

# Requalification des sols d'anciens sites miniers de métaux

*Sophie Leguédois*

*Guillaume. Echevarria, Hermine Huot, Michel-Pierre Faucon, Noémie Janot, Reuben Nilus, Jean-François Masfaraud, Jean Louis Morel, Rongliang Qiu, Celestino Quintela-Sabaris, Rimi Repin, Geoffroy Séré, John B. Sugau, Ye-Tao Tang*

# Introduction : impact de l'activité minière

- Sur les sols
  - Contamination de l'environnement par des métaux et métalloïdes potentiellement toxiques
  - Acidification des sols lors de certains procédés d'extraction
    - P. ex. lixiviation au sulfate d'ammonium pour extraction des TR
  - Diminution des teneurs en carbone par décapage du « topsoil »
  - Tassement du fait de l'utilisation des engins



Weeda Bay Nickel

# Introduction : impact de l'activité minière

- Sur les écosystèmes
  - Fragmentation
  - Disparition d'endémiques
    - P. ex. 4 500 sp ultramafigues décrites à Sabah dont une majorité d'endémiques (Van der Ent *et al*, 2015)
  - Invasives
- Sur les fonctions et services écosystémiques
  - Augmentation de l'érosion
  - Moindre efficacité de la fonction support de végétation



# Introduction : “Remise en état” après exploitation

- Politiques environnementales
  - Obligation pour les sociétés minières
- Cependant flou sur ce que remettre en état veut dire
  - Bradshaw, 1984 ; Lima *et al.*, 2016
- Une diversité de techniques souvent génériques et pas forcément adaptées au territoire
- Des évaluations
  - souvent focalisées sur la physico-chimie des sols,
  - éventuellement intégrant la microbiologie des sols et les communautés végétales en place,
  - plus rarement, considérant la réalisation de services écosystémiques.
  - Voir Burges *et al.*, 2016 ; Alvarenga *et al.*, 2018

# Objectifs et déroulé de la présentation

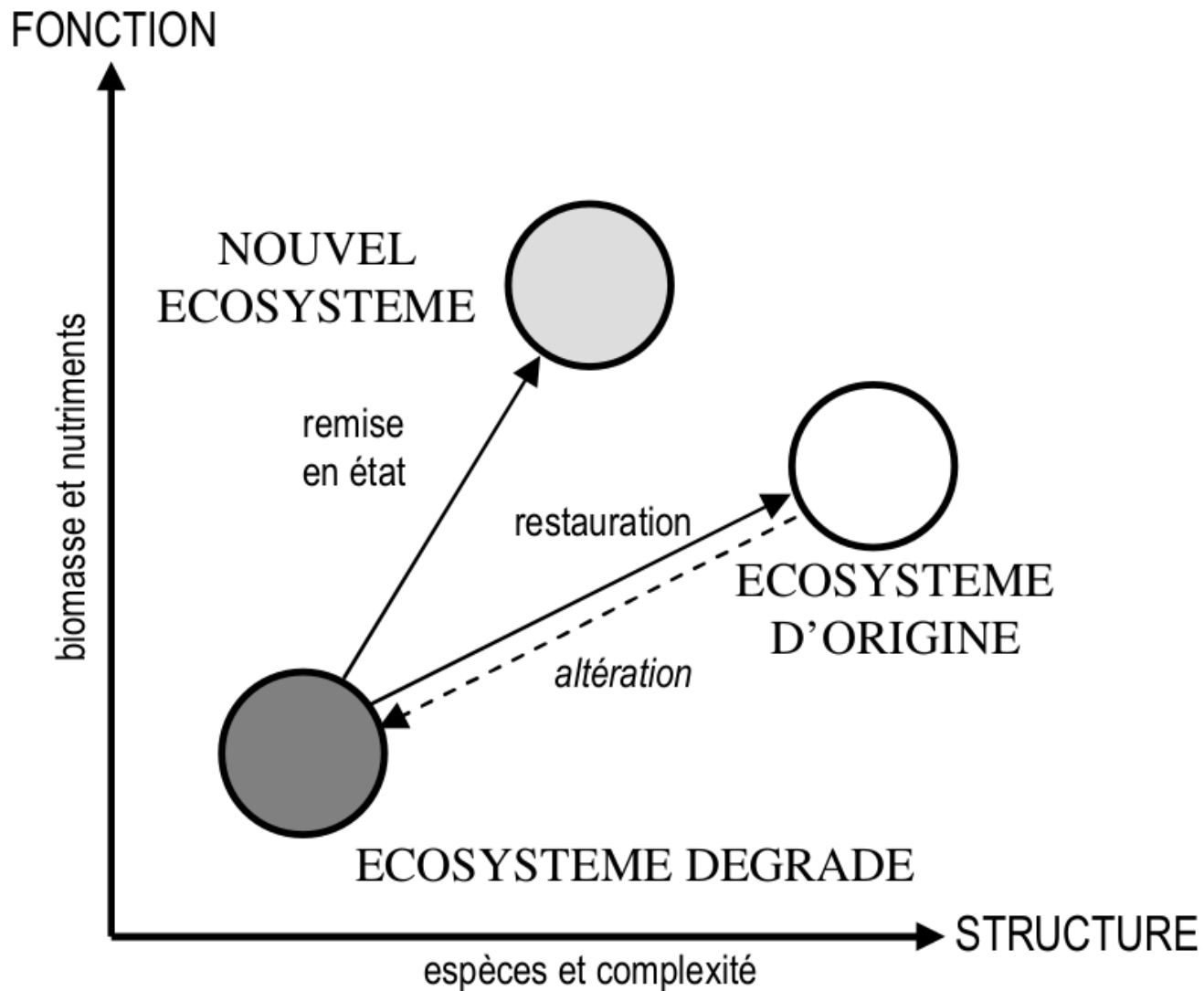
- Point terminologique
- Une approche d'ingénierie écologique pour des opérations de requalification adaptées au territoire
- Des évaluations environnementales globales

