



Les coûts de la restauration des sols urbains

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

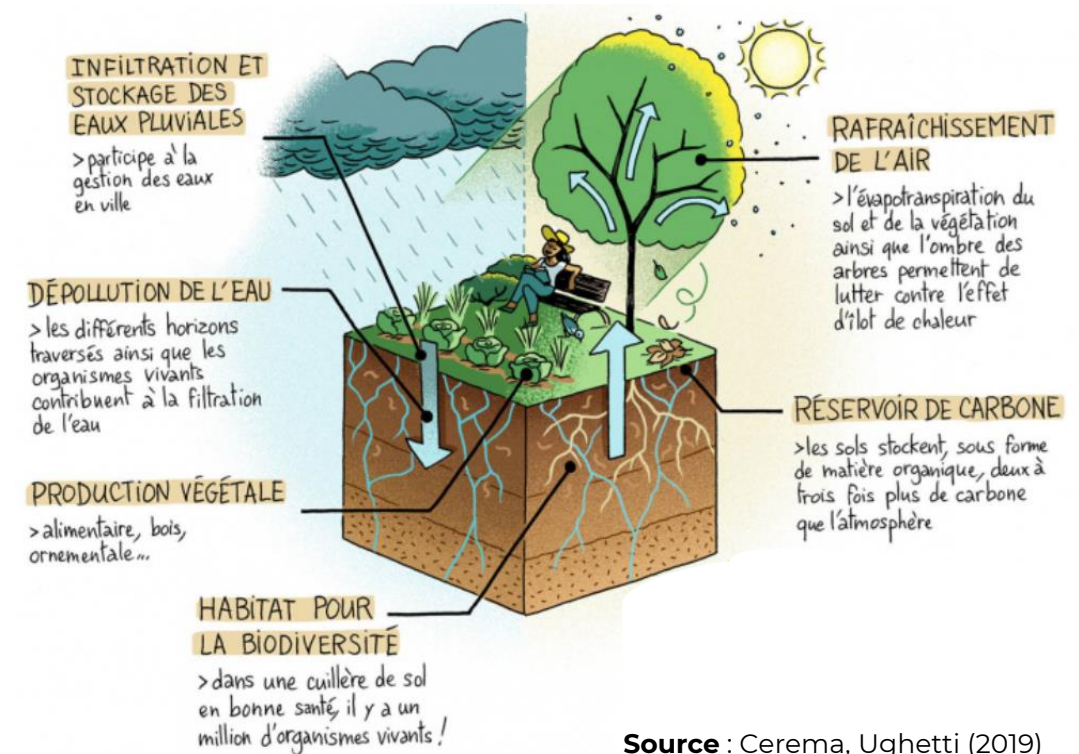
1. INTRODUCTION

Restaurer les sols devient un enjeu politique

- **La restauration : une pratique ancienne et un domaine d'étude scientifique**
 - Mise en lumière par Marsh (1864) d'après son observation de la politique de « restauration des terrains de montagne » en France et Italie
 - Une sous-discipline de l'écologie depuis les années 1980, des revues scientifiques dédiées
- **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
 - Décennie des Nations unies pour la restauration des écosystèmes (2021 – 2030)
 - 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
 - Directive sur la surveillance et la résilience des sols [*proposition*] : encourage la « régénération » de la santé des sols
 - **France** : Objectif « zéro artificialisation nette » → “désartificialisation” des sols

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).

Quand la régulation 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
 - intérêt tardif pour les services écosystémiques rendus par les sols urbains et les enjeux spécifiques que les sols urbains posent à la restauration ([Byrne, 2023](#); [Pavao-Zuckerman, 2008](#))

- **Des connaissances techniques disparates**

- Des informations dispersées entre divers corps de métiers et domaines politiques
- Des 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

- [160 – 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 ?**

Objectifs et motivations de la recherche

Objectifs :

