

SOMMAIRE

QU'EST-CE QUE LE SUIVI ET L'ÉVALUATION ?	3
POURQUOI FAUT-IL SUIVRE ET ÉVALUER ?	3
Preuve de l'impact et de la transparence	3
Validez vos hypothèses	3
Apprentissage et gestion adaptative	4
NOTRE CADRE HOLISTIQUE	4
RÉSUMÉ	4
AVANT DE COMMENCER	7
LES ÉTAPES DE LA RESTAURATION	8
INDICATEURS DE RESTAURATION	10
Indicateurs d'impact clés	10
Indicateurs d'impact spécifiques au contexte	10
PLAN D'ÉCHANTILLONNAGE	11
Le processus	12
LE CALENDRIER ET LA FRÉQUENCE	13
Séquence des activités de surveillance	14
DOCUMENTATION ET COMMUNICATION DES RÉSULTATS	15
DÉFINIR LE CONTEXTE DE LA RESTAURATION	16
Photos avant et après	16
Étendue de la restauration	17
Connectivité des habitats	17
Modification de l'occupation des sols	18
SANTÉ DU SOL	19
Indicateur 1 : Texture du sol	19
Indicateur 2 : Structure des sols et stabilité des agrégats	21
Indicateur 3 : Terre végétale	25
Indicateur 4 : Taux de décomposition des sachets de thé	26
Indicateur 5 : Niveaux de sédiments dans le sol	28
Indicateur 6 : Tassement du sol	29
(a) Test du pénétromètre	30
(b) Essai de densité apparente (et teneur en eau du sol)	31
Indicateur 7 : Percolation et rétention de l'eau	32
(a) Test de capacité de rétention d'eau (WHC)	34
(b) Essai d'infiltration de l'eau dans le sol	35

Indicateur 8 : pH	35
Indicateur 9 : Activité biologique du sol	36
Indicateur 10 : Faune du sol	39
BIODIVERSITÉ	40
Indicateur 11 : Diversité de la faune	40
Indicateur 12 : Diversité de la flore	45
CLIMAT (ATTÉNUATION)	47
Indicateur 13 : Différences de température	47
Indicateur 14 : Taux d'évapotranspiration	48
Indicateur 15 : Teneur en matière organique (SOM) et en carbone (SOC) du sol	50
Indicateur 16 : Capture du carbone en surface	55
LA PRODUCTIVITÉ DES ÉCOSYSTÈMES	56
Indicateur 17 : Services écosystémiques	56
Preuve de l'impact et de la transparence	58
Valider les hypothèses	58
Apprentissage et gestion adaptative	58
ANNEXE 1 : EXEMPLES DE CARACTÉRISTIQUES DU PAYSAGE EN TANT QUE CRITÈRES POUR LE PLAN D'ÉCHANTILLONNAGE	59
ANNEXE 2 : PLAN D'ECHANTILLONNAGE STRATIFIÉ AU HASARD	60
ANNEXE 3 : PRATIQUES DE PLANIFICATION ET DE CONCEPTION	61
ANNEXE 4 : JOURNAL DE LA NATURE	63
GLOSSAIRE DES CONCEPTS CLÉS	67
RÉFÉRENCES	70

QU'EST-CE QUE LE SUIVI ET L'ÉVALUATION ?

Le suivi est la collecte continue de données au cours d'une période déterminée. Par exemple, un délai standard pour le suivi est d'un an, avec des données de base collectées au début de l'année, avant qu'aucune activité du projet n'ait été mise en œuvre. Ensuite, un exercice de suivi "à mi-parcours" est réalisé, les données étant collectées 12 et 36 mois plus tard. Enfin, les données "quinquennales" sont collectées à la fin du cycle de suivi.

L'évaluation est l'analyse des données recueillies au fil du temps. Une fois que toutes les données ont été reçues, il est temps de comparer les données de base avec les données à mi-parcours et finalement les données finales (par ex. 5 ans) de chaque cycle de surveillance. Ce processus vous aide à évaluer l'évolution positive des écosystèmes et des populations.

POURQUOI FAUT-IL SUIVRE ET ÉVALUER ?

Le suivi et l'évaluation (S&E) exigent du temps et de l'énergie qui pourraient être consacrés à des activités de restauration sur le terrain. Il est donc pertinent de se demander pourquoi il s'agit d'un investissement judicieux et nécessaire de nos ressources. Parmi de nombreuses raisons, trois d'entre elles méritent d'être soulignées :

Preuve de l'impact et de la transparence

Ce cadre a été conçu pour montrer les transformations écologiques et sociales qui ont lieu au sein et autour des projets de restauration des écosystèmes. Une fois que nous aurons la preuve de l'impact de notre travail, nous pourrions partager avec le monde entier des cas et des histoires qui ont fait leurs preuves, ce qui renforcera notre légitimité et notre crédibilité et augmentera notre base de soutien et nos revenus. Il est essentiel de rendre compte des progrès de la restauration des écosystèmes afin d'impliquer les décideurs politiques, les partenaires, les propriétaires terriens et les donateurs.

