



COLLÈGE  
DE FRANCE  
— 1530 —

## La restauration écologique des sols pollués et dégradés : des capacités d'adaptation des plantes très inspirantes



AVENIR COMMUN  
— DURABLE —  
ÉNERGIE / ENVIRONNEMENT / SOCIÉTÉ

Cours du 5 mai 2026

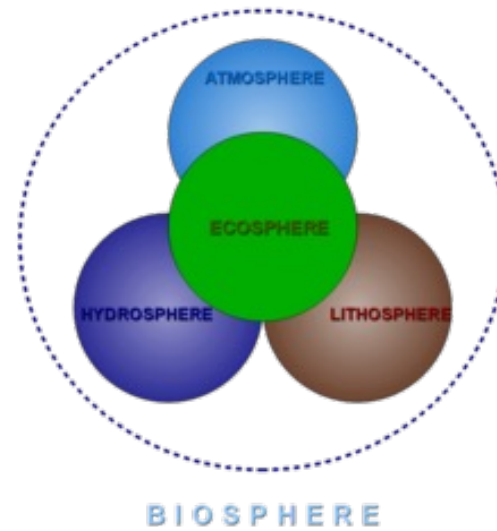
Pr. Claude Grison



# Approche géologique et pédologique



Une formation une formation superficielle issue de l'altération des roches





## Approche chimique

un système complexe multiphasique



adsorption/désorption,  
complexation,  
oxydoréduction,  
transformations de la matière organique et minérale

un réacteur chimique naturel où se produisent des transformations et des échanges de matière et d'énergie contrôlant la disponibilité des nutriments et le devenir des polluants

# Approche agronomique



le sol est envisagé comme un support de production végétale

👉 fertilité (chimique, physique et biologique)

👉 structure (porosité, texture)

👉 gestion (travail du sol, amendements, rotations)

# Approche biologique et écologique

le sol, un écosystème peu visible mais vivant



Creative Commons CC0 1.0

👉 un milieu dynamique peuplé d'une immense diversité d'organismes (bactéries, champignons, invertébrés) en interaction qui recyclent la matière organique, la fertilité et la régulation des cycles biogéochimiques.



«Un sol vivant est la condition de la vie sur Terre. »

C. Bourguignon 

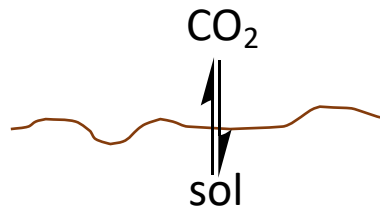
# Approche transversale

👉 le sol est à la fois support, réacteur et un écosystème vivant qui conditionne des enjeux majeurs comme la sécurité alimentaire, le climat et la biodiversité.



95 % de la production alimentaire mondiale dépend directement du sol

les sols peuvent **séquestrer de l'ordre de 2 à 5 milliards de tonnes de CO<sub>2</sub> par an**



Un système dynamique



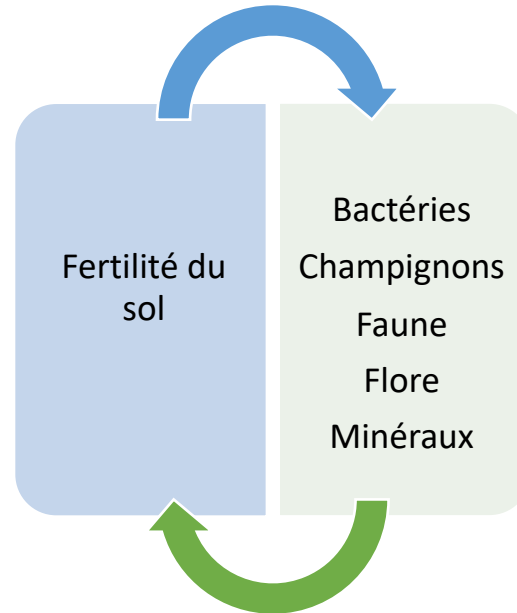
le sol **peut relarguer du CO<sub>2</sub>** si on le perturbe (pratiques agricoles, artificialisation, perte de matière organique).



Selon Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture :

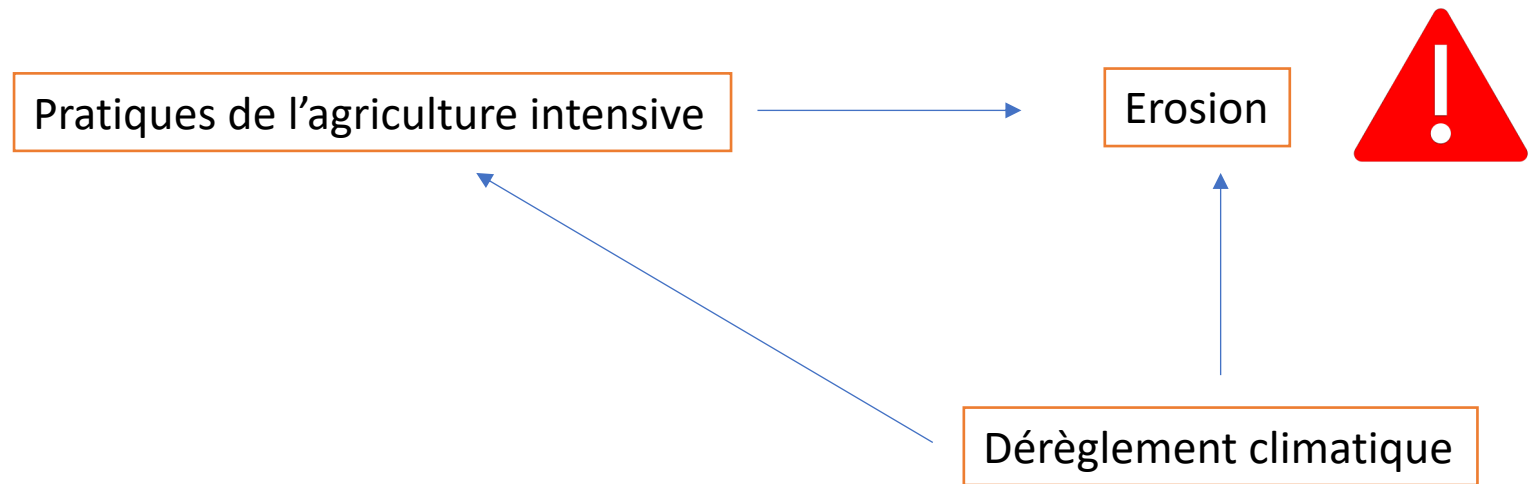
Environ **33 % des sols mondiaux sont dégradés**

