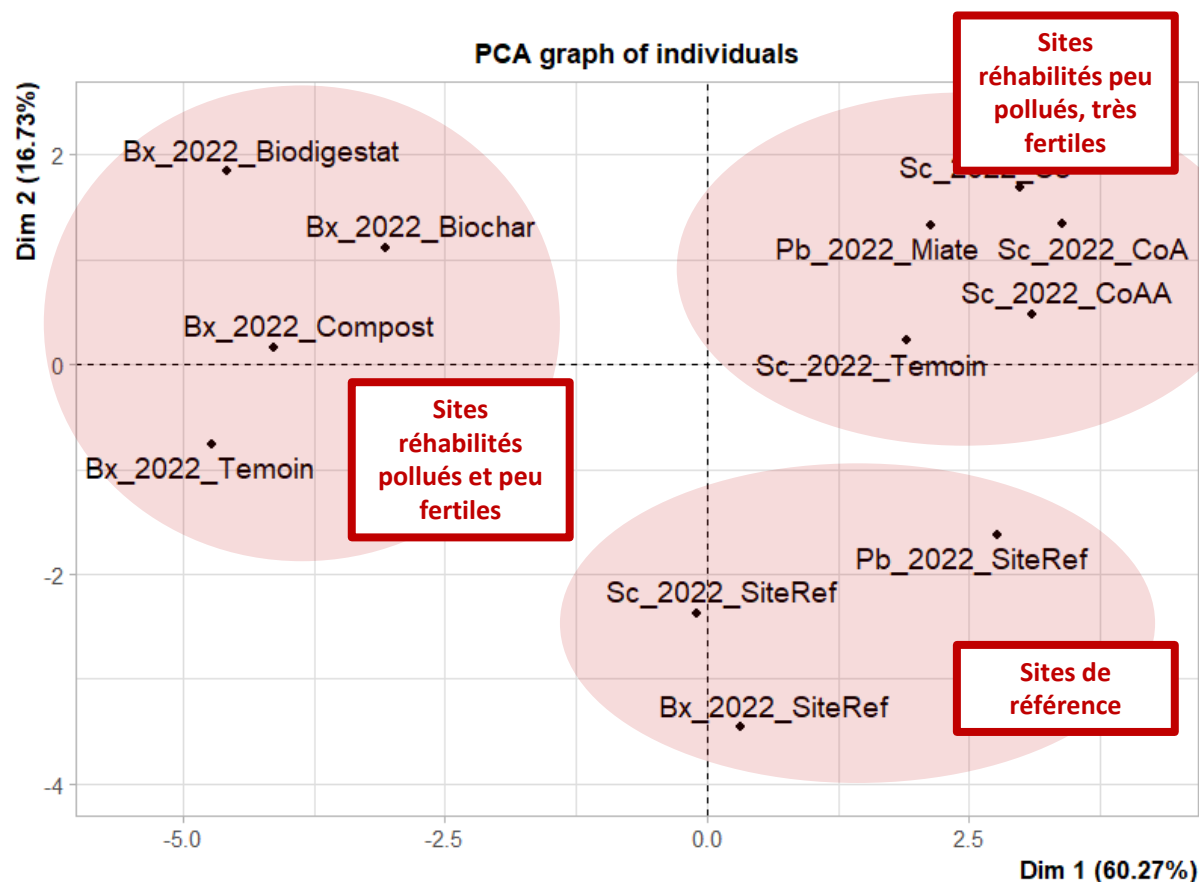


La fonctionnalité d'un écosystème :

- Un sol « très fonctionnel » «ou » très diversifié » peut présenter des teneurs modérées en contaminants
- Un sol « peu fonctionnel » ou « peu diversifié » peut être exempt de contamination



# ..par un diagnostic agro-pédologique



→ Seul un diagnostic agro-pédologique complémentaire à l'analyse de la contamination permet de décorréler les facteurs explicatifs