Validez vos hypothèses

L'un des objectifs de ce guide est de vous aider à vous plonger dans vos propres hypothèses et dans l'écologie de votre site spécifique. Le suivi nous aide donc à rechercher des hypothèses spécifiques ou des modèles conceptuels¹, et à comprendre comment nos activités de restauration affectent les écosystèmes avec lesquels nous travaillons.

Apprentissage et *gestion* adaptative

De bonnes données permettent d'améliorer en permanence le travail sur le terrain grâce à une gestion adaptative. Bien que la plupart des cas soient très complexes

¹Vous trouverez plus d'informations sur les "modèles conceptuels" dans le glossaire des concepts clés.

et nécessitent des solutions spécifiques au contexte, les bonnes pratiques peuvent être apprises (et partagées) avec d'autres lieux présentant des caractéristiques et/ou des pressions similaires.

NOTRE CADRE HOLISTIQUE

Nous avons créé ce cadre avec l'aide de plusieurs membres de notre équipe, de partenaires du CER, de bénévoles et de penseurs clés dans le domaine de la restauration des écosystèmes. Inspirés par le livre de Satish Kumar ⁽²⁾, nous avons conçu un cadre holistique basé sur trois composantes essentielles de la restauration des écosystèmes : Le **sol**, qui couvre la transformation écologique qui se produit sur le terrain ; L'**âme**, qui reflète les changements d'attitude et de comportement des gens ; **La société**, qui concerne l'impact positif sur les sociétés humaines et les économies liées à la nature dégradée des écosystèmes qui les entourent.

Ce document présente la dimension "**sol**" ou écologique de notre cadre, en mettant l'accent sur la communauté d'organismes vivants en relation avec leur environnement. Ces composantes biotiques et abiotiques interagissent en tant qu'écosystèmes par le biais de cycles de nutriments, de flux d'énergie et d'autres boucles de rétroaction³. Le suivi des changements au niveau des différents attributs écologiques permet de comprendre comment ceux-ci interagissent les uns avec les autres, ce qui est essentiel pour promouvoir des relations favorables à la vie et devenir efficace dans la restauration des écosystèmes.

RÉSUMÉ

Comme le montre le tableau ci-dessous, la première colonne comprend les résultats possibles (et souhaitables) de la restauration ; la deuxième comprend les indicateurs ou les attributs qui montrent si les résultats respectifs sont atteints ; la troisième colonne contient les méthodes/tests utilisés pour qualifier/quantifier les changements dans les indicateurs, et la dernière colonne indique le moment idéal pour la collecte des données.

² Kumar, S. (2013). *Sol, âme, société : une nouvelle trinité pour notre temps*. Lewes : Leaping Hare Press.

³ Pour plus d'informations, veuillez consulter la rubrique "boucles de rétroaction" dans le glossaire.

Tableau 1 Résumé des résultats/indicateurs inclus dans le cadre de référence

Résultats	Indicateurs	Méthodes	Quantité
Amélioration de la texture du sol	Texture du sol	Test de la jarre à terre	s/o
Amélioration de la structure et de la consistance du sol	Score de la structure du sol Score global de stabilité	Chute et éclatement Essai d'affaissement du sol	s/o
Augmentation de la couche arable	Longueur de terre végétale	Profil du sol	Printemps
Augmentation du taux de décomposition du sol	Poids des sachets de thé enterrés	Test de décomposition	s/o
Diminution de l'érosion des sols	Niveaux de sédiments du sol	Test d'accumulation de sol	Printemps
Diminution des niveaux de compactage du sol	Niveaux PSI Densité apparente	Essai au pénétromètre Test de densité en vrac	Printemps
Augmentation de la disponibilité de l'eau	%WHC Temps d'infiltration de l'eau	Test de capacité de rétention d'eau Test d'infiltration d'eau	Printemps
Amélioration du pH du sol	pH du sol	Test de pH	s/o
Amélioration de l'activité biologique dans le sol	Champignons/bactéries microbiens Nombre de vers de terre	microBiomètre Test sur les vers de terre	Printemps
Augmenter la biodiversité des sols	Faune du sol	Entonnoir Tullgren DIY	Printemps