👉 La perte de fertilité affecte déjà les rendements et la qualité nutritionnelle

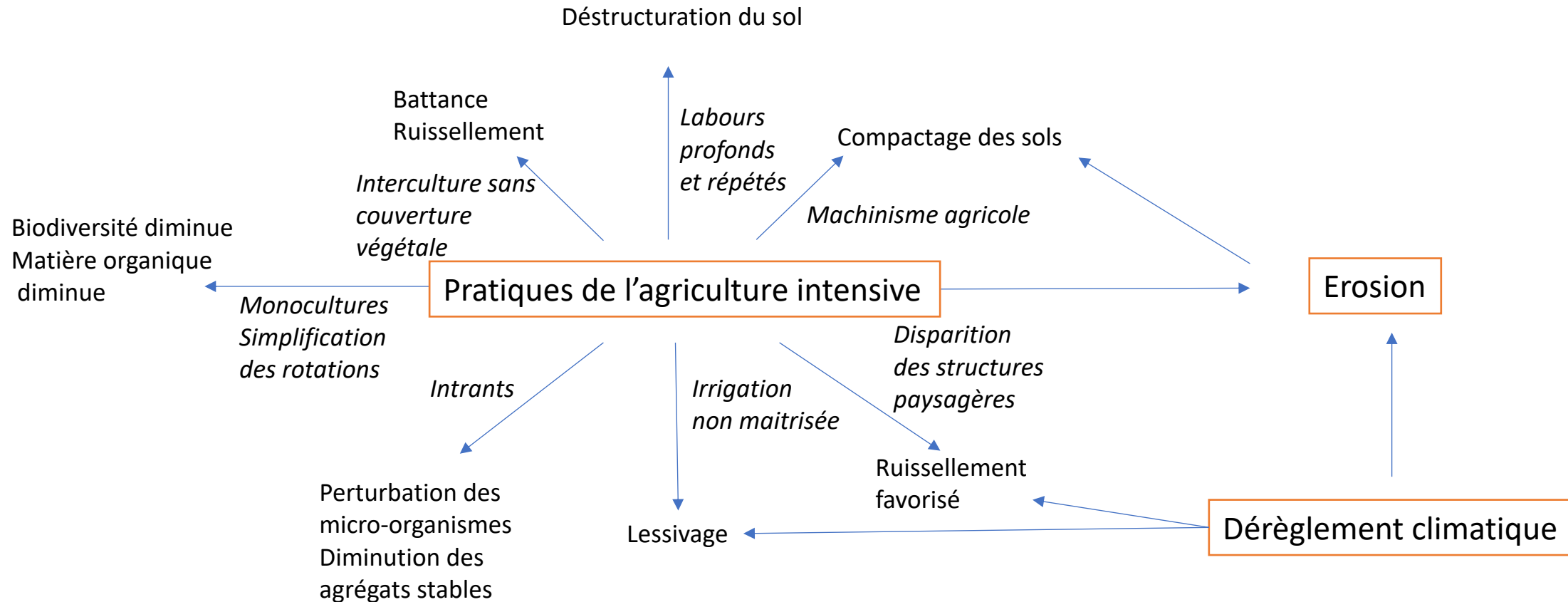




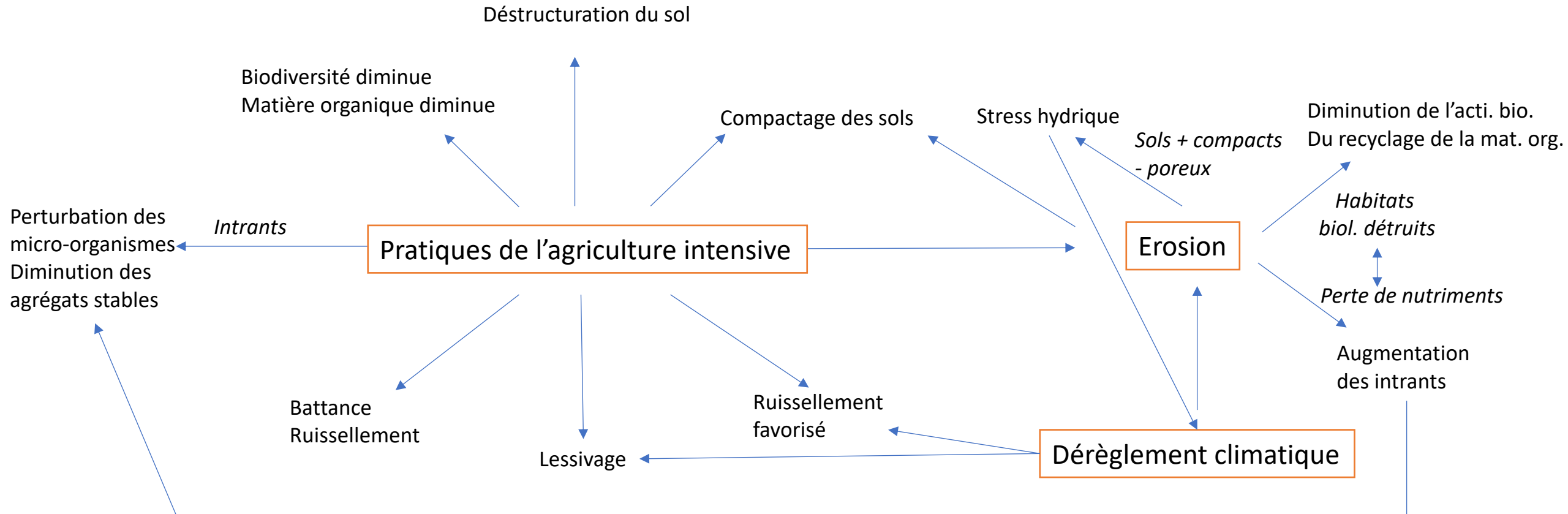
## Entre érosion et dérèglement climatique



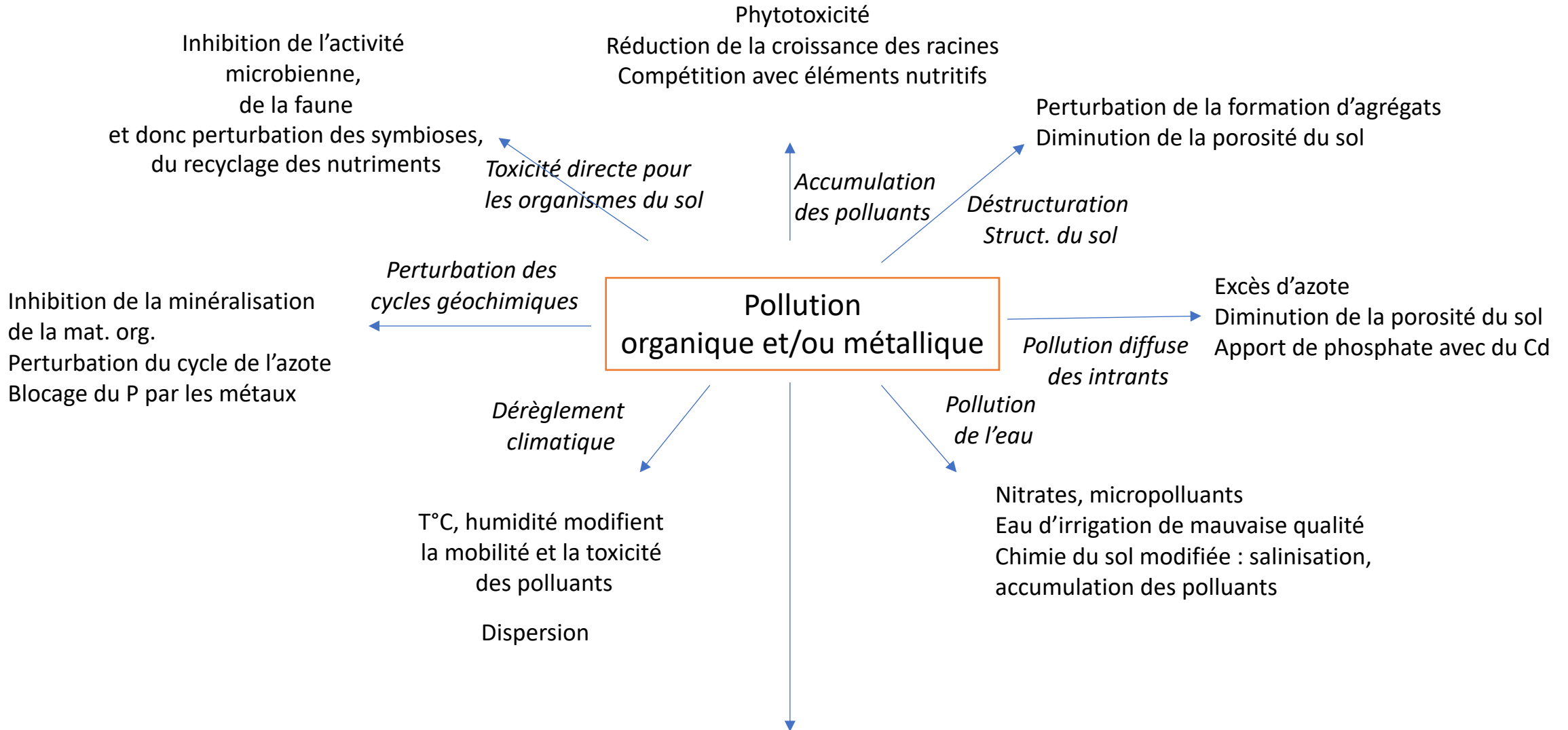
# Entre érosion et dérèglement climatique