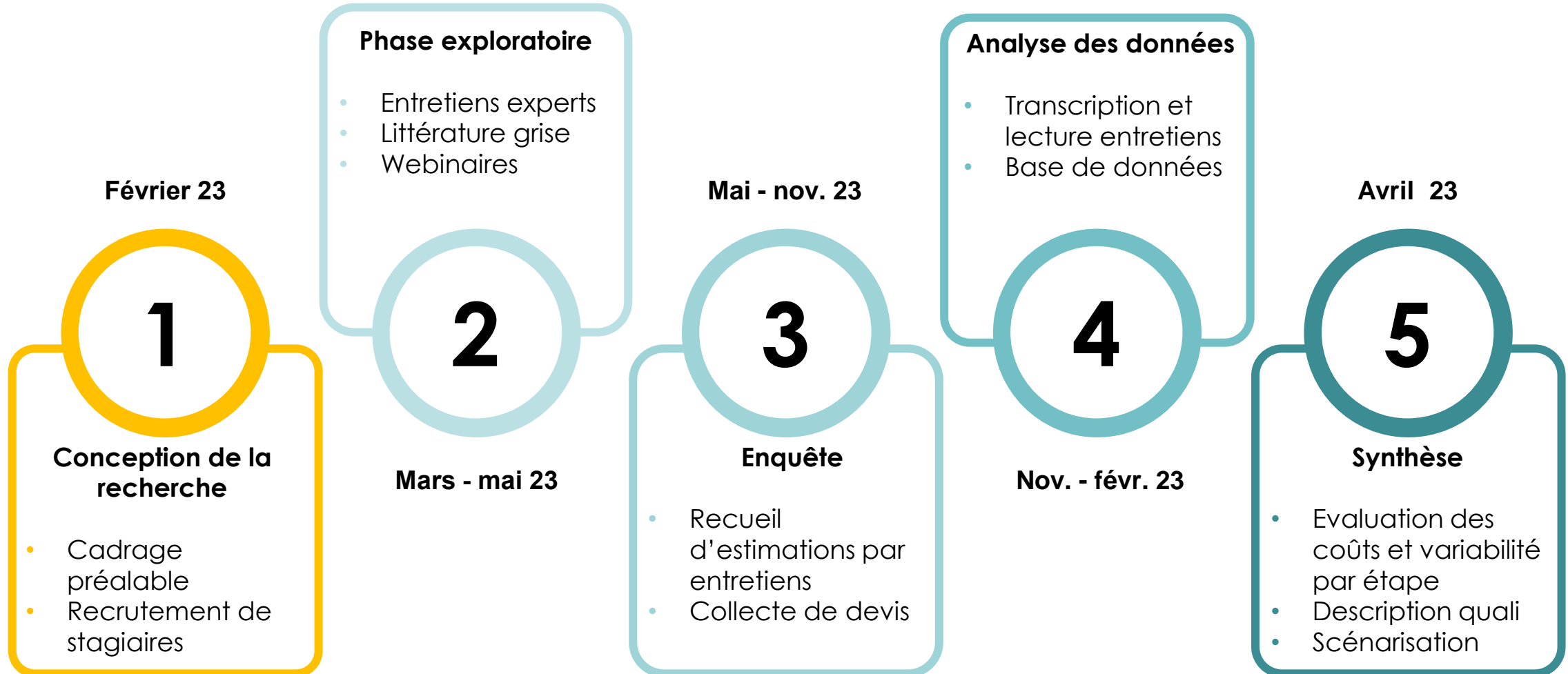
- Améliorer les connaissances sur les coûts de restauration des sols urbains
- Analyse méso-économique d'une filière en voie d'intégration
 - Ce volet de l'enquête n'est pas présenté ici

Motivations :

- Évaluer des « dettes écologiques » associées à l'artificialisation des sols
 - En comptabilité écologique la méthode des « coûts de préservation » permet d'évaluer la dette écologique associée à l'atteinte d'objectifs de bon état écologique d'une entité donnée ([Féger et al., 2022](#); [Kervinio et al., 2023](#))
 - Une autre manière de valoriser des sols fonctionnels, via la méthode des coûts de restauration (approche en « durabilité forte »)

