



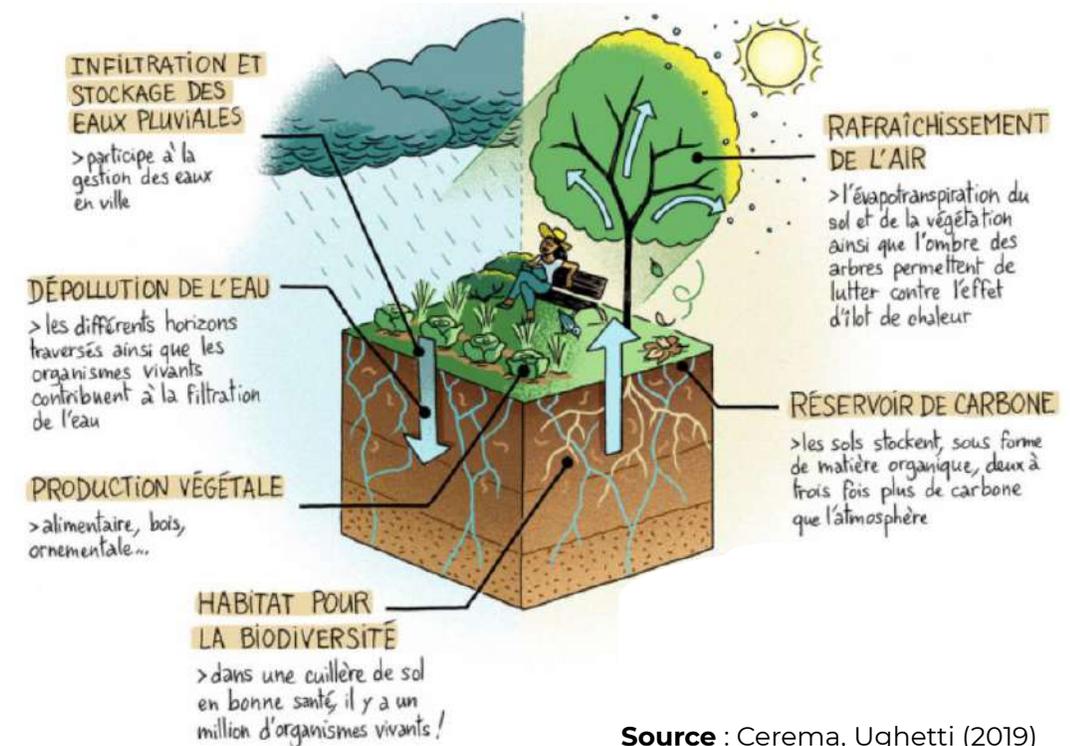
Les coûts de la restauration des sols urbains

Mathilde Salin, Charles Claron, Elodie Nguyen – Rabot,
Nicolas Mondolfo, Harold Levrel

1. INTRODUCTION

La restauration des sols, enjeu d'habitabilité des villes

- **La résilience des villes nécessite des sols multifonctionnels**
 - Pourvoyeurs de services écosystémiques ([Bolund et Hunhammar, 1999](#); [O'Riordan et al., 2021](#))
 - Supports de « solutions fondées sur la nature » pour l'adaptation au changement climatique ([Pamukcu-Albers et al., 2021](#))
- **Et une gestion durable des sols urbains**
 - Important de préserver l'existant ([Claron, Mikou et al., 2021](#))
 - Doit aussi s'appuyer sur des actions de restauration



Source : Cerema, Ughetti (2019).

Restaurer les sols devient un enjeu politique

- **Un instrument politique de gestion durable des sols dans le cadre des objectifs « zéro net »**
 - **International**
 - ODD n°15.3 : L'objectif de neutralité de dégradation des terres, notamment via restauration des terres et des sols
 - COP 15 : Restaurer 30% des écosystèmes terrestres et marins dégradés d'ici 2030
 - **Européen**
 - Loi sur la restauration de la nature [*projet*] : accroître les espaces verts urbains de 5% d'ici 2050
 - **France** : Objectif « zéro artificialisation nette » : “désartificialisation” des sols

Quand la réglementation devance la connaissance

- **Des connaissances scientifiques limitées**

- Les sols, parent pauvre de la restauration écologique ([Muñoz-Rojas, 2018](#); [Nolan et al., 2021](#))
- Les sols urbains, parent pauvre de la restauration écologique des sols ([Byrne, 2023](#); [Pavao-Zuckerman, 2008](#))

- **Des connaissances techniques disparates**

- Informations dispersées entre divers corps de métiers
- Niveaux de connaissance inégaux (dépollution, désimperméabilisation bien connues)

- **Peu de connaissances intégrées sur la filière de la restauration des sols urbains et les coûts associés à ces opérations**

Un précédent : le rapport de France Stratégie

■ Une estimation de référence

- [33 – 455] € / m²

■ Problèmes

- Couverture incomplète
- Pas d'explication des variabilités présentées
- Sources anciennes ou absentes
- Méthodologie ?

Tableau 1 – Éléments de chiffrage des coûts de renaturation

Étape du processus	Coût moyen
Déconstruction	65 €/m ² dont 35 €/m ² de coûts de démolition et 30 €/m ² de traitement des déchets*
Dépollution	2 à 65 €/m ² pour les processus de phytoremédiation
Désimperméabilisation	60 à 270 €/m ²
Construction de technosols	33 à 55 €/m ² **

* Ministère de l'Économie, de l'Industrie et de l'Emploi (2010), *Guide relatif à la prise en compte du coût global dans les marchés publics de maîtrise d'œuvre et de travaux*, mai.

** Il faut 3,34 à 3,42 tonnes d'anthroposol pour construire un mètre carré de sol. À partir des coûts pour une tonne d'anthroposol, nous estimons ensuite les coûts par unité de surface. Nous estimons un coût de 33 à 57 €/m² en fonction de la ville considérée et de l'hypothèse retenue.

Source : France Stratégie

Source : Fosse et al. (2019)

➤ **Sujet périphérique dans un rapport qui porte principalement sur les leviers de protection des sols**

Question de recherche

**Comment et à quel coût
restaurer les sols urbains ?**

2. MÉTHODE

Entretiens préalables

- **Objectifs**

- Appropriation de la thématique
- Structuration de l'enquête en segmentant les opérations de restauration des sols
- Identification des sources d'information : acteurs ou catégories d'acteurs à interroger, ressources et documents existants

- **Réalisation**

- **Qui ? 10 entretiens** avec des responsables de réseaux scientifiques, techniques ou professionnels liés au génie écologique ; scientifiques ; responsables de programmes de financement

Dix étapes de la restauration sols identifiées



Enquête

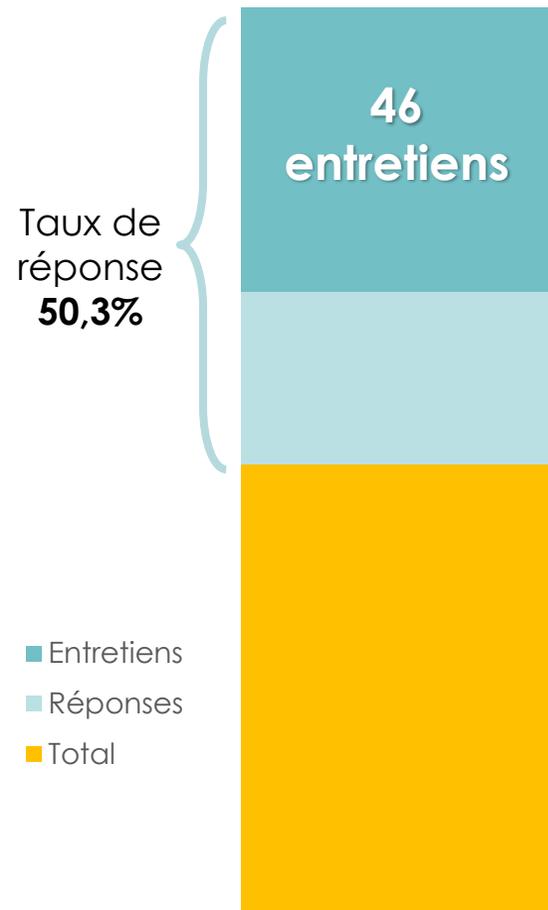
Objectifs

- Stabiliser une liste de sous-étapes (ou techniques) pour chaque étape
- Recueillir des **estimations** sur les coûts de ces techniques