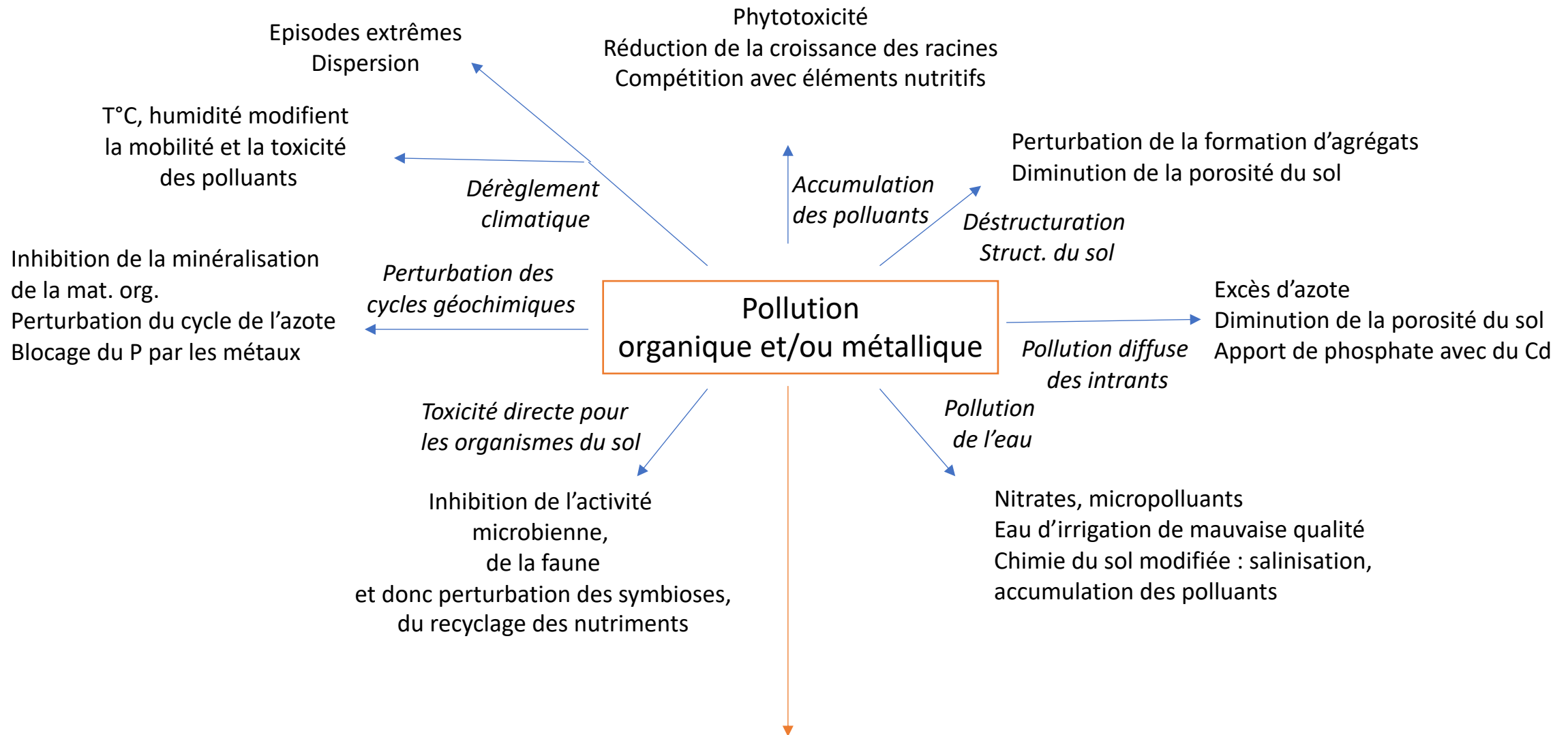


# Entre érosion et dérèglement climatique



À l'inverse, certaines pratiques permettent de limiter fortement l'érosion : agriculture de conservation (non-labour, couvert végétal), diversification des cultures, maintien des haies et infrastructures écologiques.





1/ La dégradation biologique des sols compromet directement notre sécurité alimentaire



2/ **Restaurer les sols est une condition essentielle pour maintenir les apports alimentaires**

# Comment relever un tel défi ?



Développer de solutions fondées sur la nature (NbS)



durabilité



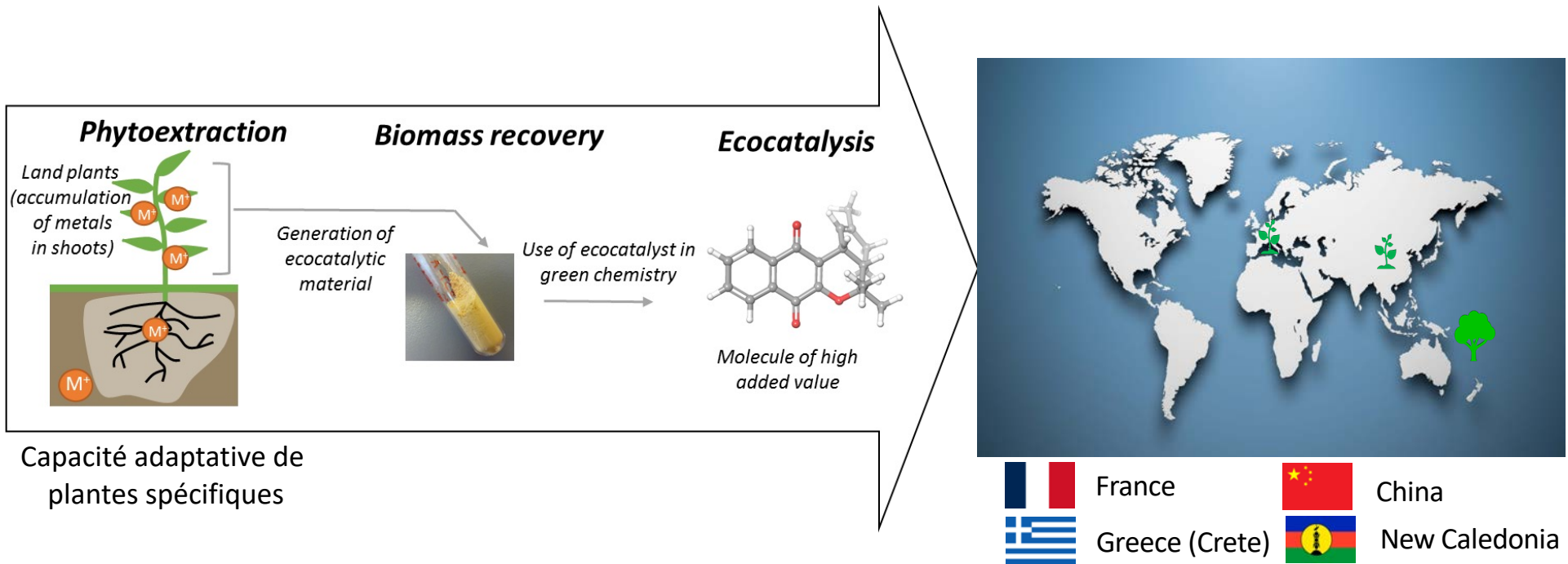
Rendre ces solutions économiquement viables