# DIVA : le test de différents indicateurs

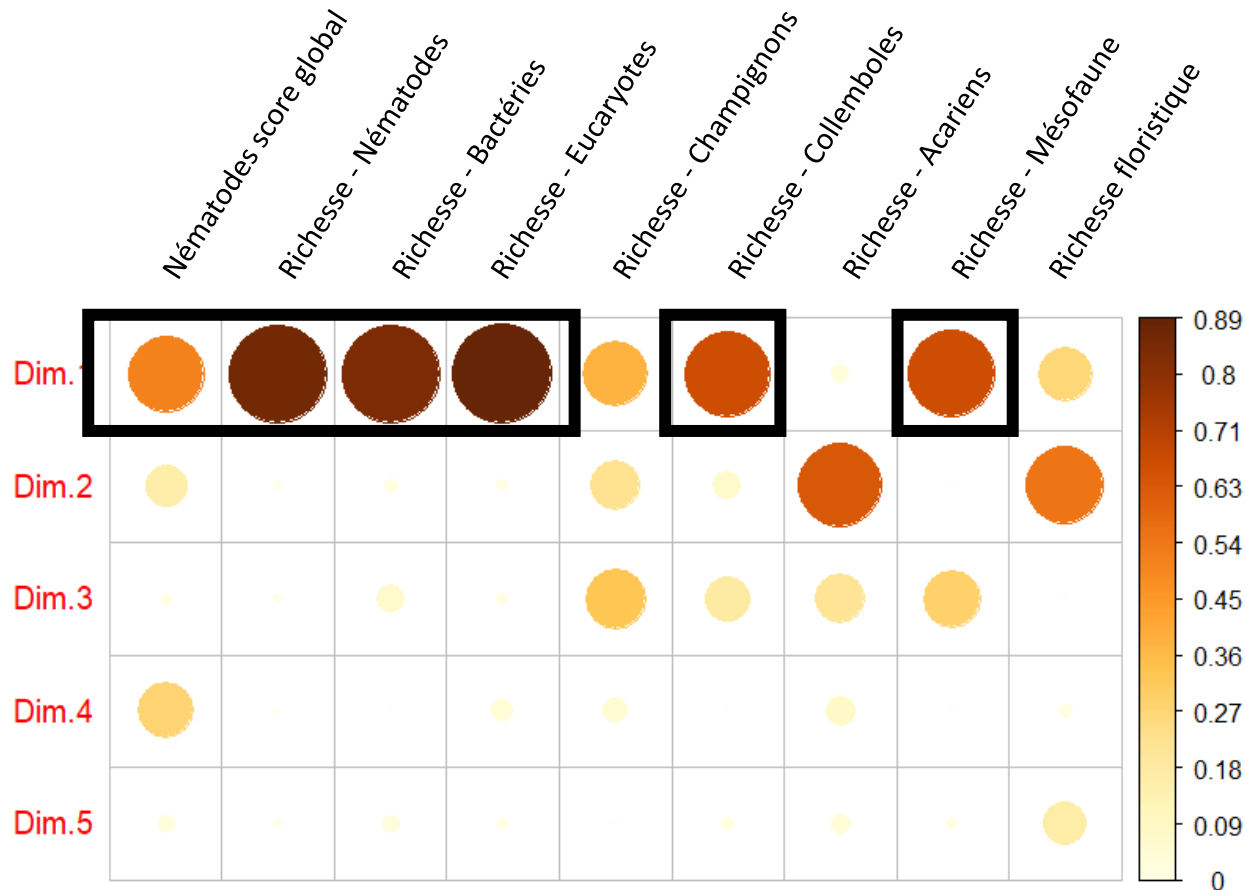
- Le choix des indicateurs est crucial pour des raisons technico-économiques

→ **Quel indicateur choisir pour témoigner de la refonctionnalisation des sols et du retour du vivant ?**