Augmentation de la biodiversité	Diversité de la faune Diversité de la flore	Enquête par quadrats Test sur les insectes nocturnes Quadrat de plantes	Printe mps
Différences de température réduites	Différences de température	Enregistreurs de données	s/o
Réduction de l'évapotranspiration	Taux d'évapotranspiration	Atmomètres bricolés	Printe mps
Augmentation de la teneur en matière organique	% Teneur en matière organique du sol	Perte à l'allumage Essai en laboratoire Couleur du sol	Printe mps
Augmentation du carbone dans la biomasse	Stockage du carbone dans la biomasse	NDVI/imagerie satellite	s/o
Amélioration de la productivité des écosystèmes	Services écosystémiques	s/o	s/o

AVANT DE COMMENCER

Le suivi est un moyen essentiel d'apprendre ce qui se passe dans votre paysage. Chaque site de restauration est unique et se trouve à différents stades de développement, mais voici quelques éléments à prendre en compte avant de commencer à collecter des données.

Tout d'abord, vous devez vous familiariser avec l'écosystème dans lequel la restauration a (ou aura) lieu, et avec le type de problèmes que le projet de restauration abordera, y compris les pressions exercées sur l'écosystème ou les facteurs de dégradation. La collecte de données de base est très utile à ce stade, car elle permet de définir les objectifs de la restauration, ainsi que les processus de planification et de conception. En outre, une bonne pratique consiste à étudier des écosystèmes sains, en grande partie non perturbés, ou des "sites de référence" lors de la collecte des données de base.

Après avoir établi un *plan de restauration* spécifique au contexte (et/ou un *plan de restauration*), il est possible de définir les zones et/ou les techniques de restauration qui feront l'objet d'un suivi au fil du temps. Plus précisément, vous pouvez définir les différentes parcelles d'échantillonnage (c'est-à-dire les emplacements exacts sur votre terrain à partir desquels vous collecterez les données ; voir "Plan d'échantillonnage"). Enfin, la collecte de données au fil du

temps vous aide, ainsi que le grand public, à comprendre si ce que vous faites dans ces zones fonctionne ou non.

Par exemple, vous vous trouvez dans une zone où il y a peu de végétation et qui présente des signes d'érosion du sol. Comme vous vous y attendiez, vos données de base montrent de faibles niveaux de terre arable/matière organique/végétation par rapport à un site voisin non dégradé. Vous commencez donc à planifier des interventions de restauration (par exemple, amendements du sol, engrais verts) pour atteindre vos objectifs de restauration (par exemple, augmentation de la couche arable et de la diversité végétale). Vous sélectionnez ensuite des parcelles d'échantillonnage spécifiques et représentatives dans la zone que vous souhaitez restaurer, ainsi que dans le site non dégradé. Une fois que vous avez recueilli des données de base sur le(s) site(s), vous répétez l'exercice au fil du temps afin de savoir si les pratiques (par exemple le pâturage holistique) que vous avez mises en œuvre contribuent à la réalisation de vos objectifs de restauration.

En bref, le suivi de la restauration d'un écosystème commence par une évaluation de base, idéalement réalisée lors de la phase de "planification" (voir section suivante). Si vous en êtes déjà au stade de la "réalisation", il est important de prendre en compte les données historiques et les tendances et, si possible, de collecter des données de référence/de contrôle sur des sites voisins qui ressemblent à l'état de l'écosystème restauré avant la restauration.

Dans tous les cas, il est essentiel de documenter les approches de restauration qui ont été mises en œuvre ou qui le seront, y compris un plan de situation (physique ou numérique) montrant chacune des différentes zones et approches de restauration du projet. Ces conditions rendent l'exercice de suivi plus utile et plus significatif au fil du temps.

LES ÉTAPES DE LA RESTAURATION

Comme nous l'avons déjà mentionné, la tâche de suivi dépend de l'état d'avancement du projet de restauration.

Au stade de la **planification**, vous vous familiarisez avec le contexte social et écologique plus large de votre projet de restauration tout en explorant les types de problèmes et de défis que vous souhaitez relever. Outre l'élaboration de diagrammes du ou des sites de restauration par rapport au paysage environnant, des données doivent être collectées dans le cadre d'un "inventaire de référence" afin de documenter les éléments biotiques et abiotiques, les causes de la dégradation et le potentiel de rétablissement naturel (Gann et al, 2019). À son tour, ce processus peut informer une vision de restauration partagée pour votre projet et la formulation d'objectifs clairs, spécifiques et mesurables. Enfin, votre "conception/plan de restauration" comprend les *modalités* associées à ces objectifs, les activités de restauration que vous mettrez en œuvre et l'endroit où elles seront mises en œuvre - y compris les activités de suivi. (Voir également l'annexe 3 pour une vue d'ensemble des bonnes pratiques et des éléments de la phase de *planification de la restauration*).