## S'adapter ou disparaître



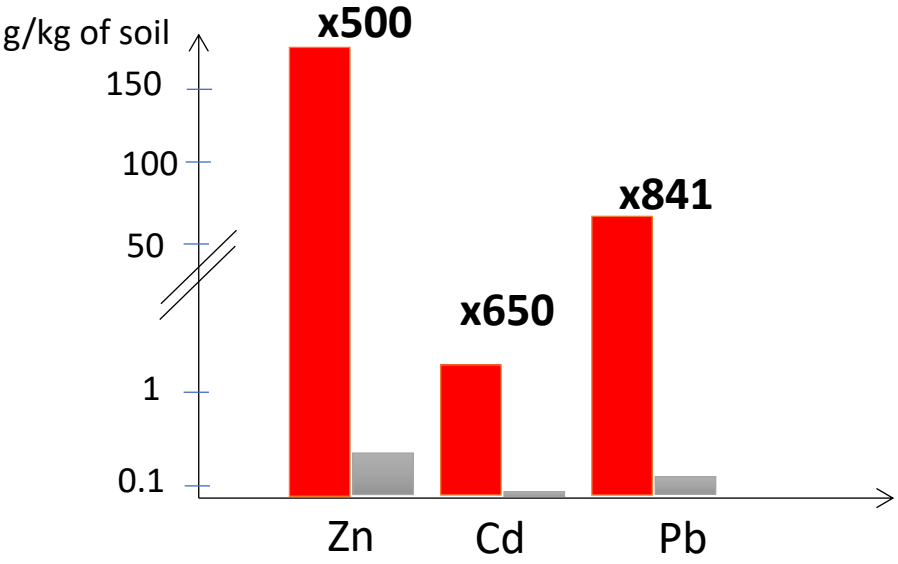
# Un programme de restauration écologique démontré à grande échelle et au niveau international



# Site hautement contaminé (Gard): la réponse de la nature



# Site hautement contaminé (Gard): la réponse de la nature



- Means of the settling basins  
- European standard of pollution

Quels sont les objectifs des phytotechnologies  
dans une telle situation ?



# Site hautement contaminé (Gard): la réponse de la nature

## Faible biodiversité\*

- Plantes résistantes à la pollution
- Plantes hyperaccumulatrices de métaux



*Noccea caerulescens*



*Anthyllis vulneraria\*\**

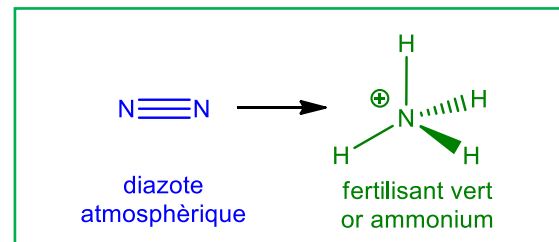
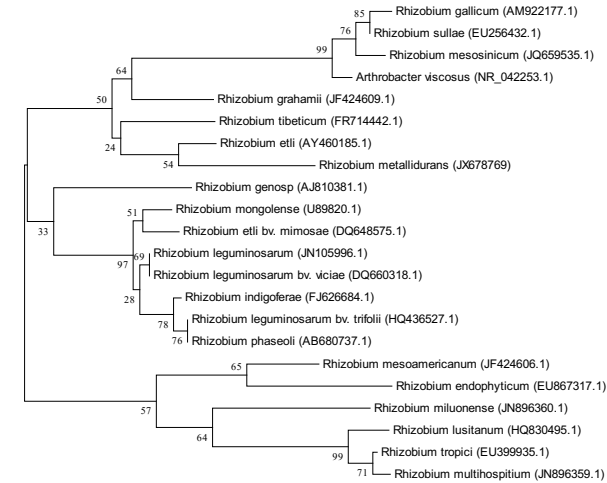
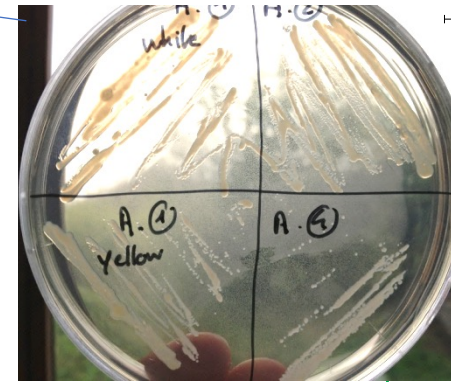


*Iberis intermedia*

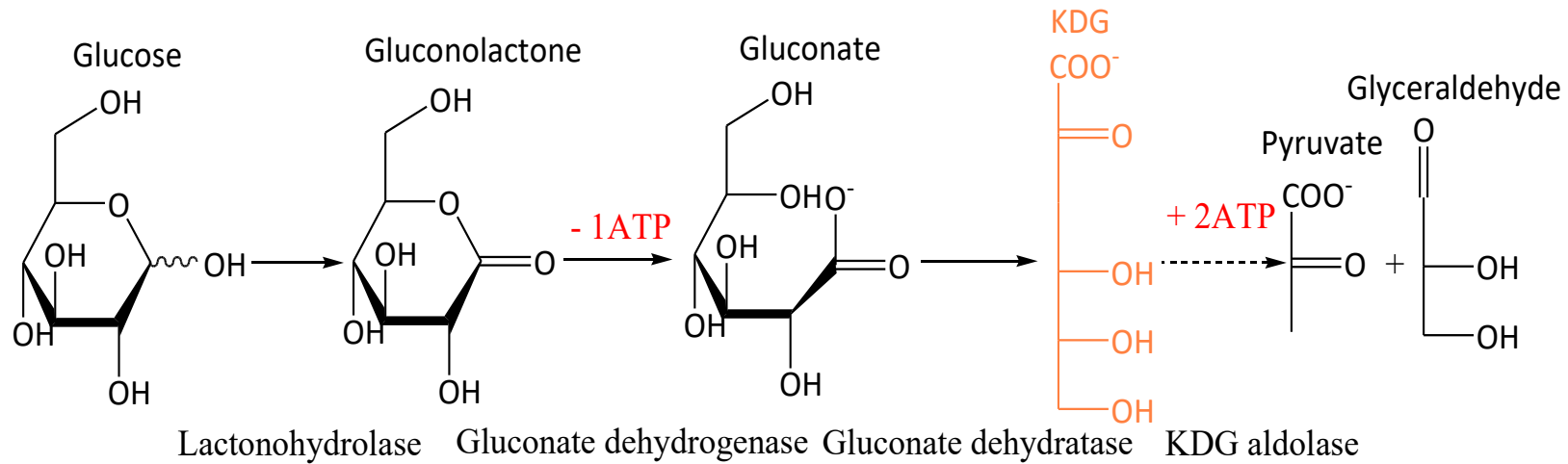
Un programme de  
phytoextraction

# Une étude des microorganismes associés optimisant les cultures en phytoextraction

- Isolement et étude génotypique, phénotypique et métabolique d'une **nouvelle espèce** de rhizobium