# ...Pour témoigner du retour du vivant

## Exemple de la richesse des communautés végétales et sol



### Fortes corrélations entre :

- Nématodes
- Bactéries
- Eucaryotes
- Champignons
- Collemboles
- Mésofaune

→ Différents indicateurs témoignent du retour du vivant dans les sols

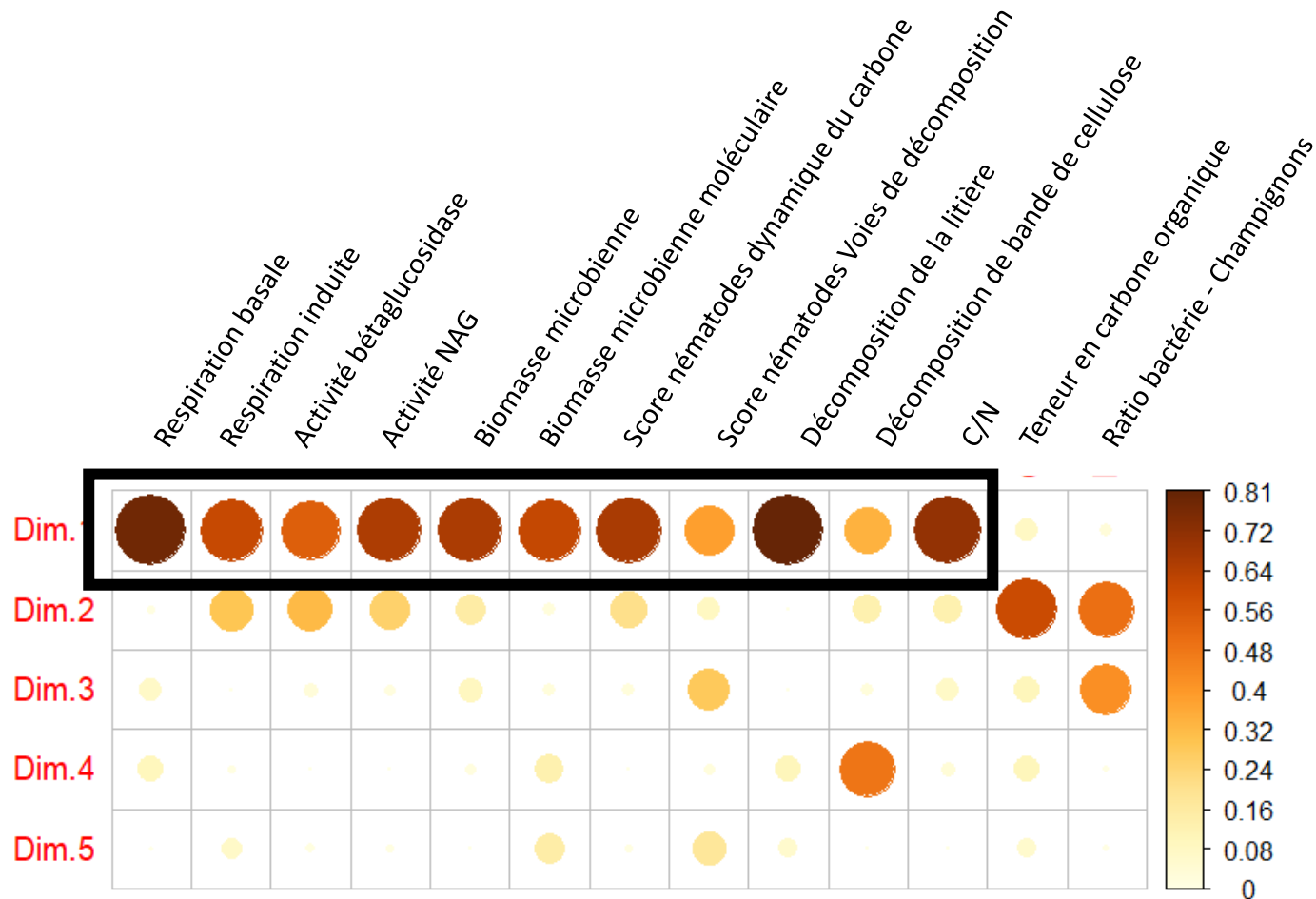
→ La diversité floristique doit être traitée de manière complémentaire

→ Acariens : résultats à approfondir



# Et de la refonctionnalisation des sols

## Exemple du recyclage de la matière organique



### Fortes corrélations entre :

- Mesures de la respiration
- Activités enzymatiques
- Biomasse microbienne
- Décomposition de la litière
- Indicateurs nématodes
- C/N

→ Différents indicateurs témoignent de la refonctionnalisation des sols



# Conclusion et perspectives

- L'approche TRIADE est complexe à mettre en œuvre et ne renseigne que l'intensité de l'impact qu'il soit positif ou négatif
- L'approche DIVA-TRIADE est beaucoup plus simple à appliquer et ne présente pas de biais
- Un volet agro-pédologique est essentiel pour distinguer les effets liés à la pollution des effets liés aux paramètres agro-pédologiques du sol
- Les indicateurs écologiques sont cohérents laissant un large choix aux opérateurs en fonction des enjeux du site
- Nécessité d'identifier des indicateurs témoignant de la résilience des sols
  - Résultats en attente relatifs à la diversité fonctionnelle

Vers l'inclusion d'un volet agro-pédologique ?