La phase d'**exécution** de la restauration se manifeste sous diverses formes, mais elle implique généralement une coopération entre les responsables du CER, les bénévoles, les communautés locales et d'autres parties prenantes concernées (par exemple, les agriculteurs, les instituts de recherche, les organisations partenaires). Sachant quels sont les objectifs de restauration et les approches/domaines que vous souhaitez suivre, nous vous recommandons d'utiliser ce guide pour un suivi continu, afin de vérifier si vous êtes sur la bonne voie et de prendre en compte les résultats inattendus.

Lors de la phase de **révision**, les gestionnaires de projet/restauration peuvent utiliser leurs données et leurs processus d'évaluation pour effectuer une gestion adaptative et améliorer leurs "conceptions/plans de restauration" en conséquence. À ce stade, les projets de restauration sont en mesure de partager et de diffuser les enseignements tirés au sein d'une communauté mondiale de restauration des écosystèmes.



Figure 1 Parcours de restauration adaptative

INDICATEURS DE RESTAURATION

En règle générale, nous conseillons de surveiller les principaux indicateurs d'impact énumérés ci-dessous et de donner la priorité aux indicateurs spécifiques au contexte en fonction des objectifs du projet de restauration et des ressources disponibles pour la surveillance. Plutôt que d'essayer de mesurer autant d'indicateurs que possible dès le départ, nous conseillons d'inclure progressivement d'autres indicateurs. Cela permet de s'assurer que les plans de suivi et d'évaluation sont réalistes et se poursuivent à long terme.

Indicateurs d'impact clés

Nous reconnaissons la grande diversité des écosystèmes et des résultats associés aux initiatives individuelles d'ERC/restauration. Cependant, comme mentionné ci-dessus, notre ambition est de démontrer l'impact du mouvement ERC mondial, ce qui est plus facile à dire qu'à faire... Travailler avec un ensemble d'indicateurs d'impact clés (ou principaux) facilite le processus d'agrégation, de comparaison et de partage des données provenant des sites de restauration dans le monde entier et au fil du temps. Les indicateurs clés d'impact de l'ERC sont les suivants

- Taux de réussite après 1 an de plantation (cultures pérennes, arbustes et/ou arbres)
- Photos avant et après
- Zone de restauration
- Taux de survie des arbres (% à partir du comptage des arbres abattus ou à l'aide de la [cartographie des arbres](#))
- Biodiversité (flore ET/OU faune)
- Matière organique et teneur en carbone du sol
- Tassement du sol OU Infiltration de l'eau

Indicateurs d'impact spécifiques au contexte

Reconnaissant que chaque écosystème est complexe et unique, nous conseillons d'envisager un ensemble de résultats et d'indicateurs spécifiques au site, qui peuvent inclure - mais ne doivent pas se limiter à⁴ - ceux inclus dans ce cadre. Nous recommandons de tenir compte des contraintes en matière de suivi et d'évaluation afin d'orienter la sélection des indicateurs pour le suivi de la restauration des écosystèmes⁵. Compte tenu des objectifs à long terme typiques des efforts de restauration, il est judicieux de prendre en considération le temps, les efforts, l'expertise et la technologie nécessaires au suivi des différents indicateurs de restauration des écosystèmes. Par exemple, les initiatives/projets de restauration qui sont soumis à des contraintes financières sont plus susceptibles de donner la priorité à des systèmes de surveillance abordables. D'autres considérations ou questions se posent en ce qui concerne les attributs écologiques eux-mêmes : quelles sont les données disponibles ? Ces indicateurs écologiques représentent-ils de manière exhaustive les résultats souhaités par le projet en matière de restauration ?

PLAN D'ÉCHANTILLONNAGE

Les écologistes et tous ceux qui travaillent avec les statistiques reconnaissent depuis longtemps la difficulté d'enquêter sur des populations et des écosystèmes

⁴ Par exemple, la mesure des concentrations de certains éléments dans le sol peut être un bon exercice pour un projet visant à assainir un site contaminé.

⁵ Vous pourriez le faire en classant les indicateurs écologiques ici proposés sur la base de différents critères d'évaluation. D'excellents conseils sur la manière de procéder sont proposés au chapitre 3 de *The road to restoration : a guide to identifying priorities and indicators for monitoring forest and landscape restoration* (Buckingham et al., 2019).

entiers. Des plans d'échantillonnage bien conçus sont essentiels pour évaluer les changements dans les éléments et les relations qui caractérisent l'état général d'un site ou d'un écosystème. Un échantillonnage approprié est essentiel car nous voulons que nos échantillons soient représentatifs des zones que nous surveillerons et que nous puissions analyser (comparer et agréger) les données de plusieurs sites de restauration d'écosystèmes. Nous expliquons ci-dessous comment définir les parcelles de surveillance et les points d'échantillonnage.