# Une des rares légumineuses hyperaccumulatrices, *Anthyllis vulneraria*



► Synthèse totale du KDG et étude de sa métabolisation

# Une preuve de concept à grande échelle sur un site hautement contaminé



Gard



- Sol phytotoxique



- 5 000 m<sup>2</sup> de cultures mixtes
- 36,000 plants de *N.caerulescens*
- 11,000 plants de *A.vulneraria*



# Nouvelle-Calédonie : Situations de contrastes

- Point chaud de la biodiversité
- (88% d'espèces endémiques)
- Lagon calédonien classé au patrimoine mondial de l'Unesco
- Impacts environnementaux : perte de biodiversité, érosion etc.  
>23 000 ha de surfaces dégradées



## Exploitation minière au Nord de la Nouvelle-Calédonie

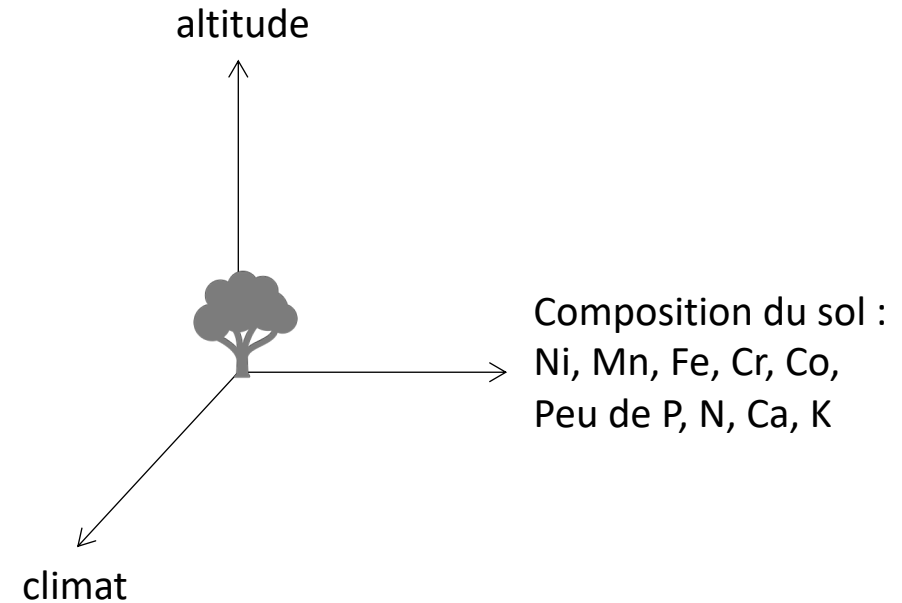
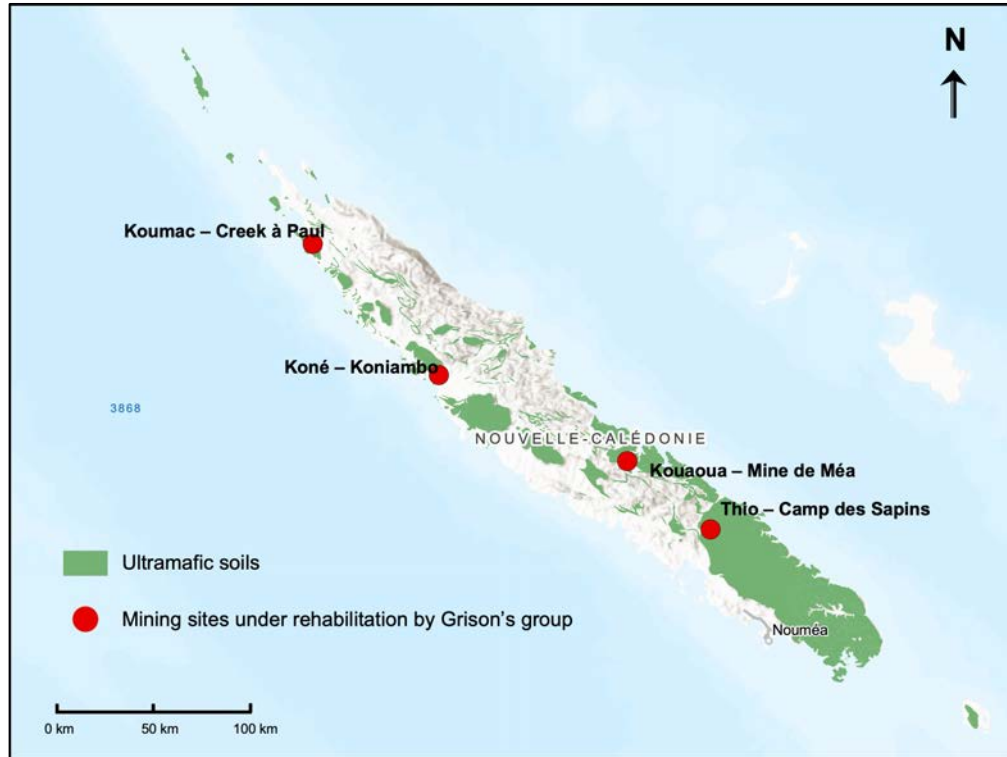


Impacts environnementaux : perte de biodiversité, érosion etc. > 23 000 ha de surfaces dégradées