# Terminologie (1) : requalification

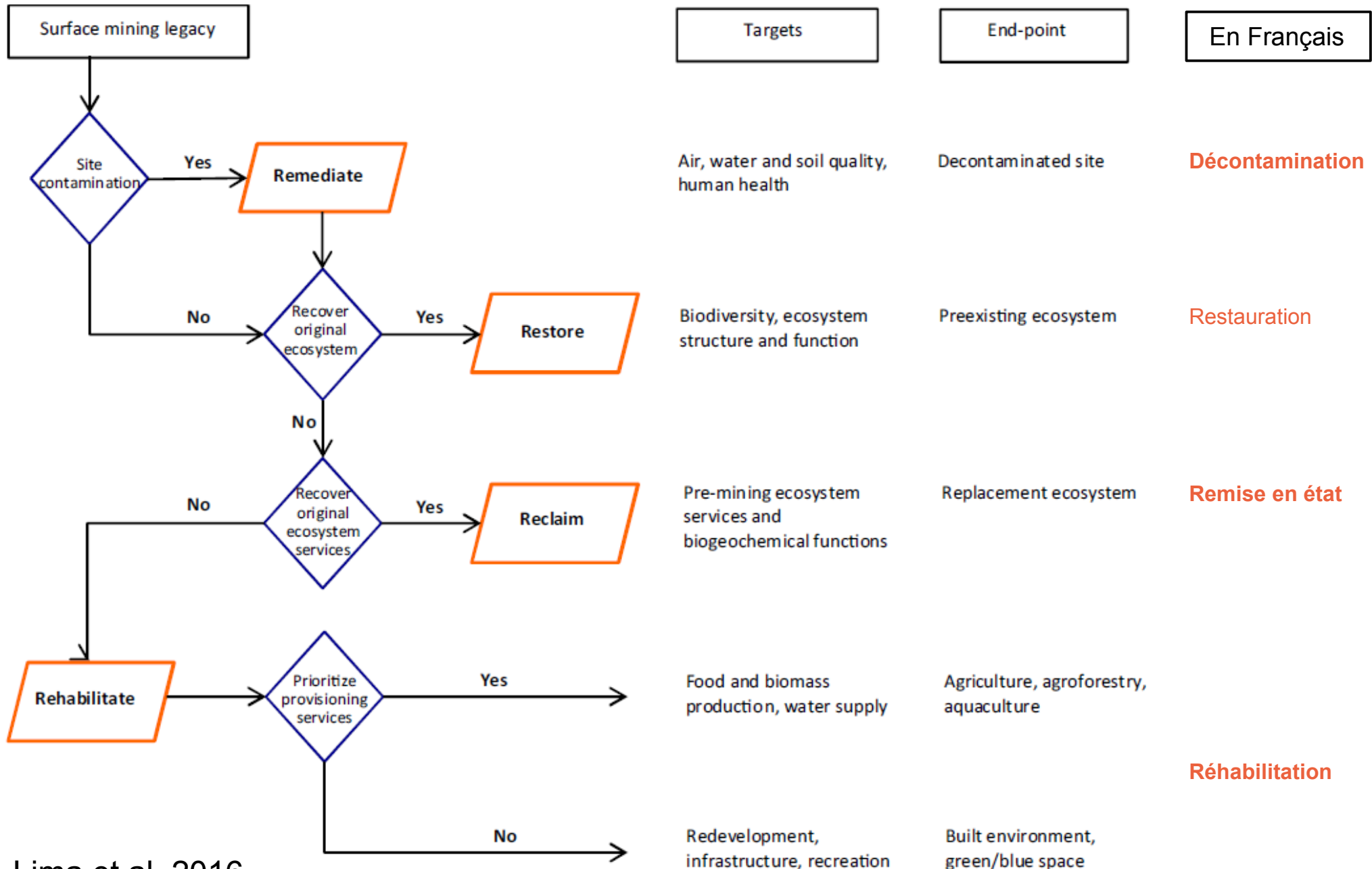
- Terme recouvrant les actions consistant à redonner un usage et une fonction à un site
- Requalification = décrit plus précisément le développement d'un nouvel usage