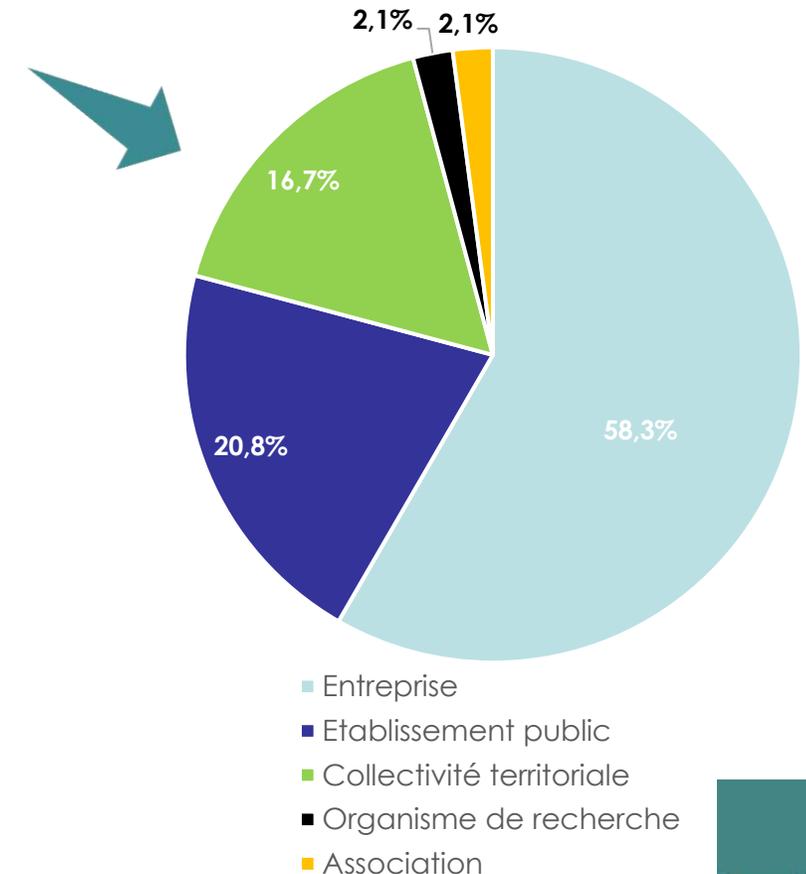
Réalisation

- Entretiens semi-directifs à partir d'un questionnaire
- Recueil de devis ou autres documents de coûts
- Qui ?** réseaux A-Igéco ; recherches ad hoc ; « boule de neige »

169 personnes contactées



Entretiens par type d'organismes



Enquête – Structure du questionnaire

▪ Une structuration selon deux dimensions :

- On procède étape par étape
- Pour chaque étape et sous-étape : estimation des coûts ; unité ; déterminants ou facteurs de variabilité

3. Structure du questionnaire pour chaque étape

- Définition de l'étape
- Description des sous-étapes
- Comment pensez-vous connaître cette étape ?
 - Très bien : c'est votre coeur de métier
 - Bien : vous côtoyez régulièrement des acteurs travaillant sur cette étape
- Vous allez donner des coûts :
 - HT
 - TTC

Source : Extrait du questionnaire

Coût des sous-étapes

Pour chaque sous-étape :

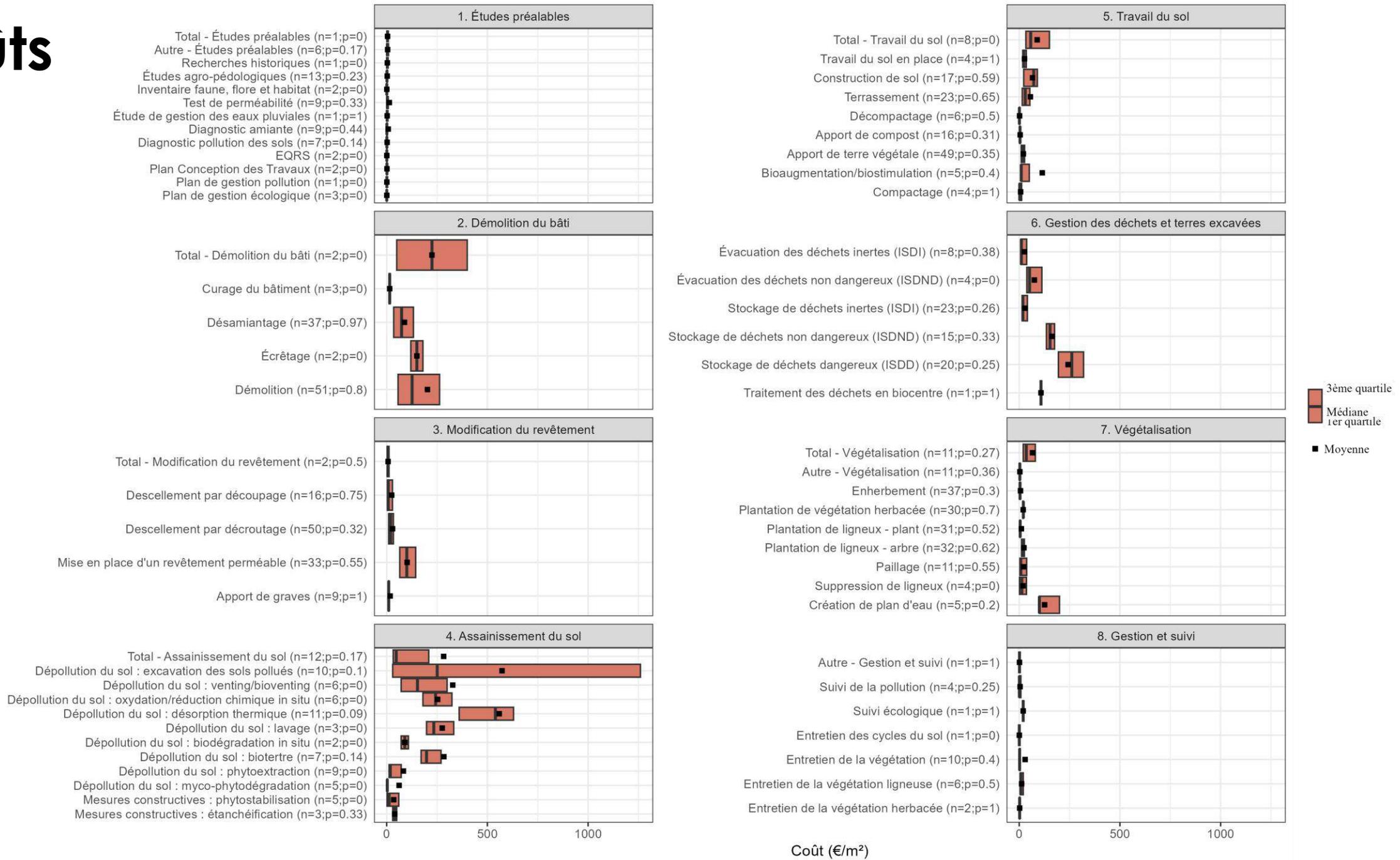
- Êtes-vous en mesure de donner une estimation des coûts de cette sous-étape ?
 - Oui
 - Non
- Pourriez-vous estimer un coût minimum pour cette sous-étape ? (merci de n'entrer que des nombres) _____
- Pourriez-vous estimer un coût maximum pour cette sous-étape ? (merci de n'entrer que des nombres) _____
- Quelle est l'unité de coût ?
 - €/m²
 - €/m³
 - €/t
 - Autre : _____
- Quels seraient les facteurs susceptibles de faire varier ces coûts ?