# 6 ha de restauration écologique basée sur l'utilisation d'espèces endémiques :

## Une expérience unique – Un suivi écologique de longue durée

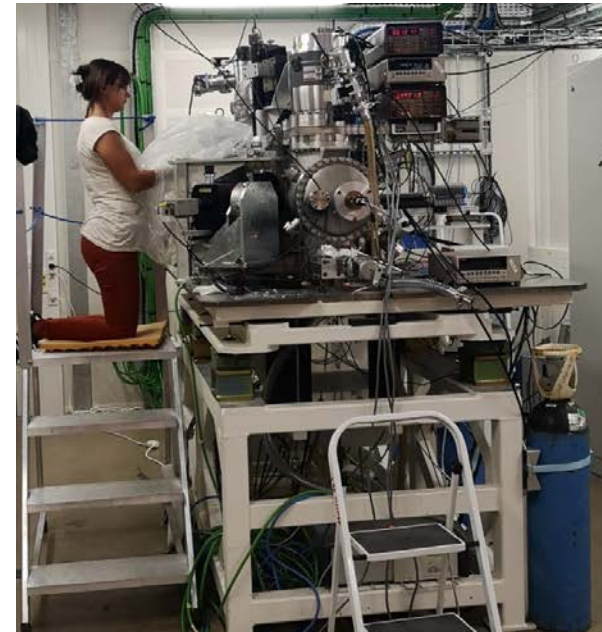


1. Développement d'espèces pionnières
2. Installation de légumineuses adaptées
3. Augmentation de la biodiversité

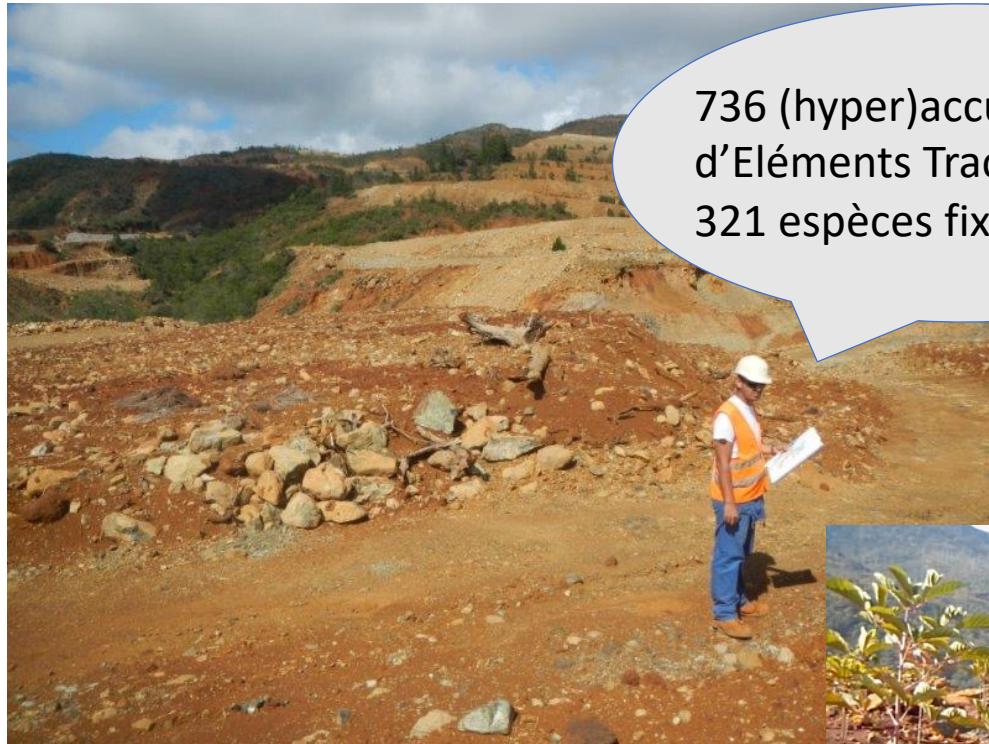


# Préparation des expériences de restauration écologique

De l'inventaire botanique à une connaissance approfondie  
des espèces endémiques proches du site



Expériences de restauration écologique  
L'exemple de Kouaoua (3 ha)  
**10 ans après**



736 (hyper)accumulateurs  
d'Éléments Trace Métallique,  
321 espèces fixatrices d'azote

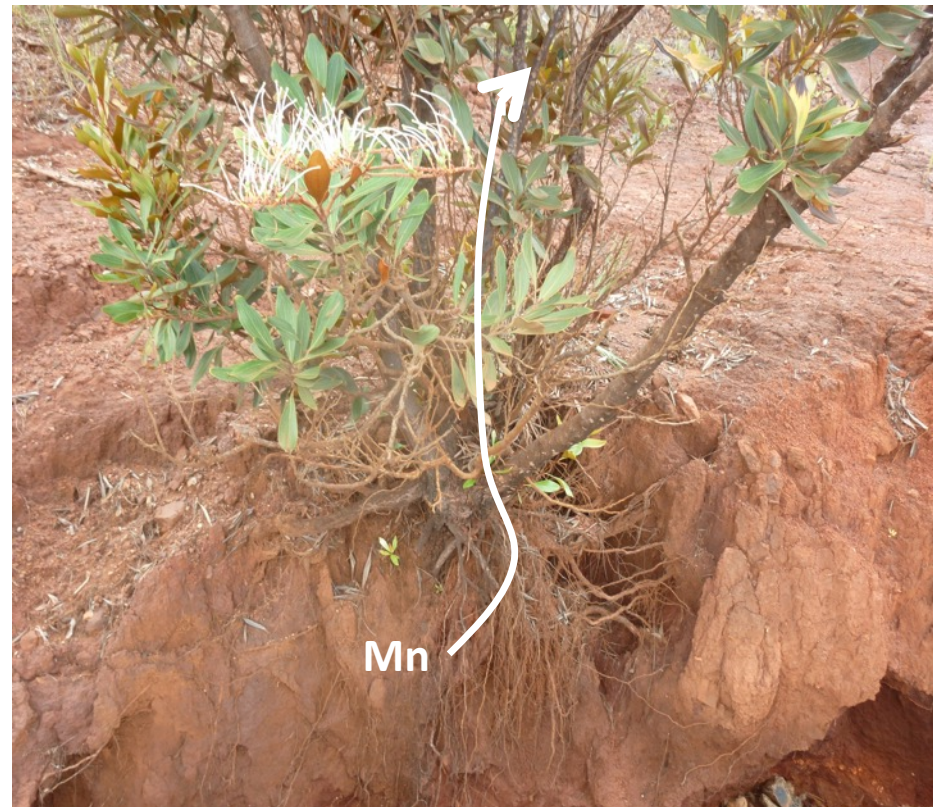


L'hyperaccumulateur de Ni le plus apte  
à la restauration minière



*Geissois pruinosa*

Nos plantes « phares »:  
les (hyper)accumulateurs de Mn du genre *Grevillea*



# Des espèces endémiques à chaque site



*Grevillea meisneri*



*Grevillea exul*  
(ssp. *exul* et ssp. *rubiginosa*)



*Grevillea gillivrayi*

# Développement des espèces végétales installées initialement



*G. rubiginosa* en boutons



en floraison



fructification



Fortes ramifications

## Nouveaux plants



# Développement des espèces végétales installées initialement



*Gymnostoma intermedium*  
en floraison



*Serianthes calycina*  
dépassé les *Grevillea*



*Gymnostoma intermedium* en fructification



*Serianthes calycina*  
en fleurs et en fruits  
(endémique  
protégée)





## Suivi écologique des espèces installées : Une star !

### *Grevillea rubiginosa*



Nouveaux plants : 58  
Plants en fructification : 47

*G. rubiginosa* : l'espèce la plus haute,  
proche des plants sauvages

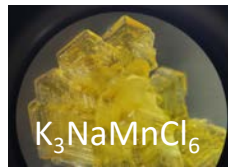
Une espèce végétale réputée à  
croissance lente :

- taille x 6 en 10 ans
- diamètre x 8
- volume x 130 pour *G. rubiginosa*,
- 2 et 5 fois > *G. exul* et *G. pruinosa*

Composition foliaire en Mn : 4000 ppm

# Ecocatalyseurs<sup>®</sup> : les premiers catalyseurs métalliques biosourcés

## ➤ Propriétés d'acides de Brønsted, acides de Lewis durs/et ou mous



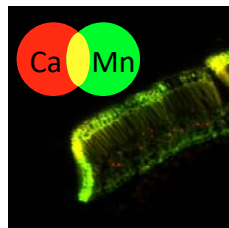
Réactions multicomposantes  
Réactions domino  
Cyclodaddition

## ➤ Propriétés réductrices nouvelles



Réductions sélectives d'aldéhydes et de cétones  $\alpha,\beta$ -insaturées  
Amino réduction d'aldéhydes et de cétones