Séré (2007)

# Terminologie (2) : remise en état, restauration



# Terminologie (3) : Remise en état, restauration, réhabilitation





# Une approche d'ingénierie écologique pour des opérations de requalification adaptées au territoire

- Prospection des milieux environnants autour de sites dégradés permet de déterminer des stratégies de végétalisation et de requalification adaptées
  - Traits fonctionnels
  - Repérage d'espèces améliorantes
  - Agromine de Ni
  - Phytoextraction de terres rares
- Détermination de gisements de matières secondaires disponibles sur le territoire intéressantes pour l'amélioration des sols
  - Déchets de palmier à huile sur Bornéo,
  - Topsoil (Quintela-Sabaris *et al*, 2018, ER)

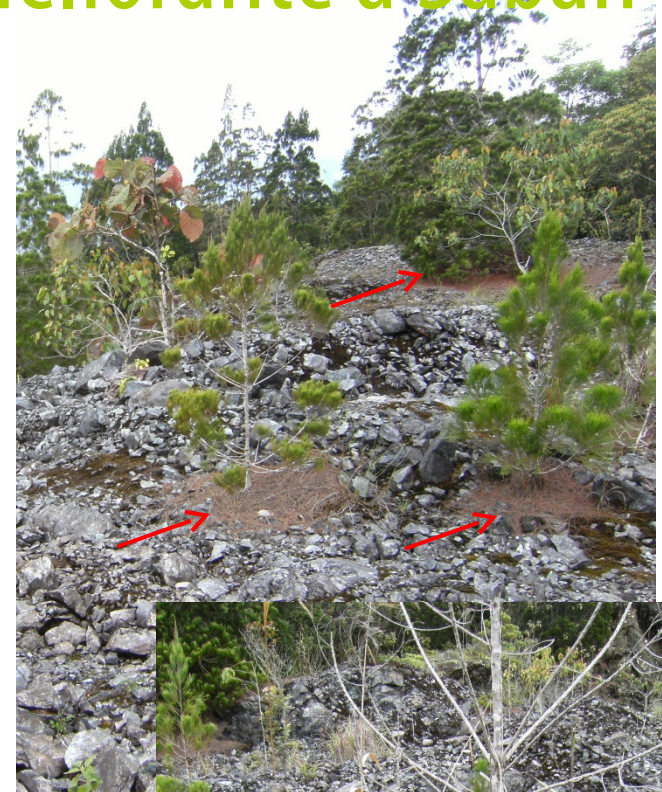