Dans notre contexte, une zone fait référence à un espace spécifique que vous souhaitez restaurer et surveiller au fil du temps. Les points ou parcelles d'échantillonnage sont les endroits exacts à partir desquels nous recueillons des données, sélectionnés pour représenter chacune de ces zones. Les parcelles/points d'échantillonnage doivent donc rester accessibles tout au long du processus de restauration de l'écosystème.

Le processus

Si vous réalisez une étude de base, choisissez au moins 10 points d'échantillonnage sur le site que vous espérez restaurer (sur lequel aucune infrastructure ne sera construite). Si vous êtes déjà en train de "faire" de la restauration, vous trouverez ci-dessous une liste de considérations importantes pour la définition des zones. En règle générale, un plus grand nombre de points d'échantillonnage signifie des données/résultats plus significatifs. Cependant, cela signifie également que le suivi nécessitera plus de temps et de ressources. Nous recommandons donc de commencer par surveiller un petit nombre de zones et de points d'échantillonnage, puis de collecter progressivement des données pour les zones restantes.

S'il y a dix zones, sélectionnez les cinq plus importantes et définissez au moins deux points d'échantillonnage dans chacune d'elles. Les années suivantes, vous pouvez faire de même pour les zones restantes ou augmenter le nombre de points d'échantillonnage dans les zones que vous surveillez.

Définition des zones de surveillance⁶

Certains facteurs doivent être pris en compte pour déterminer les zones spécifiques à surveiller. Ces facteurs sont propres à chaque site, mais nous recommandons de définir des zones sur la base des éléments suivants :

- 1) Différentes approches de restauration/"traitements expérimentaux" (y compris des sites de contrôle pour représenter une approche "sans rien faire")
- 2) Sites de référence⁷ (dans des zones largement non perturbées/conservées qui peuvent représenter l'écosystème ou les écosystèmes souhaités)
- 3) Sites de référence ou de contrôle⁸, en particulier lorsque les inventaires de référence font défaut ; les parcelles voisines représentent l'état d'un écosystème avant sa restauration, ainsi que les changements (de fond) consécutifs à une "approche de maintien du statu quo".

⁶ Si l'on travaille avec une approche de restauration particulière, les caractéristiques du paysage doivent être prises en compte dans la définition des différentes zones de surveillance (y compris les sites de contrôle et de référence). Lorsque des activités de restauration sont mises en œuvre sans plan de restauration, nous conseillons de définir des zones en fonction des approches de restauration expérimentées, ainsi qu'au moins une zone de contrôle. Indépendamment de la taille du projet et des ressources de S&E, le zonage est crucial pour pouvoir suivre efficacement les efforts de restauration et les changements (inattendus) au fil du temps. À des fins de documentation, il est utile de créer des étiquettes pour chacune de vos unités de suivi (par exemple, en utilisant les trois premières lettres de la description de vos zones ; GRA pour pâturage ; CON pour contrôle ; etc.)

⁷ Le(s) site(s) de référence approprié(s) reflète(nt) le(s) écosystème(s) cible(s) du projet ; voir également le glossaire.

⁸ Base de référence par rapport à laquelle l'avancement des travaux de restauration est étudié par comparaison.

- 4) Différentes caractéristiques du paysage⁹ (par exemple, le type de sol, l'altitude, les niveaux d'humidité) afin d'intégrer les effets du paysage dans la définition des zones à surveiller.

Définition des points d'échantillonnage (ou simplement des échantillons)¹⁰

Les points d'échantillonnage doivent être représentatifs des zones et accessibles au fil des ans. Certains projets de restauration ne disposent pas des ressources nécessaires pour travailler avec de nombreux points d'échantillonnage. Nous conseillons de se concentrer sur le plus grand nombre de points d'échantillonnage (par zone) qu'il est possible de suivre de manière réaliste (voir également la section "Résumé"). Outre le nombre et la taille des zones, le nombre de points d'échantillonnage sélectionnés dépend de la capacité disponible pour la surveillance. Lors de la définition des points d'échantillonnage, marquez-les physiquement (à l'aide de bâtons et d'étiquettes) et numériquement en enregistrant leurs coordonnées géographiques sur la feuille d'enregistrement et en les représentant dans les polygones/cartes numériques du site du projet.

LE CALENDRIER ET LA FRÉQUENCE

Le passage d'un état dégradé à un état restauré est un processus à long terme. On peut donc se demander quand - et à quelle fréquence - il convient de collecter des données.