## ➤ Propriétés oxydantes



Epoxydation  
Coupure oxydante de diols  
Oxydation d'alcools  
Réactions tandem nouvelles



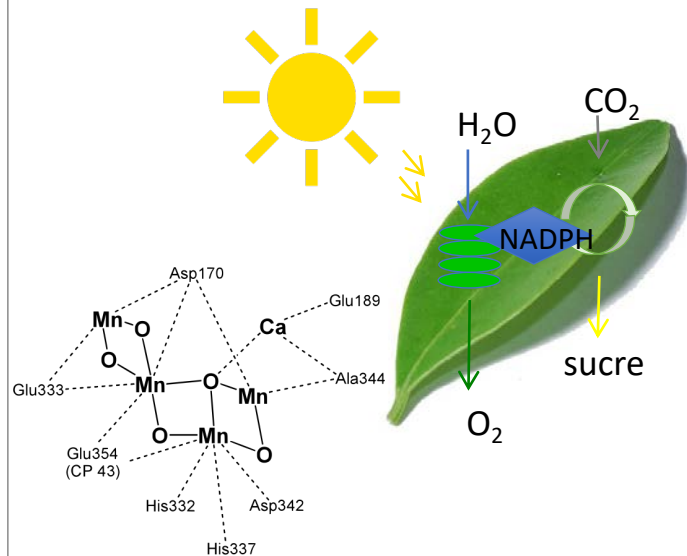
👉 Des matériaux de structures nouvelles : une empreinte végétale et une réactivité unique

# De la réglementation aux solutions

## Réactifs oxydants conventionnels



## Catalyseurs oxydants inspirés de la photosynthèse

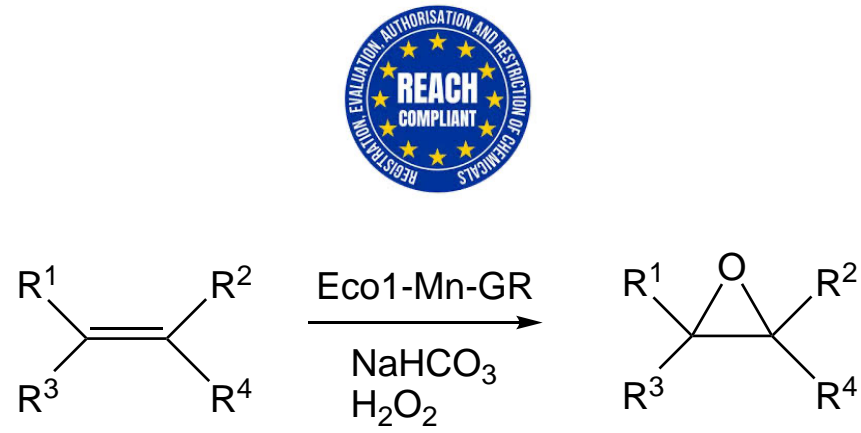


Ecocatalyseurs bioinspirés

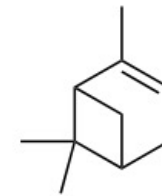




# Epoxydations vertes



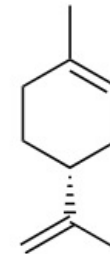
200 fois moins d'agent oxydant qu'un oxydant conventionnel



$\alpha$ -pinene



Pinus



(R)-(+)-limonene

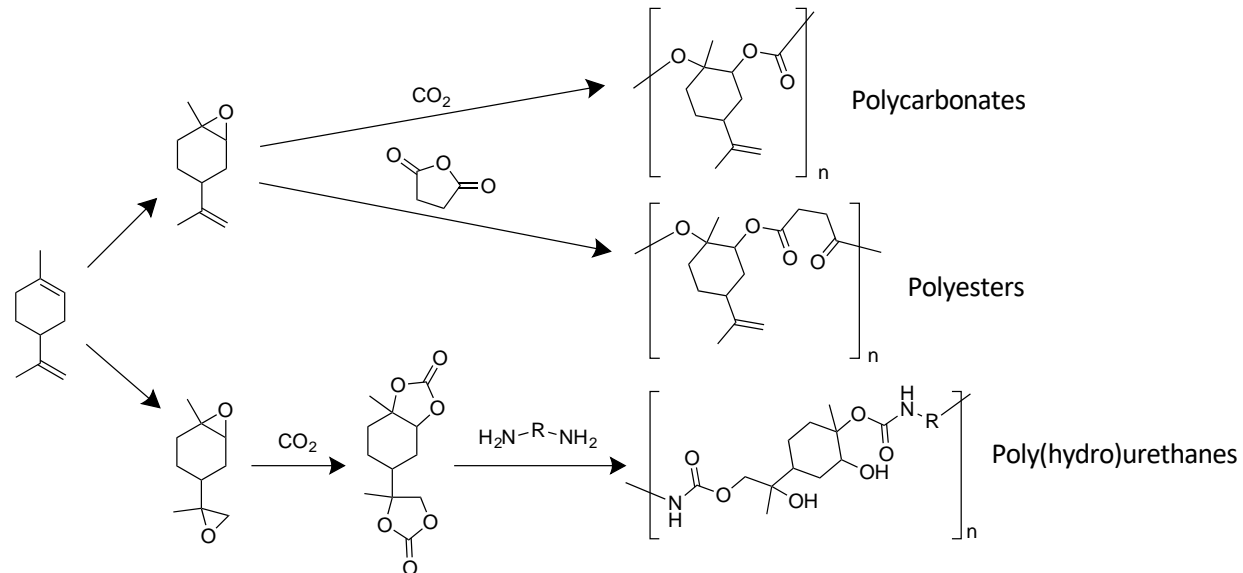
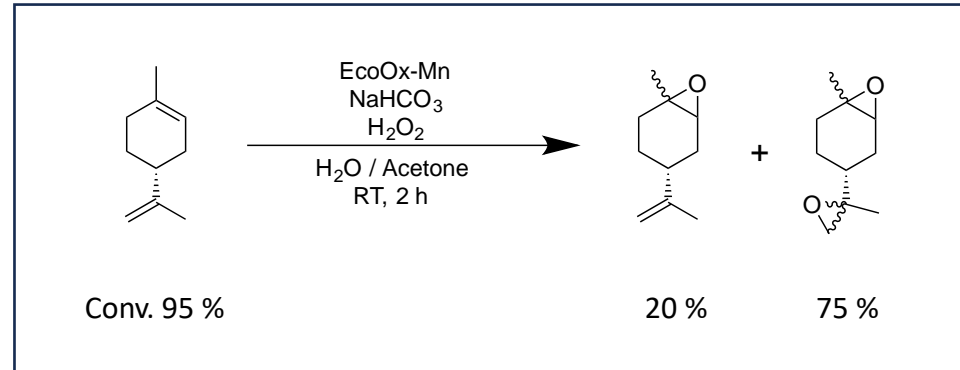