# Repérage des traits fonctionnels pertinents pour revégétalisation réussie

- Traits fonctionnels des plantes
  - Déterminent les réponses des plantes aux conditions environnementales
  - Aisément mesurables
  - Guides pour sélectionner des plantes adaptées au milieu
- Prospection sur 15 sites ultramafiques végétalisés avec une anthropisation croissante à Sabah
  - Zones brûlées
  - Zones excavées avec stériles
- 15 traits fonctionnels mesurés
- Traits candidats pour une revégétalisation de sols miniers similaires (roche nue, saprolite, stériles amendés)
  - Plantes pérennes
  - Bonne capacité d'extension latérale
  - Faible profondeur racinaire (30 cm)
  - Stratégie de conservation des nutriments

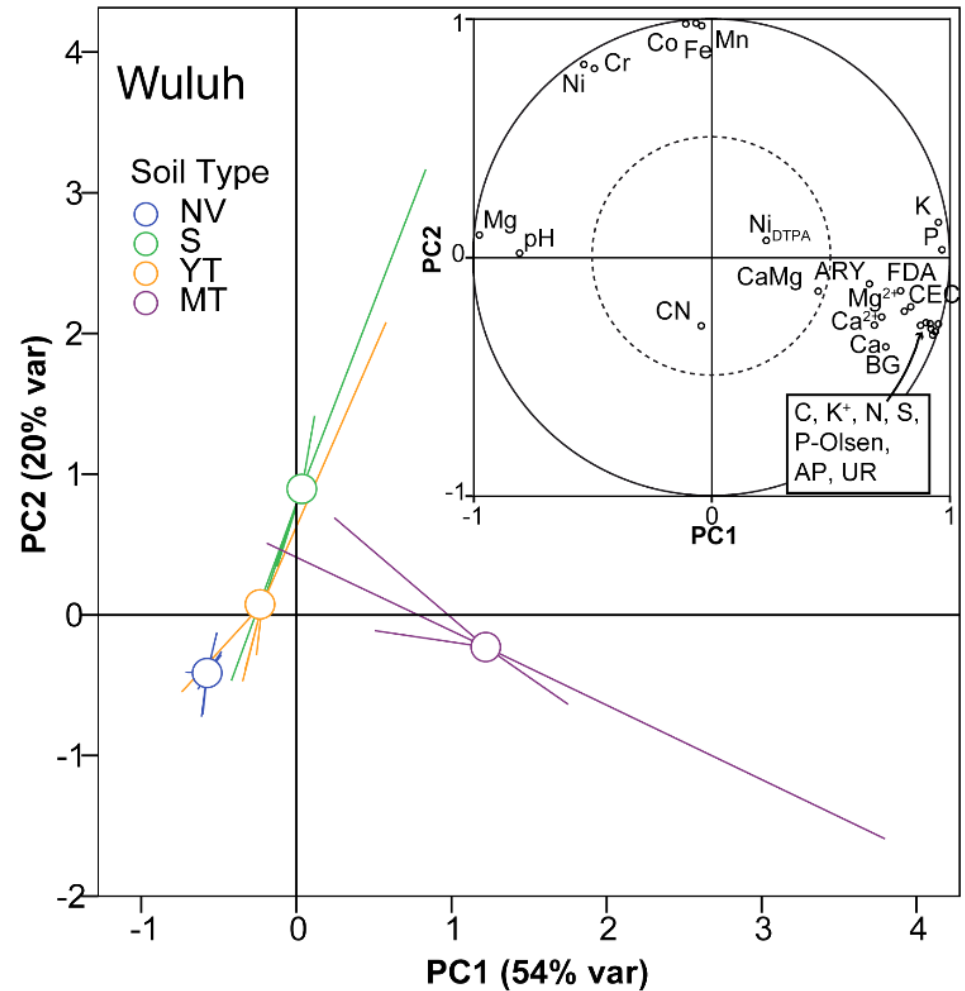
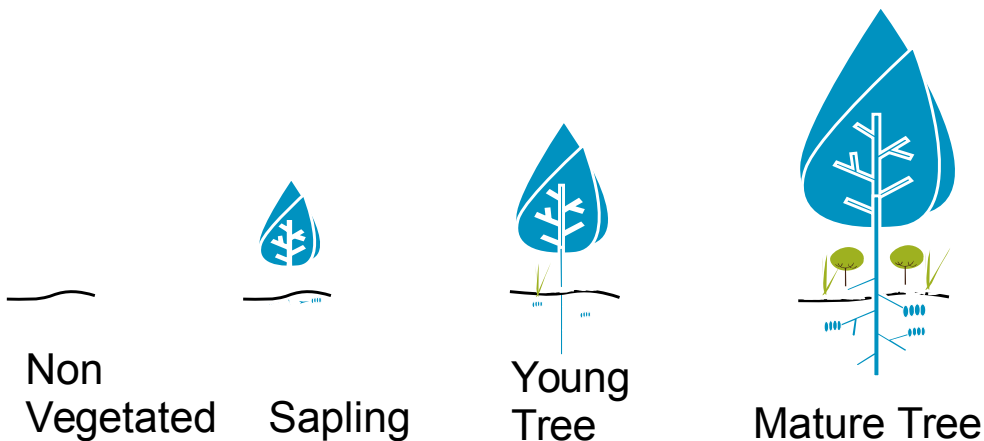
# Repérage d'une espèce améliorante à Sabah