2. MÉTHODE

Déroulé et avancement



a) Préparation du questionnaire

Entretiens exploratoires

- **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**

- **Quand ?** Entre mars et mai 2023
- **Comment ?**
 - Entretiens ouverts
 - Littérature grise
- **Qui ? 10 entretiens** avec des responsables de réseaux scientifiques, techniques ou professionnels liés au génie écologique ; scientifiques ; responsables de programmes de financement

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

Dix étapes de la restauration sols identifiées



b) Administration du questionnaire

Enquête – cadrage

- **Objectifs**

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

- **Réalisation**

- **Quand ?** Entre mai et novembre 2023
- **Comment ?**
 - Entretiens semi-directifs à partir d'un questionnaire
 - Recueil de devis ou autres documents de coûts
- **Qui ?** Circulation d'une annonce dans les réseaux A-Igéco ; recherches ad hoc ; échantillonnage en « boule de neige »

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

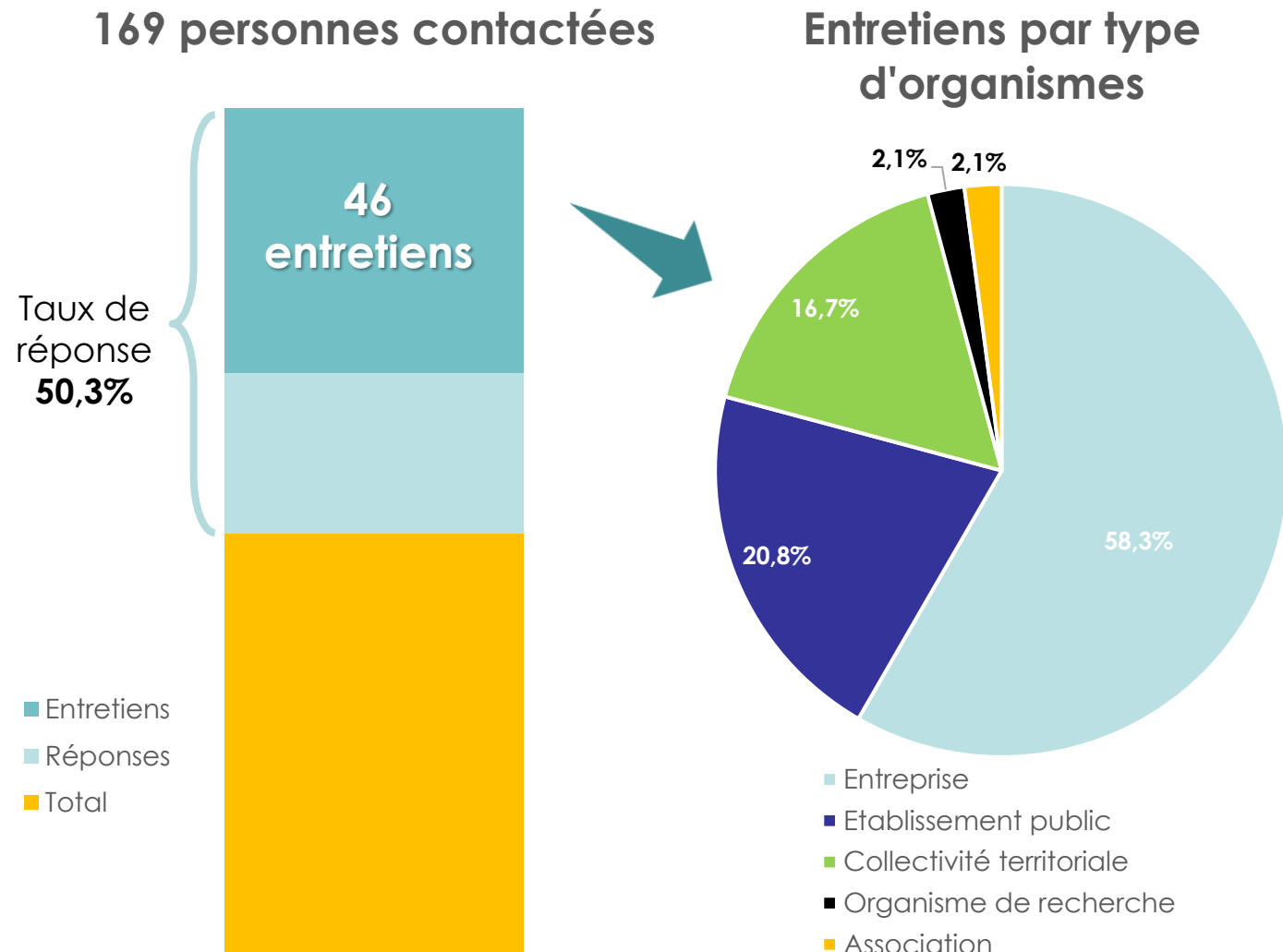
Source : Extrait du questionnaire

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 ?

Enquête – Administration du questionnaire



c) Analyse des résultats

Analyse et synthèse des données récoltées

- **Analyse quantitative**

- Base de données
- Analyse graphique

- **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*)
 - “de quelques euros à plusieurs centaines de milliers d'euros” (*plage min-max*)
- Conversion en €/m²

3. Résultats (PROVISOIRES)

Résumé des résultats présentés

- Recueil des techniques mises en œuvre pour chaque composante de la restauration des sols urbains et nombre d'estimations collectées par technique
- Estimations des coûts par technique, converties en € / m² pour comparabilité
- Principaux facteurs de variabilité susceptibles d'exercer une influence sur les coûts pour chaque étape de la restauration, et sens de cette influence (réduit ou augmente les coûts).

Ces résultats n'étant pas encore stabilisés et n'ayant pas encore fait l'objet d'une publication en bonne et due forme, nous préférons ne pas les diffuser à ce stade.