L'adoption d'un **calendrier** cohérent est essentielle pour garantir l'harmonisation et permettre l'agrégation et la comparaison des données dans le temps et entre les différents sites d'écosystèmes.

Nous conseillons de collecter des données écologiques au printemps, lorsque les graines et les animaux sortent de leur dormance hivernale et commencent leurs activités de reproduction et de nidification. Dans les écosystèmes non tempérés soumis à la saison des pluies et dont le printemps est moins évident, nous suggérons d'effectuer un suivi pendant ou à la fin de la saison des pluies.

- Période DC 1 (hémisphère nord et région tropicale sud) : avril/mai
- Période DC 2 (hémisphère sud et région tropicale nord) : octobre/novembre

Les données de référence représentent un "point de départ" ou un arrière-plan par rapport auquel le changement peut être mesuré dans le temps. Si des activités de restauration d'écosystèmes sont déjà en cours, les données de référence peuvent être collectées sur un site ressemblant à la manière dont la zone de restauration était gérée avant le début des travaux de restauration. En d'autres termes, nous conseillons de collecter des données sur des "sites de référence" représentant les

⁹ L'annexe 1 comprend une série de questions destinées à aider les praticiens à comprendre les processus de formation des sols et à étudier le paysage qu'ils tentent de restaurer.

¹⁰ L'annexe 2 présente la stratégie populaire d'échantillonnage aléatoire stratifié.

conditions qui prévalaient avant la restauration (voir également le point 3) de la section "Conception de l'échantillonnage").

En ce qui concerne la **fréquence de la collecte des données**, c'est à vous de décider de la régularité de ces tests, mais nous recommandons qu'ils aient lieu au moins trois fois (par exemple, y0, y1 et y5) au cours du premier cycle de restauration de 5 ans. La fréquence appropriée dépend également (a) des indicateurs spécifiques (certains attributs écologiques ont un taux de changement plus rapide, tandis que d'autres varient lentement) et (b) des conditions naturelles d'un écosystème (par exemple, les schémas saisonniers et météorologiques). (En général, les changements se produisent plus rapidement dans les écosystèmes tropicaux chauds et humides que dans les régions plus tempérées ou boréales). La description des indicateurs et des méthodes associées contient plus de détails sur le calendrier et la fréquence de la collecte des données.

Nous recommandons aux projets de restauration d'utiliser les données et les rapports de suivi et d'évaluation des cinq premières années pour réévaluer et mettre à jour leur vision, évaluer les objectifs du projet et adapter la gestion en conséquence. En fonction du degré de rétablissement atteint et des ressources allouées au suivi et à l'évaluation, nous conseillons d'étendre les efforts de suivi à plus long terme (par exemple en collectant des données tous les 3 ou 5 ans, pendant 15 ans).

Séquence des activités de surveillance

La planification de la séquence des activités de surveillance (avant la collecte des données sur le terrain) contribue à une allocation plus efficace des ressources de surveillance. Ceci est utile car certaines méthodes impliquent des étapes similaires (par exemple, creuser pour les tests "Structure du sol et stabilité des agrégats", et pour le "test sur les vers de terre"). Vous trouverez ci-dessous une séquence (proposée par d'anciens volontaires du CER) pour la réalisation des tests aux différents points d'échantillonnage :

Drop & Shatter - Jar - Topsoil - Earthworm - Slaking - Soil Organic Matter - pH...

DOCUMENTATION ET COMMUNICATION DES RÉSULTATS

Les bonnes pratiques de suivi contribuent à une compréhension globale des écosystèmes complexes et aident les praticiens à comprendre la place qu'ils occupent ou pourraient occuper dans ces écosystèmes. Outre la collecte de données au fil du temps, le succès du suivi et de l'évaluation dépend de l'existence de données bien documentées et de l'établissement de rapports sur les résultats.

Comme décrit ci-dessus, les sites d'échantillonnage seront utilisés pour étudier l'impact des efforts de restauration. Nous supposons que, dans une certaine mesure, les données peuvent être expliquées par les interventions humaines/de restauration (telles que les amendements du sol), mais que les changements de

fond (par exemple dus à des facteurs abiotiques) et spontanés/"naturels" jouent également un rôle. Il est donc essentiel de documenter les données écologiques de manière rigoureuse et de prendre en compte une série de facteurs et de variables (biotiques et abiotiques). Des ensembles de données de restauration complets et bien documentés facilitent l'étude des effets individuels et des effets d'interaction des différentes variables, ce qui permet de mieux comprendre l'*écologie locale* et de mieux informer sur les pratiques de restauration des écosystèmes. Une documentation appropriée facilite également la diffusion d'approches de restauration efficaces.