- Prospection dans des milieux ultramafiques dégradés
- *Ceuthostoma terminale*
  - Espèce pionnière sur serpentine (Borneo, Sulawesi, PNG)
  - Adaptation à la sécheresse
    - Feuilles réduites
    - Somates cachés
  - Symbiose avec des actinobactéries fixatrices d'azote (*Frankia* sp.)
  - Grosse production de litière



# Repérage d'une espèce améliorante à Sabah

- Amélioration de la fertilité
  - Baisse du pH (8.5 à 6.8)
  - Augmentation de l'activité enzymatique du sol
  - Augmentation des concentrations en nutriments (n, P, K, Ca)

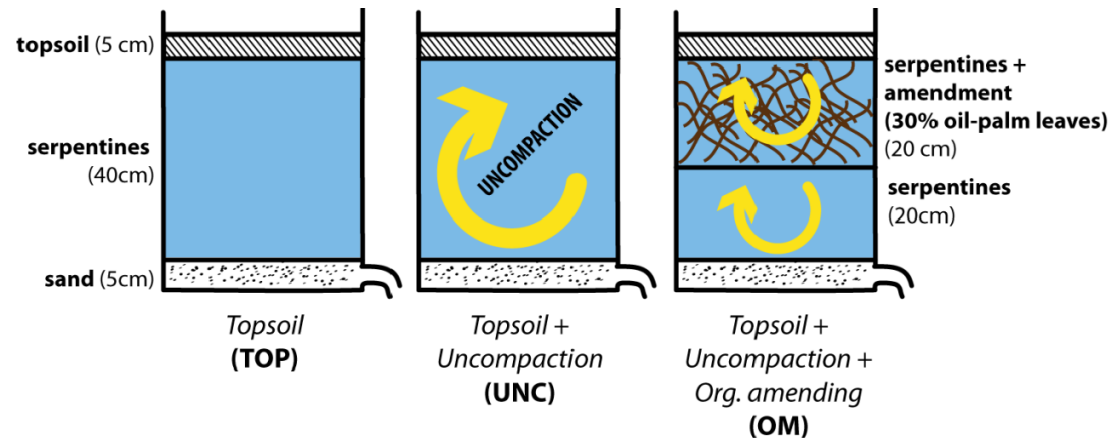


# Une première approche pour une évaluation environnementale globale

- 1 - Fonctions et indicateurs retenus

Functions	Indicators
Biomass production	Aerial dry biomass
	Root dry biomass
	Plant cover
Nutrient cycling	Total cumulative fluxes of K, Ca, Na, P, S
	Nutrient shoot concentrations (C, N, P, K, S, Ca)
	Nutrient root concentrations (C, N, P, K, S, Ca)
	Enzyme activities and FDA (at 20 cm)
Water filtration	Root abundance at 20 cm depth
	Total cumulative fluxes of Ni, Cr, Co, Zn
	Maximal concentration of Ni, Cr, Co, Zn
	Exceedance of critical limits
Plant biodiversity habitat	Number of species
	Shannon's Index
	Presence of exotic species (N of species and % of total shoot biomass)