3. Résultats

Coûts



Coûts

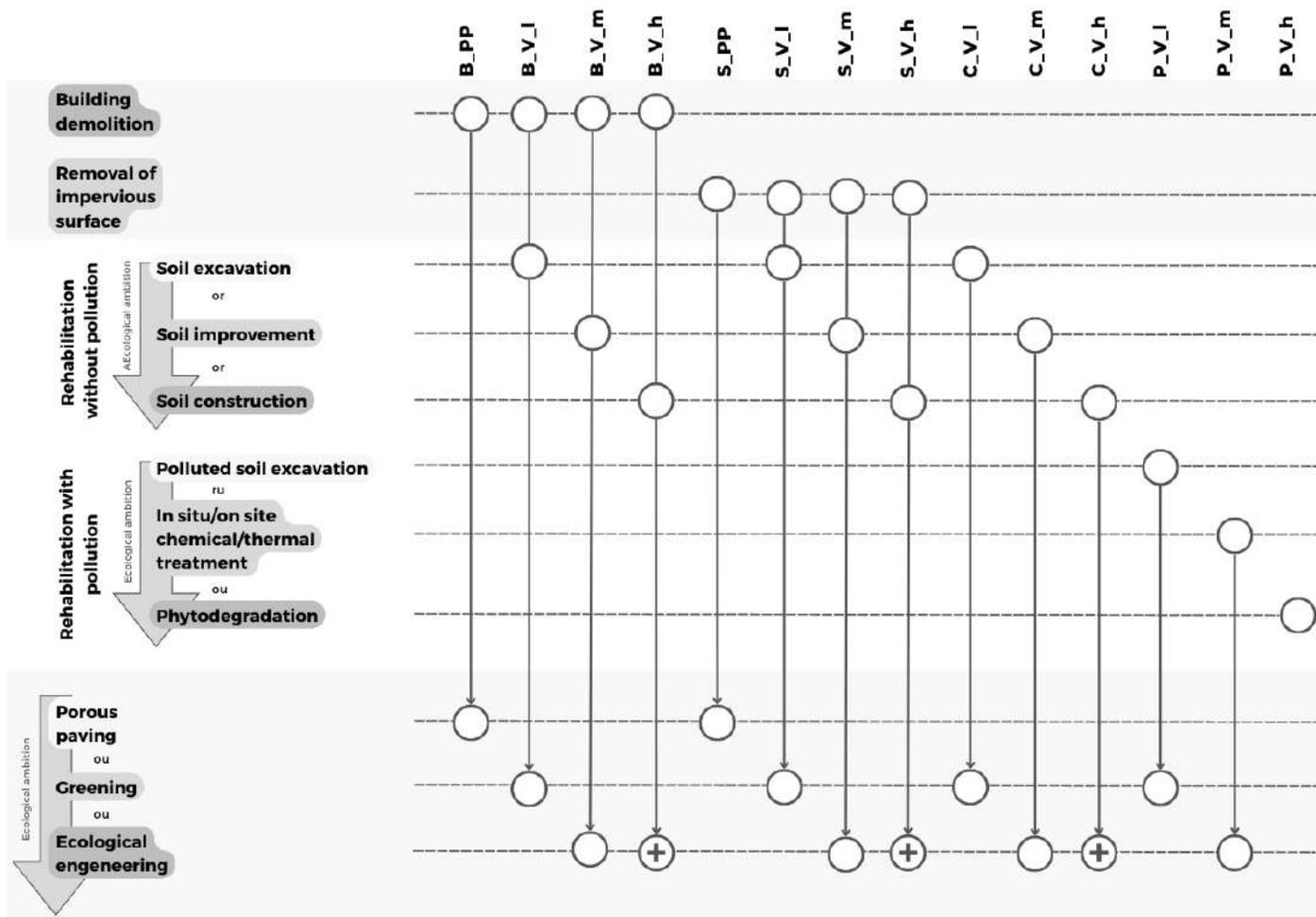


Facteurs de variabilité

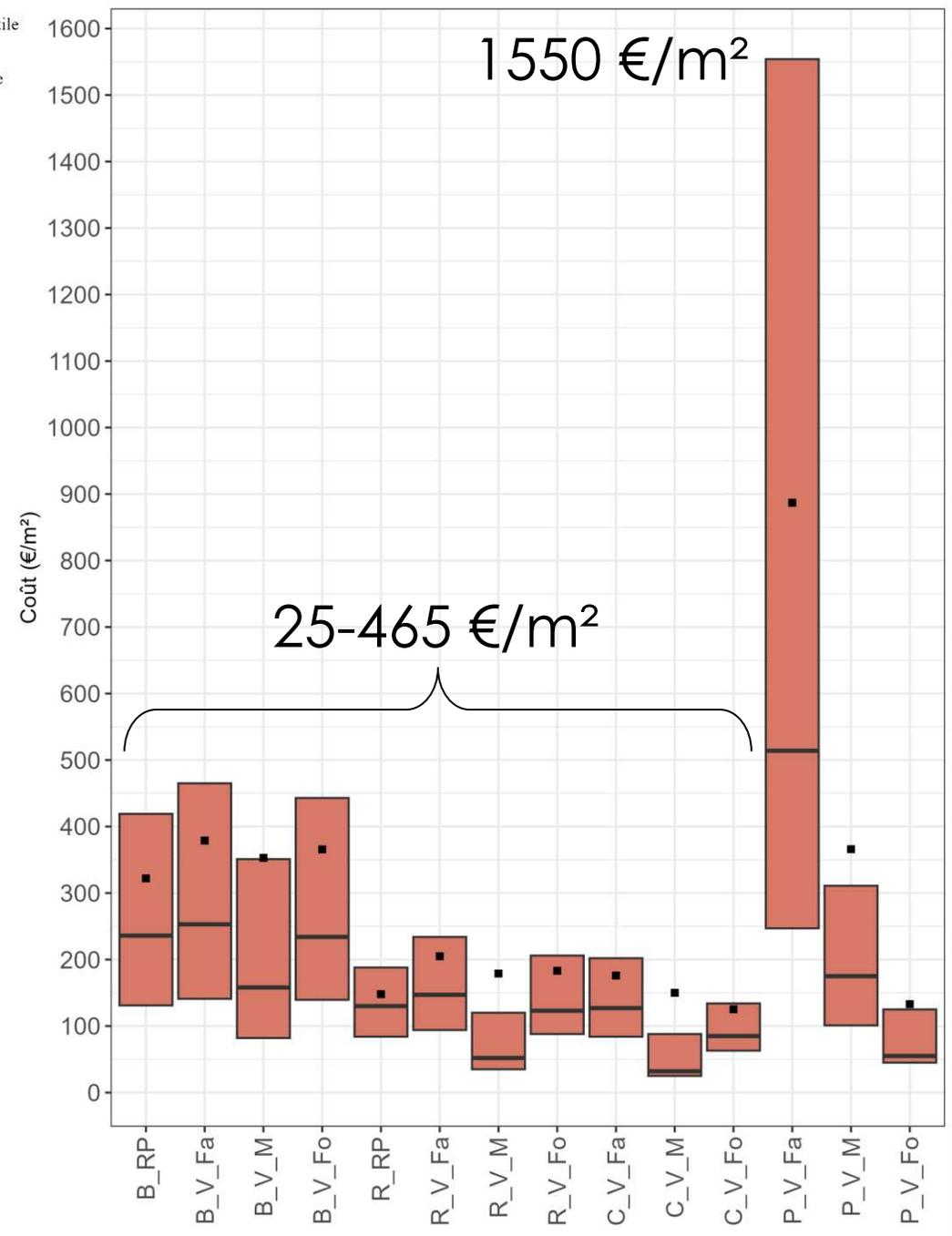


Effet sur les coûts: Les réduit Indéterminé Les augmente

Scenarios d'itinéraires techniques



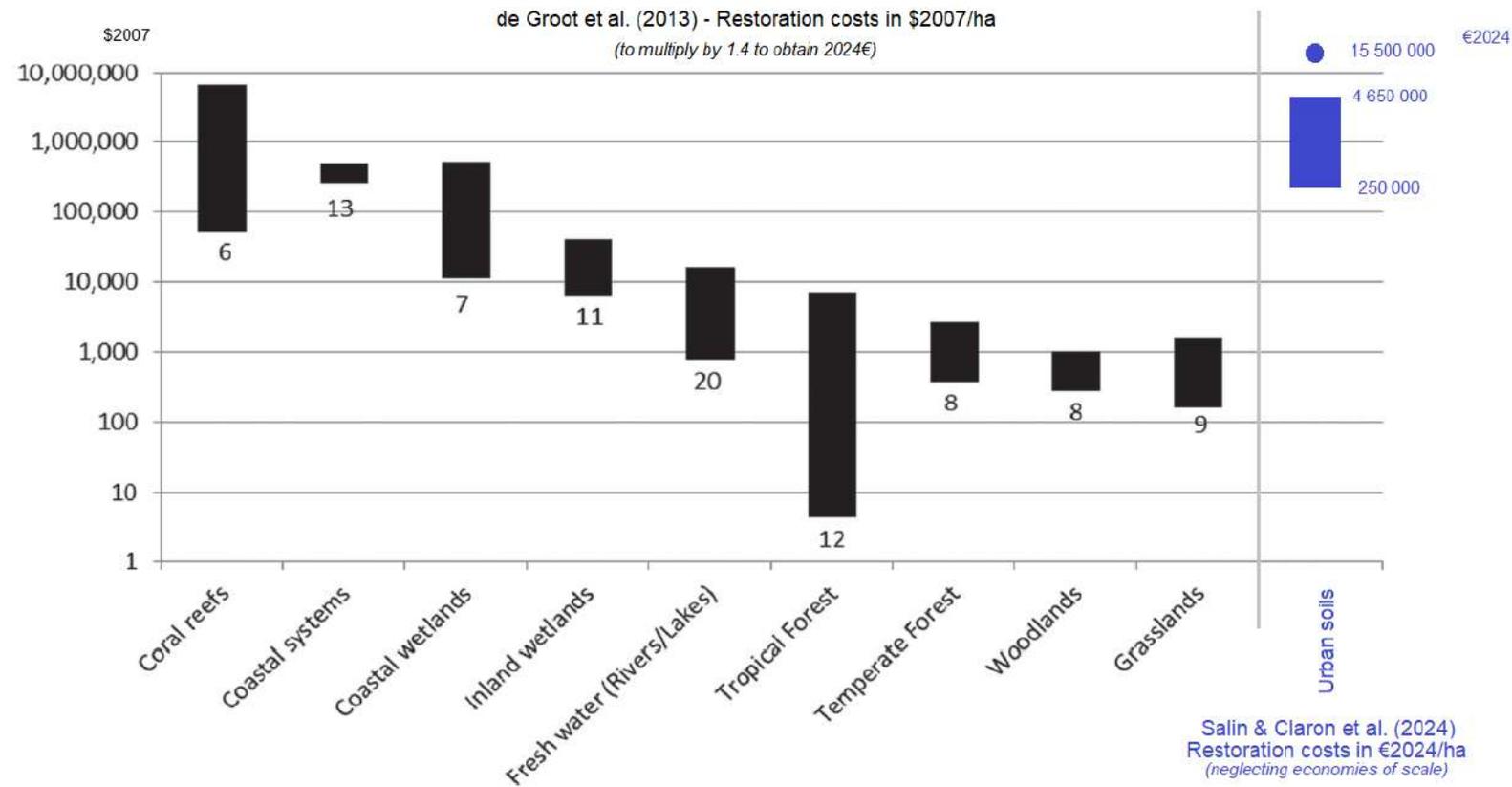
3ème quartile
Médiane
1er quartile
Moyenne



4. Discussion & conclusion

Mise en perspective de ces coûts

- **Nos résultats** : 25-465 €/m², jusqu'à 1 550 €/m² avec pollution
- **France Stratégie** : 33 – 455 €/m² (dépollution incluse)
- **Prix moyen d'un terrain constructible en France (2022)** : 92 €/m²
- **Restauration d'autres écosystèmes** :



Usages possibles de ces coûts

- **Valorisation des sols par les coûts :**
 - Les coûts de restauration élevés montrent l'importance d'éviter la dégradation !
- **Évaluation de dettes écologiques :**
 - Peuvent être utilisés comme des "coûts de préservation" dans le cadre de la comptabilité écologique
 - Permet de passer de dettes écologiques biophysiques à des dettes écologiques monétaires (Kervinio & Surun et al. 2023)
 - En particulier, en cas de non-respect de la trajectoire ZAN (Gonon et al., 2021)
- **Contribuer à l'évaluation des besoins d'investissements :**
 - Echelle territoriale : évaluer le besoin d'investissement pour restaurer des sols urbains
 - Echelles nationale / européenne : Participer à l'évaluation du coût d'atteinte du ZAN ou du coût de restauration de 5% des sols urbains - avec des limites