Suite des résultats (travail en cours)

- **Ajout de données de devis**
 - Une vingtaine de devis collectés et dont les données sont à ajouter à l'analyse
- **Analyse statistique**
- **Un enjeu de scénarisation**
 - Etapes et sous-étapes à effectuer ("itinéraire technique") propre à la situation :
 - À l'aide des devis, établir des scénarios pour présenter les coûts de manière agrégée

4. Discussion

Limites de la méthode

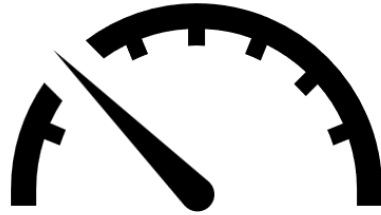
- **Une approche qualitative d'un phénomène quantitatif**
 - Évaluation à dire d'expert offre des informations synthétisées
 - Pas d'évaluation chiffrée de l'effet des facteurs de variabilité
- **Force et faiblesse de ce niveau de détail (64 techniques)**
 - Vision compréhensive des techniques; coûts 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

Usages possibles de ces coûts

- **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
- **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)
 - Avec certaines limites ...

Des appréciations conceptuelles diverses

Indicateurs de qualité des sols



Restauration [Scientifique]

Régénération [Droit UE]



Dégradation [Scientifique]

Artificialisation [Droit FR]



Catégories d'usage et/ou occupation des sols

Décret n° 2023-1096 du 27 novembre 2023 relatif à l'évaluation et au suivi de l'artificialisation des sols
[JORF n°0275 du 28 novembre 2023](#)



Surfaces artificialisées

Désartificialisation [Droit FR & UE]
= renaturation [Droit FR]



Artificialisation [Droit FR & UE]

Conso. d'ENAF [Droit FR]



Surfaces non artificialisées

5. Conclusion

Conclusion et suites de la recherche

- Pour l'instant, **nous avons obtenu des plages de coûts et des facteurs de variabilité** associés à différentes étapes d'un processus de refonctionnalisation des sols urbains
- Donner un coût indicatif d'un processus complet de restauration requiert de **définir des scénarios** (travail en cours)
- Au-delà des coûts, les données qualitatives collectées vont permettre d'effectuer une **analyse méso-économique de la filière de la restauration des sols urbains**

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>.