Par exemple, il est important de décrire exactement où et quand les mesures ont lieu, surtout si l'on suppose que différentes personnes collecteront les données au fil des ans. Nous avons créé des fiches d'enregistrement et des modèles de rapport de S&E (disponibles sur la [plateforme d'échange de connaissances du CER](#)). Vous trouverez ci-dessous une vue d'ensemble, étape par étape, de la manière d'enregistrer et de partager les résultats :

1. Enregistrer les coordonnées géographiques et les facteurs environnementaux

À l'aide de la feuille d'enregistrement fournie par la fondation ERC, notez les coordonnées géographiques exactes de vos sites d'échantillonnage pour chaque indicateur contrôlé. (Certains smartphones permettent de prendre des photos géoréférencées, ce qui vous évite d'avoir recours à des applications smartphone ou à des récepteurs GPS supplémentaires). Notez tout facteur environnemental ou événement inhabituel qui attire votre attention concernant la température, la lumière, la salinité, la proximité de polluants, etc., en utilisant une colonne "notes" dans la feuille d'enregistrement ou un journal de suivi et d'évaluation.

2. Télécharger les données dans la base de données libre d'accès du CER

Si vous n'enregistrez pas directement vos données dans notre base de données ouverte ou (feuille de calcul en ligne), prenez le temps de copier au moins les données de votre feuille d'enregistrement physique sur une feuille numérique. De préférence, faites-le dès que possible, pendant que vos observations et vos rencontres inattendues sont "fraîches".

3. Évaluer et communiquer les résultats

Une fois que toutes les données ont été collectées, il est temps d'évaluer les résultats. L'examen des données, l'évaluation des tendances et l'élaboration de conclusions constituent ce que nous appelons l'"évaluation". Les rapports d'évaluation peuvent être communiqués aux donateurs pour prouver l'efficacité de notre travail. Nous vous recommandons de rédiger un rapport de référence après avoir recueilli les données écologiques initiales, en résumant vos conclusions et la manière dont elles vont influencer la restauration de votre terrain (y compris une description de vos objectifs et/ou des sites de référence). Les années suivantes, vous pourrez comparer et analyser les données collectées par rapport aux valeurs de référence, aux contrôles et aux sites de référence. Nous proposons que les collecteurs de données et les chefs de projet de restauration coproduisent un rapport à la fin de chaque cycle de suivi.

DÉFINIR LE CONTEXTE DE LA RESTAURATION

Cette section met en évidence les éléments clés permettant de cartographier le contexte éco-social des projets de restauration. Nous conseillons de documenter ces éléments dans le cadre d'un inventaire de base et/ou d'un plan de restauration, qui peuvent être partagés avec les parties prenantes concernées et par le biais des canaux de communication du projet.

Photos avant et après

L'un des moyens les plus simples et les plus attrayants de montrer les changements dans les écosystèmes consiste à prendre des photos avant et après des zones en cours de restauration. Les meilleures images avant et après sont prises avec des drones. Si vous n'avez pas accès à un drone¹¹, utilisez la "méthode de photographie à point fixe" décrite ci-dessous, qui consiste à prendre des photos du site depuis le(s) même(s) point(s) au fil du temps.

Méthode :

1. Marquez des points spécifiques sur votre (vos) zone(s) à l'aide de bâtons ou de drapeaux étiquetés. (Si possible, marquez également la hauteur à laquelle vous prendrez une photo avec l'appareil photo de votre smartphone).
2. À partir de ces points, prenez une photo de la (des) zone(s) OU, si vous disposez d'un drone, utilisez le marqueur comme référence lorsque vous prenez une (des) photo(s) aérienne(s).
3. Laissez les marqueurs en place et prenez une nouvelle photo au même endroit et sous le même angle un an plus tard.
4. Stocker ces photographies dans la base de données du CER (et dans un dossier numérique) et les envoyer à hello@erc.earth

Étendue de la restauration

Étant donné que les bénéfices de la restauration des écosystèmes sont plus importants à grande échelle, l'étendue de la restauration est un élément important de la restauration des écosystèmes. (Il est à noter que le CER accueille et soutient des projets de toute taille).

Méthode

1. Dessinez des polygones de la zone en cours de restauration (dans votre propre site de restauration ou au-delà de la clôture lorsque vous contribuez à la restauration d'autres sites) et de la zone de restauration potentielle (c'est-à-dire la zone où vous savez que la restauration pourrait avoir lieu même s'il n'existe pas de plans formels ou d'accords de propriété ; par exemple, pensez aux terres publiques ou privées voisines qui pourraient être affectées à la restauration dans le cadre d'un effort de collaboration visant à établir des corridors pour la faune, à reproduire ce que vous faites sur votre site, ou peut-être là où vous pourriez effectuer un travail de conseil en matière de restauration).