Merci

mathilde.salin@banque-france.fr
charles.claron@gmail.com

Photo : Renaturation
de la place de la Porte-
Maillot, Paris, 14/07/23
C. Claron

Bibliographie

- Byrne, L. B. (2021) « Chapter 14 - Socioecological soil restoration in urban cultural landscapes ». In *Soils and Landscape Restoration*, édité par John A. Stanturf et Mac A. Callaham, 373-410. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813193-0.00014-X>.
- Bolund, P., Hunhammar, S., (1999). « Ecosystem services in urban areas ». *Ecological Economics*. 29 (2), 293–301. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(99\)00013-0](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(99)00013-0).
- Claron, C., Mikou, M., Levrel, H., Tardieu, L. (2022). « Mapping Urban Ecosystem Services to Design Cost-Effective Purchase of Development Rights Programs: The Case of the Greater Paris Metropolis ». *Land Use Policy*. 122 : 106349. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2022.106349>.
- Feger, C., Levrel, H. & Rambaud, A. (2022). « Trois méthodes comptables complémentaires pour mettre les problèmes écologiques au cœur de la chose publique ». *Revue française d'administration publique*, 183, 815-829. <https://doi.org/10.3917/rfap.183.0174>
- Gonon, M., Surun, C., Levrel, H. (2021). « Limiter l'artificialisation des sols pour éviter une dette écologique se chiffrant en dizaines de milliards d'euros ». *The conversation*.
- Kervinio Y, Surun C, Comte A, Levrel H.(2023). « Defining ecological liabilities and structuring ecosystem accounts to support the transition to sustainable societies ». *One Ecosystem* 8: e98100. <https://doi.org/10.3897/oneeco.8.e98100>
- Levrel, H., Hay, J., Frascaria-Lacoste, N., & Martin, G., Pioch, S. (2015). Restaurer la nature pour atténuer les impacts du développement: Analyse des mesures compensatoires pour la biodiversité. Quae.
- Muñoz-Rojas, M. (2018). « Soil quality indicators: critical tools in ecosystem restoration ». *Current Opinion in Environmental Science & Health, Sustainable soil management and land restoration*, 5: 47-52. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.04.007>.
- Lal, R. (2015) « Restoring Soil Quality to Mitigate Soil Degradation ». *Sustainability* 7, n° 5 : 5875-95. <https://doi.org/10.3390/su7055875>
- Pamukcu-Albers, P., Ugolini, F., La Rosa, D. et al. (2021). Building green infrastructure to enhance urban resilience to climate change and pandemics. *Landscape Ecol* 36, 665–673. <https://doi.org/10.1007/s10980-021-01212-y>
- Pavao-Zuckerman, M. A. (2008). « The Nature of Urban Soils and Their Role in Ecological Restoration in Cities ». *Restoration Ecology*. 16, n° 4 : 642-49. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2008.00486.x>.
- Pavao-Zuckerman, M., & Pouyat, R. V. (2017). The effects of urban expansion on soil health and ecosystem services: An overview. *Urban expansion, land cover and soil ecosystem services*, 123-145.
- Tobias, S., Conen, F., Duss, A., Wenzel, L., Buser, C., Alewell, C. (2018). « Soil Sealing and Unsealing: State of the Art and Examples ». *Land Degradation & Development*. 29, n° 6: 2015-24. <https://doi.org/10.1002/ldr.2919>.

Annexes

Entretiens exploratoires (2)

10
entretiens
exploratoires

Durée
moyenne
65 min

 Fonction	 Organisation	 Date	 Modalité	 Durée (min)
Président	UPGE	7 avr. 2023	Visio	70
Responsable du développement foncier et référent Biodiversité	ECT Hauts-de-France	18 avr. 2023	Visio	105
Directeur & Gérant ; Administrateur	Sol & Paysages ; Plante & Cité	26 avr. 2023	Visio	70
Chargée de mission	INDURA	2 mai 2023	Visio	63
Directeur général ; Administrateur ; Docteur en écologie	Terroïko ; AFIE ; A-IGECO	3 mai 2023	Présentiel	30
Maître de conf. en ingénierie écologique ; Membre ; Président	Université de Bretagne occidentale ; Réseau REVER ; A-IGECO	5 mai 2023	Téléphone	30
Doctorante (CIFRE)	ADEME / Plante-et-Cité	9 mai 2023	Visio	88
Cheffe de projet sites pollués	Ademe	10 mai 2023	Visio	115
Écologue	ARB Île-de-France	16 mai 2023	Visio	52
Ingénieure proto aménagement	EPFL Dauphiné	23 mai 2023	Téléphone	30

Analyse et synthèse des données récoltées

- **Base de données :**

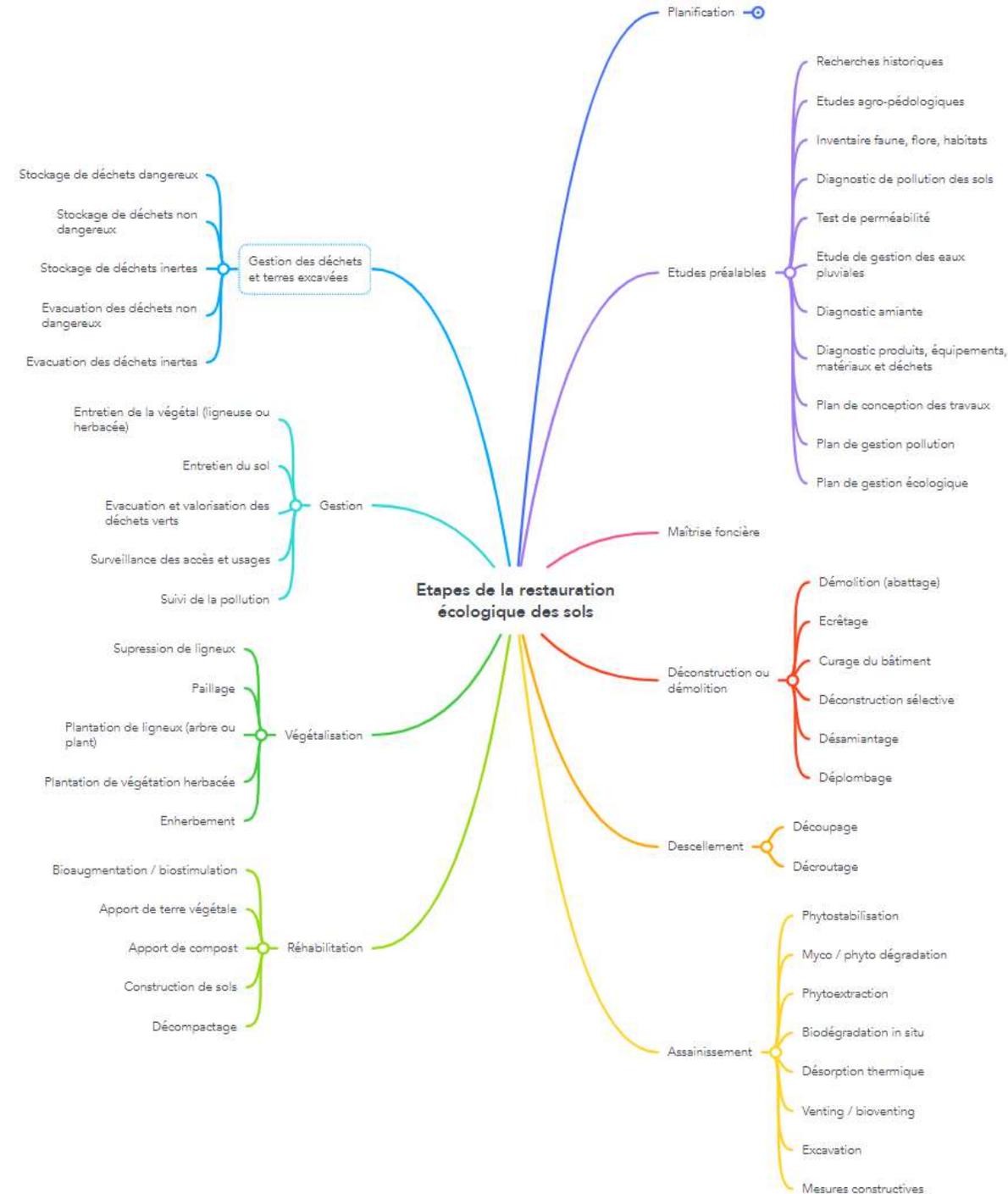
- Coûts
- Facteurs de variabilité
- Issus des entretiens et des documents transmis (devis, etc.)