Combawas

Citrons

**Ressources  
calédoniennes**

# Epoxydation du (*R*)-(+)-limonene : quelle utilité ?

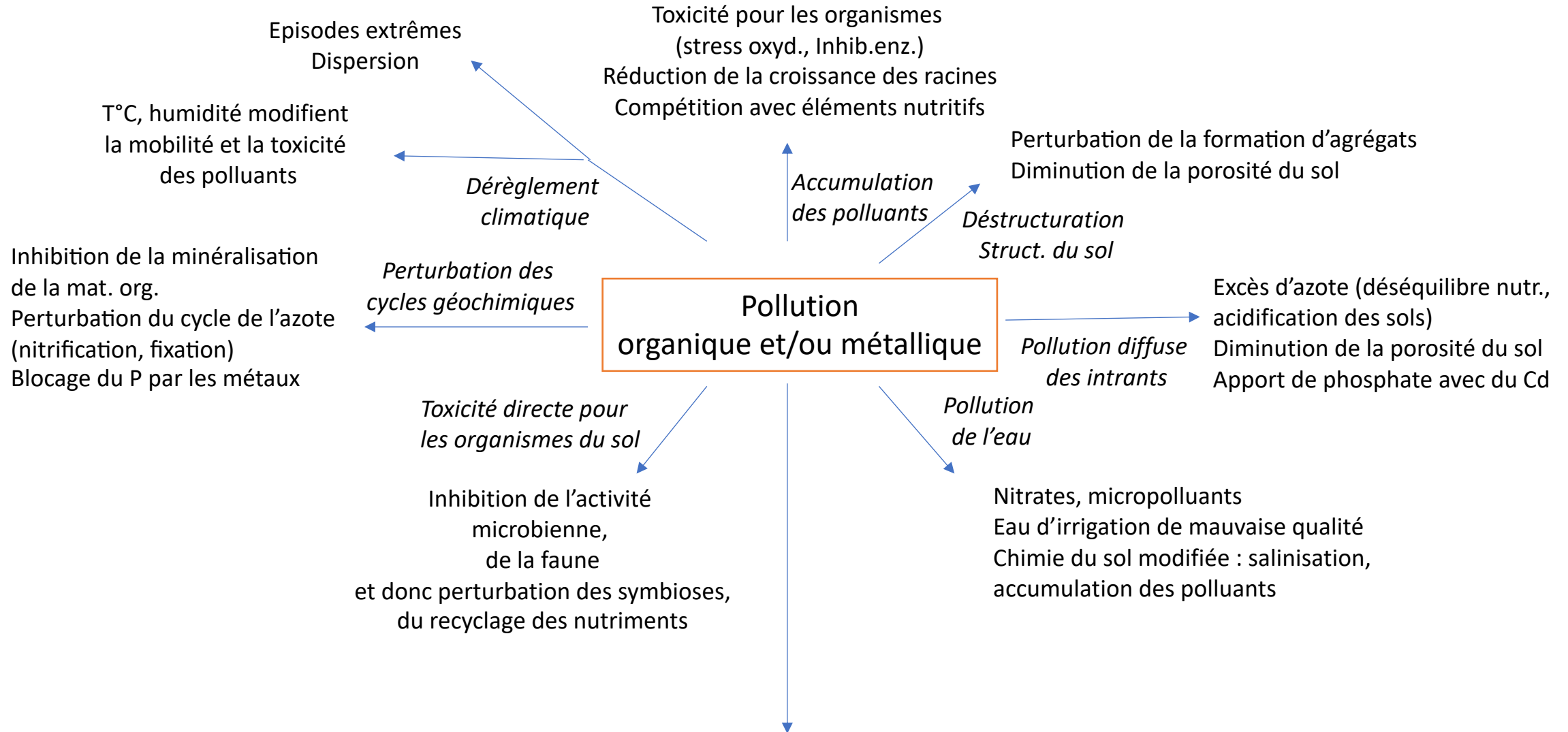


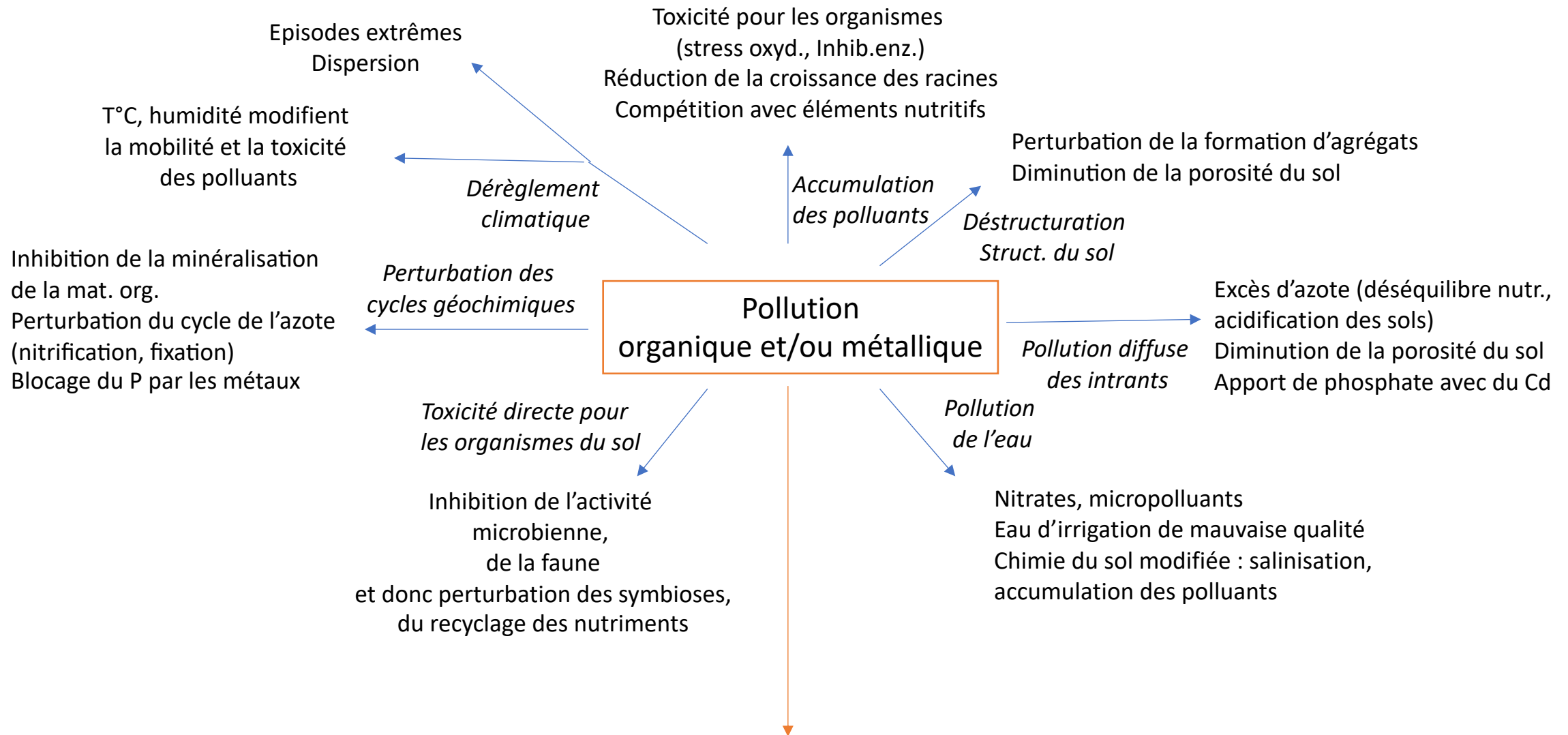
Des alternatives à des monomères tels que le bisphénol A et l'épichlorhydrine pour construire des polymères biodégradables



Merci !







- 1/ La dégradation biologique des sols compromet directement notre sécurité alimentaire
- 2/ Restaurer les sols est une condition essentielle pour maintenir les apports alimentaires