- 2 – Mesure des indicateurs
  - Mésocosmes in situ pendant 1 an



# Une première approche pour une évaluation environnementale globale



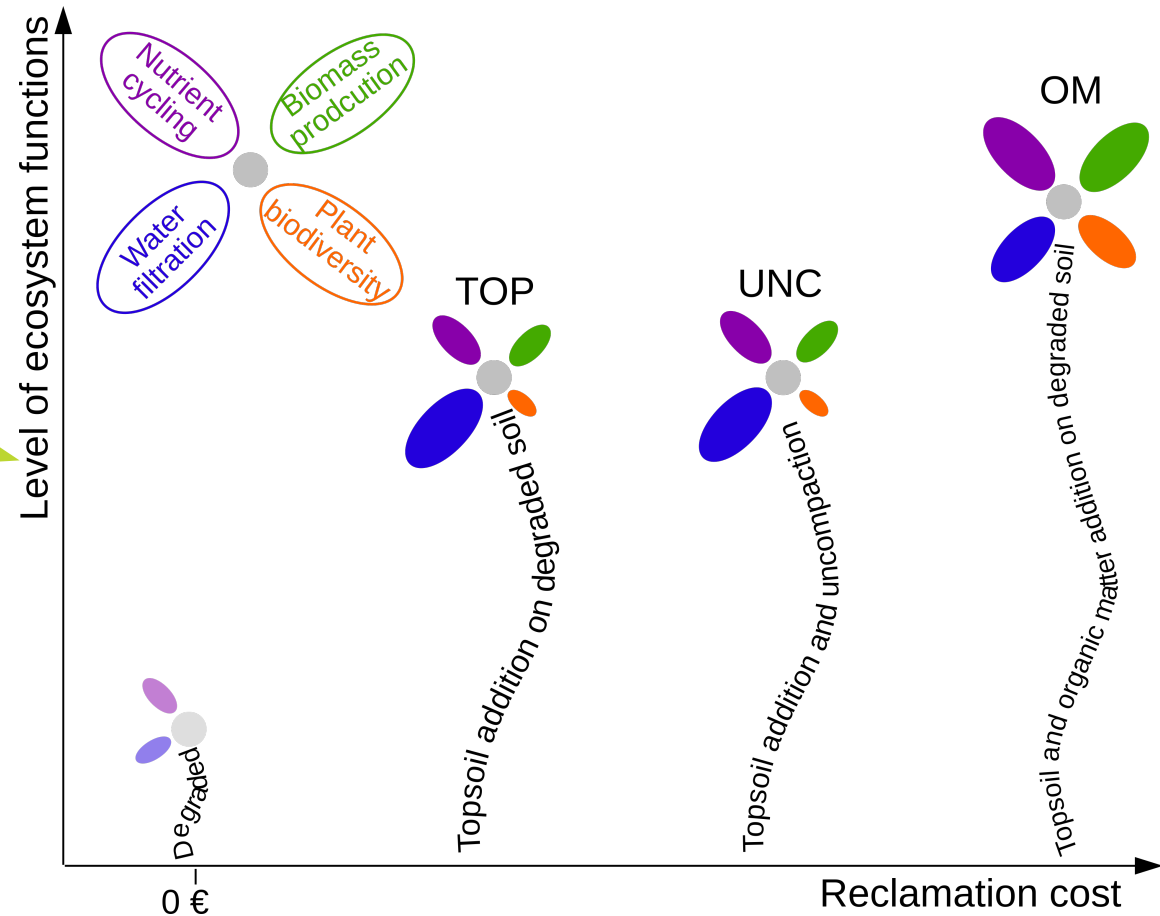
- 3 – Analyse multi-critères

- Notation relative des mesures des indicateurs par rapport à des valeurs contrôle
- Combinaison simple par moyenne



- 4- Résultats

- Qualité de l'eau
- Invasives



# Conclusion

- Développements d'approches globales basées sur une ingénierie écologique adaptées au territoire
  - Collaboration nécessaire entre géochimiste, pédologue, écologues et ingénieurs
  - Bonnes connaissance du territoire
    - Écosystème
    - Anthoposystème (usages pertinents, gisements) → sociologues
  - Nécessité de développer des approches d'analyse multicitères fiables