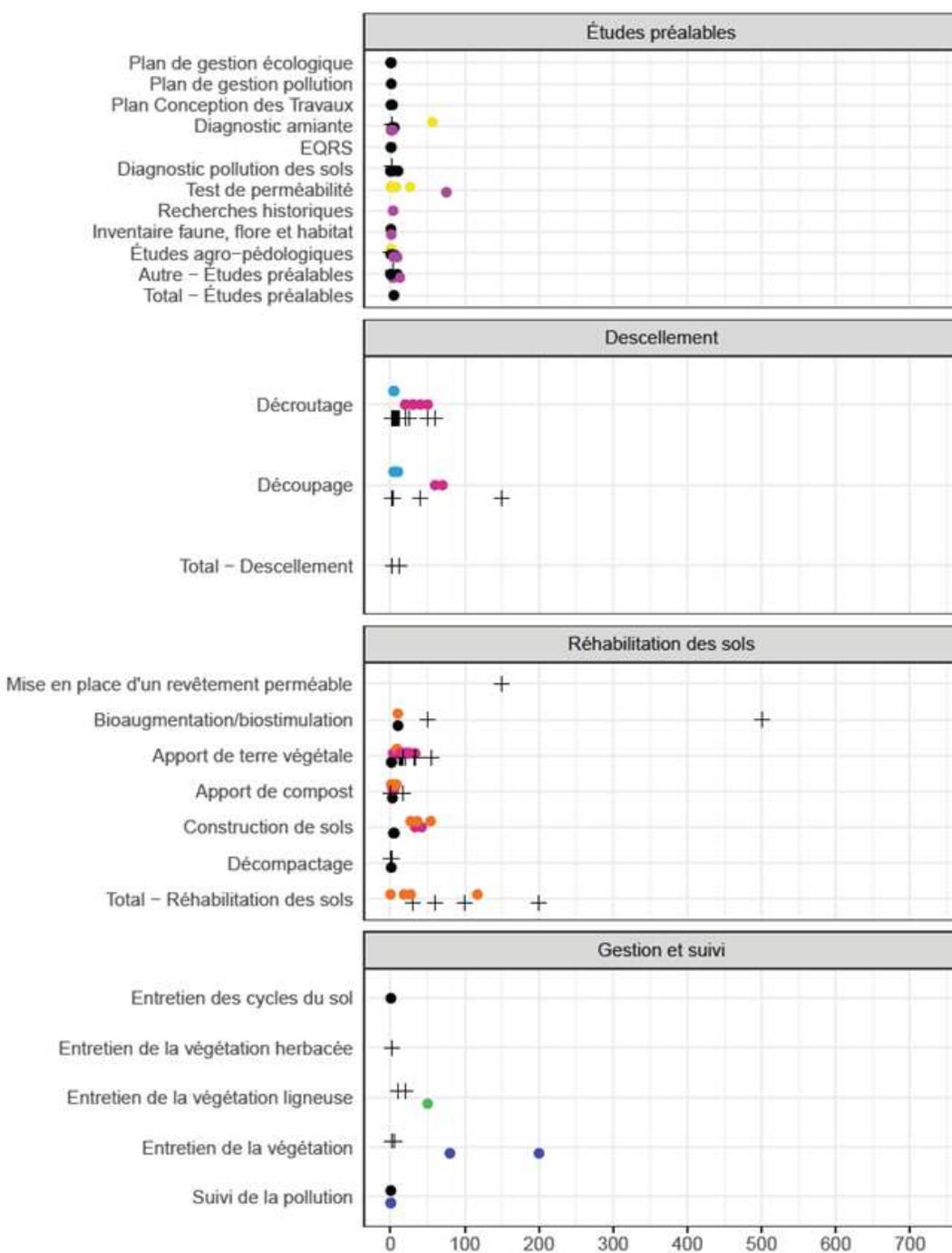
- **Défis de l'analyse**

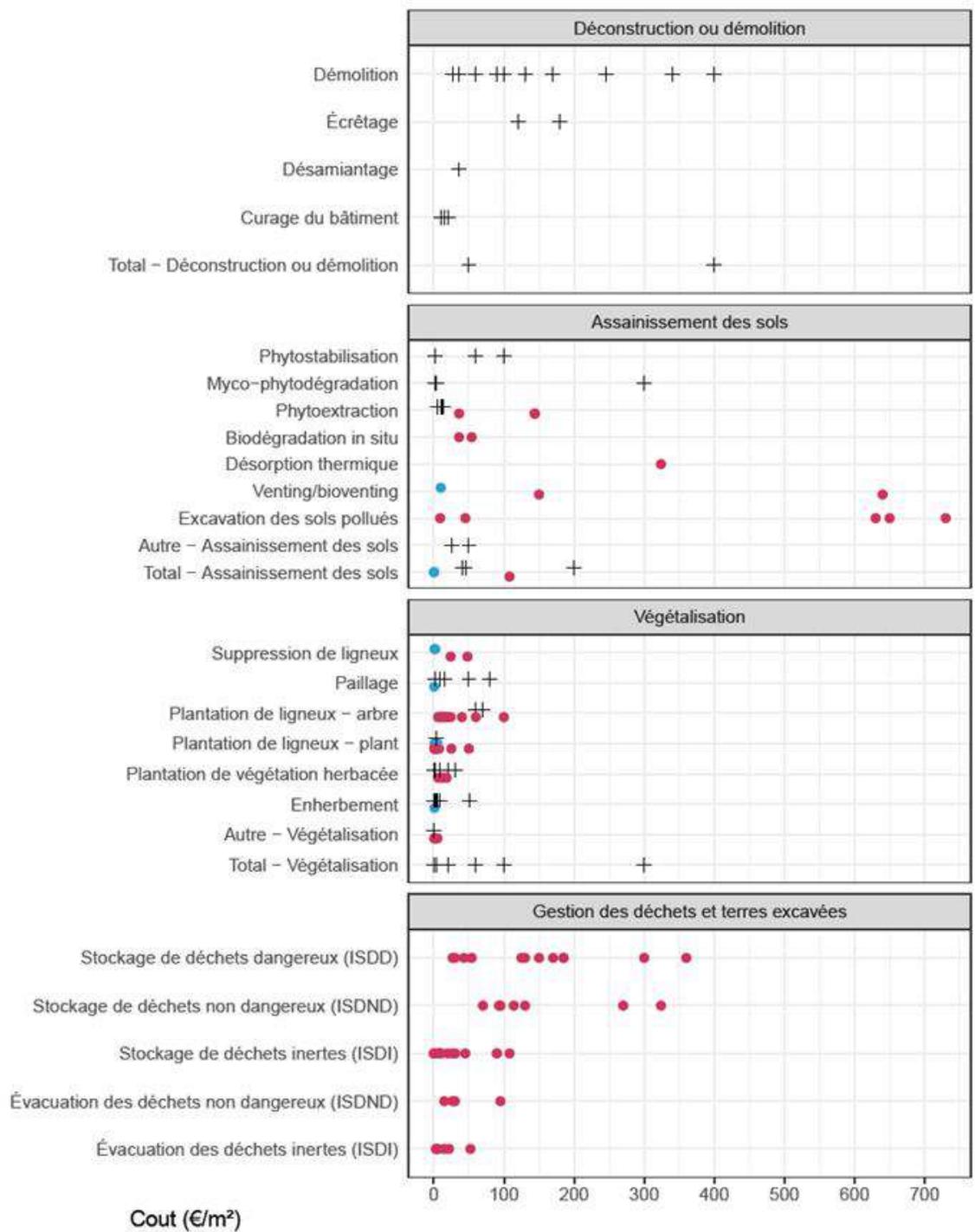
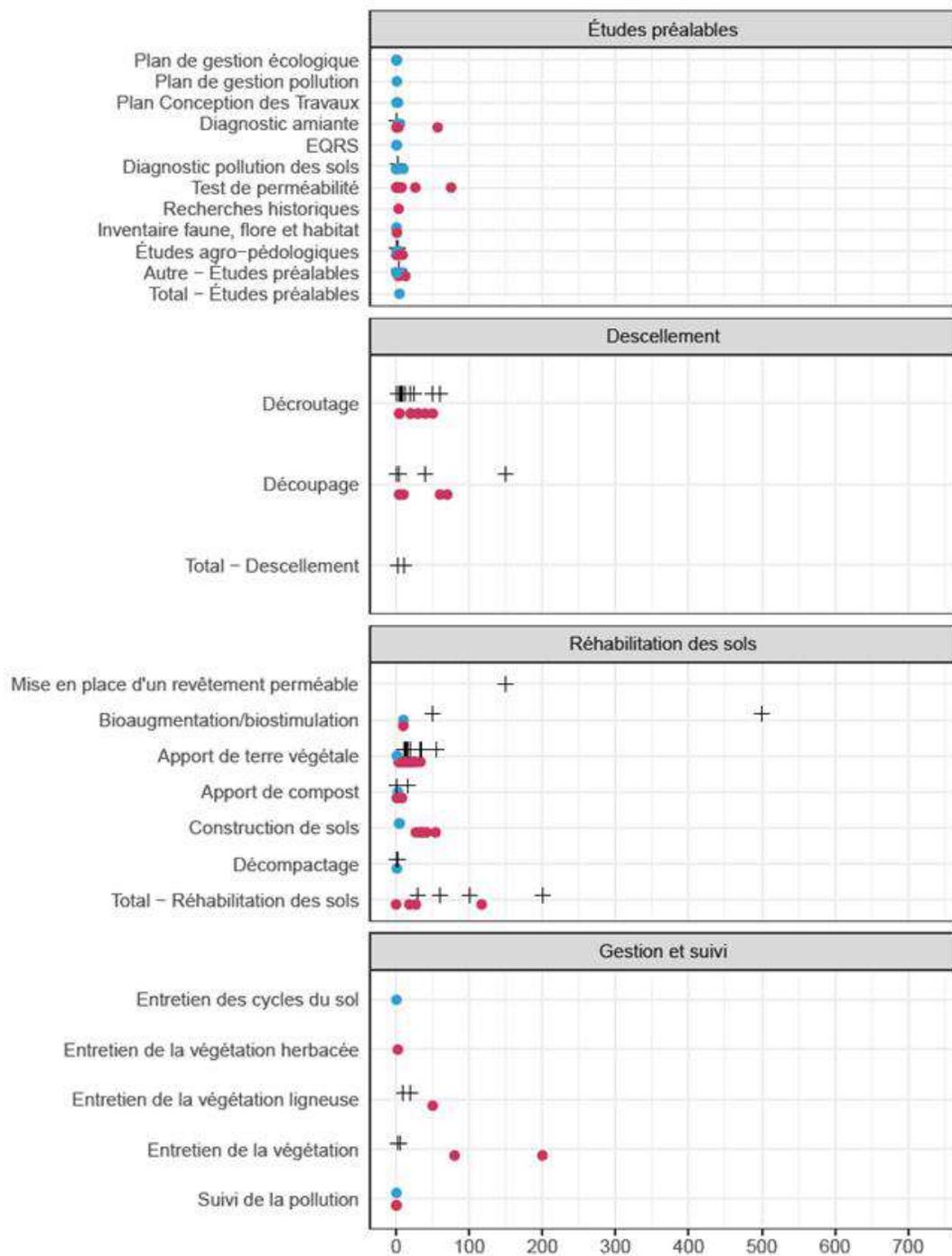
- Interprétation du statut statistique des estimations recueillies oralement
 - “environ 300€/ha” (*médiane*)
 - “pas plus de 1000€/m²” (*maximum*), “au moins 5€/t” (*minimum*)
 - “entre 40 et 50€/t” (*plage médiane*)
- Conversion en €/m²

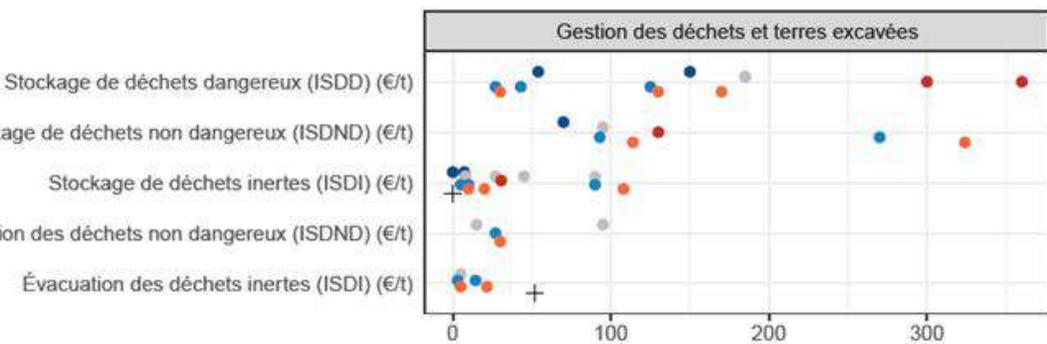
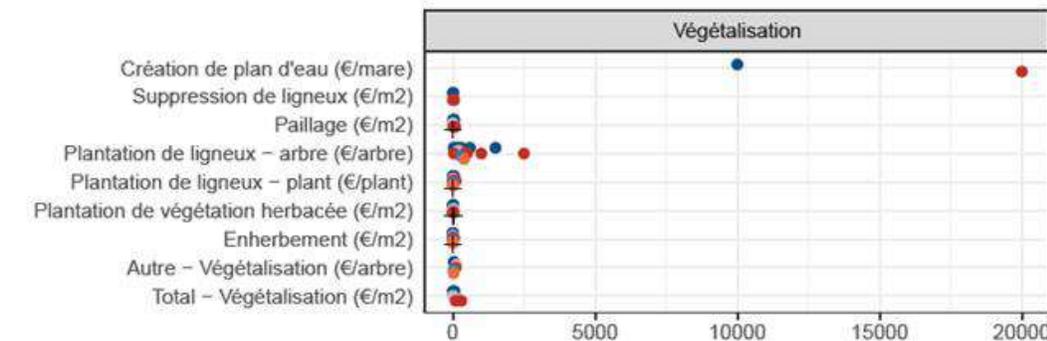
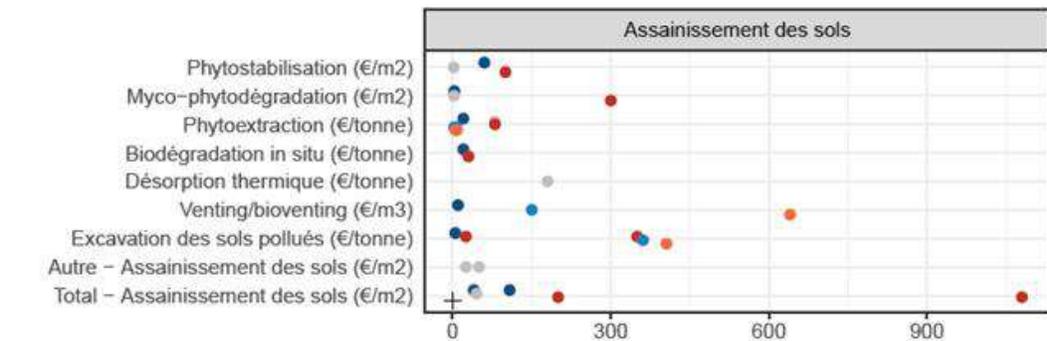
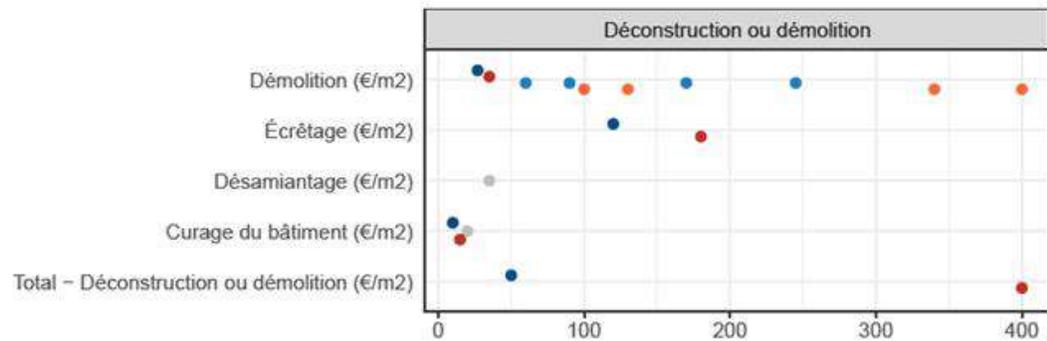
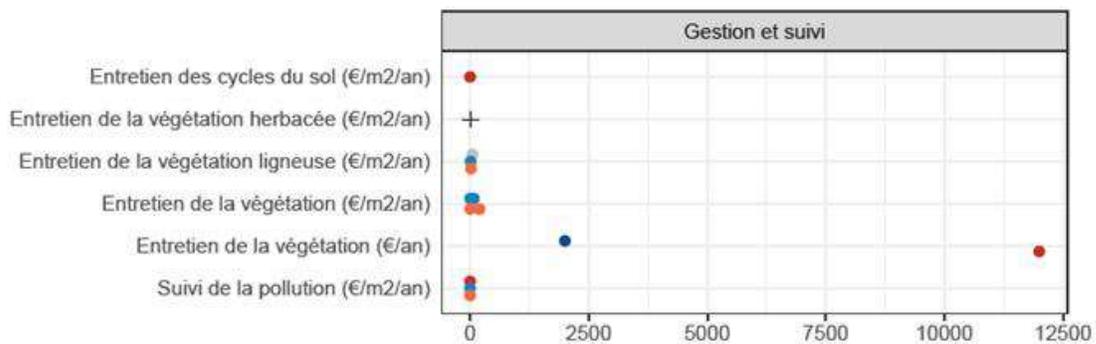
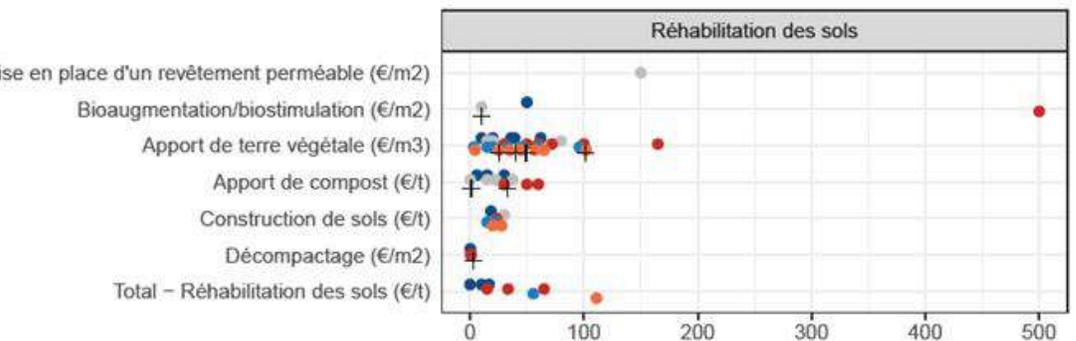
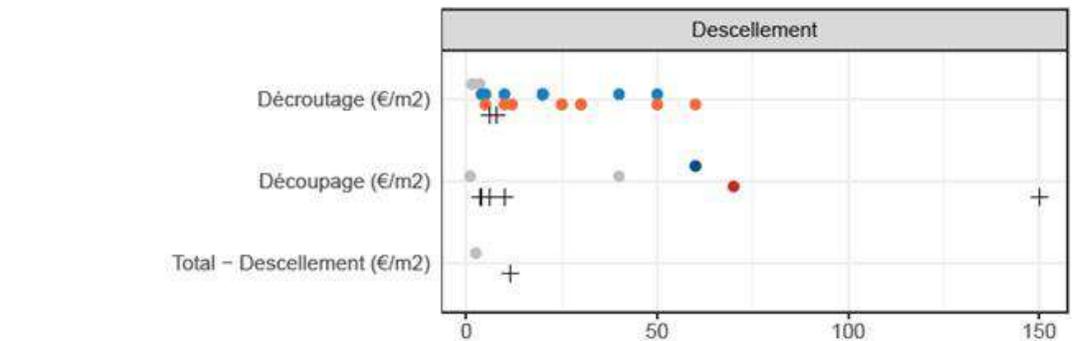
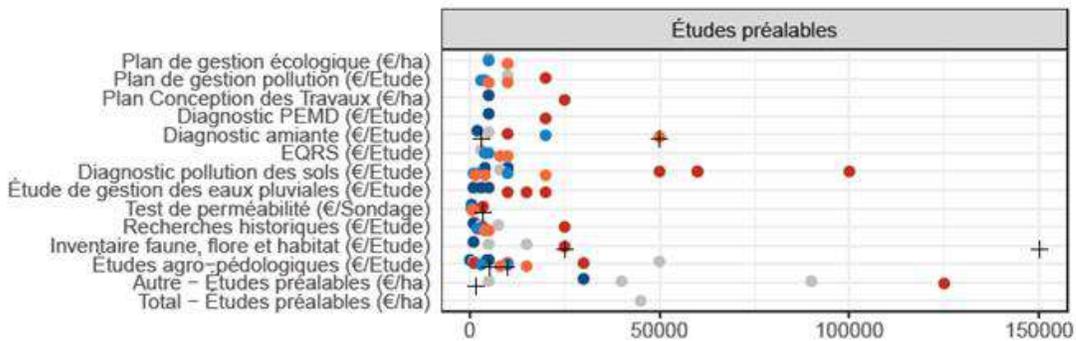
Recueil de techniques

- Une segmentation à deux niveaux
 - 10 composantes (étapes)
 - 64 techniques ou prestations









Type de couts :

- Maximum
- Median max
- Median
- Median min
- Minimum
- ✚ Observation

Cout (€/...)

Limites de la méthode

- **Une approche qualitative d'un phénomène quantitatif**
 - Évaluation à dire d'expert offre des informations synthétisées
 - Pas d'évaluation chiffrée de l'effet des facteurs de variabilité
- **Force et faiblesse de ce niveau de détail (64 techniques)**
 - Vision compréhensive des techniques; coûts plus stables à cette échelle
 - Difficulté de recueillir un nombre d'estimations significatif pour chaque technique
- **Estimer les coûts de restauration est une opération complexe**
 - Diversité d'itinéraires techniques et de choix de restauration écologiques des sols; des coûts très sensibles à ces choix, mais aussi aux variables contextuelles
 - La restauration écologique (y compris des sols) est faite d'incertitudes et de "surprises" (bonnes ou mauvaises) qui limitent la prédictibilité des résultats et des coûts associés