¹¹ Vous pouvez vous adresser à hello@erc.earth pour obtenir des images de votre site par drone à un prix abordable.

2. Certaines plateformes (par exemple Restor, MyMaps) peuvent générer automatiquement l'étendue ou la surface (m² ou ha) que vous souhaitez analyser,
3. Enregistrer l'étendue de la zone en cours de restauration et la zone de restauration potentielle (m² ou ha), ainsi que la date.

Connectivité des habitats

Dans le cadre de la restauration des écosystèmes, les processus de régénération naturelle jouent un rôle important et doivent être facilités. Souvent, les processus de régénération et la résilience des écosystèmes dépendent de la connectivité des habitats (par exemple, pour la dispersion des graines, la fourniture d'abris pour la faune, etc.) C'est pourquoi nous vous conseillons de mesurer la distance la plus proche entre les parcelles d'habitat à l'intérieur et autour des sites de votre projet.

Méthode

1. Identifiez et décrivez le(s) type(s) particulier(s) d'habitat que vous souhaitez voir se reconstituer dans/autour de votre (vos) site(s) de restauration (il peut s'agir de systèmes agroforestiers complexes basés sur les principes de la succession écologique et dans lesquels l'intervention humaine future est réduite au minimum ; il ne doit pas s'agir de zones agricoles, d'établissements humains, où l'intervention humaine est importante).
2. À l'aide de cartes régionales et/ou d'images satellite, mesurer la distance entre les parcelles de l'habitat particulier dans la zone du projet et/ou entre le projet et le paysage plus large ou l'environnement aquatique.
3. Calculer et enregistrer la distance moyenne entre les parcelles d'habitat

Modification de l'occupation des sols

La restauration efficace des écosystèmes va de pair avec la compréhension des pressions exercées sur la fonction des écosystèmes et la biodiversité associée. Étant donné que les changements préjudiciables de la couverture terrestre contribuent à la dégradation des écosystèmes terrestres et à la perte de biodiversité, le suivi de la couverture terrestre est d'une importance cruciale. Il vous aide à comprendre ce qui a précédé vos interventions ainsi que les tendances du paysage qui vous entoure.

Méthode

La détection de l'occupation des sols est un processus complexe qui implique la détection de la réflectance de différentes longueurs d'onde du spectre électromagnétique à l'aide de capteurs montés sur des satellites, qui nécessitent à leur tour des algorithmes "formés" et des données au sol pour l'étalonnage. Aujourd'hui, l'imagerie satellitaire en libre accès (provenant par exemple de satellites tels que Sentinel II) permet de réaliser facilement une évaluation rapide de l'évolution de l'occupation des sols. Certaines plateformes peuvent générer automatiquement les classes d'occupation du sol de la zone que vous souhaitez surveiller. En règle générale, les images satellites gratuites ont une résolution spatiale comprise entre 10 et 60 mètres (pixels égaux ou supérieurs à 100 m²). En fonction de cette résolution, vous pouvez être en mesure d'identifier les classes d'occupation du sol avant dégradation ou avant restauration de la ou des zone(s) qui vous intéresse(nt). Grâce à l'imagerie satellite prise à différents moments, vous pouvez observer les changements dans l'étendue de ces classes d'occupation du sol. En considérant les polygones de votre (vos) site(s) de restauration, enregistrez les changements dans les classes de couverture terrestre (% d'augmentation/diminution) chaque année sur votre feuille d'enregistrement.

Outils et plateformes numériques gratuits pour aider à surveiller les changements d'occupation des sols :

- <https://restor.eco/>
- <https://openlandmap.org/>
- <http://earthmonitor.org/>
- www.globalforestwatch.org/map/
- <http://maps.elie.ucl.ac.be/CCI/viewer/index.php>
- <http://earthenginepartners.appspot.com/science-2013-global-forest>
- http://trends.earth/docs/en/about/data_sources.html
- <https://www.oneearth.org/navigator/>

SANTÉ DU SOL

Indicateur 1 : Texture du sol

Comme pour la plupart des attributs physiques des sols, la texture du sol est davantage un indicateur informatif qu'un élément à modifier. Bien entendu, cet aspect peut lui aussi être surveillé au fil du temps si l'on cherche à modifier la texture du sol, mais il faut être conscient de la vitesse (lente) à laquelle le changement devrait se produire.

Moyens de vérification : Essai en bocal de sol¹²

Pourquoi

Le test du pot de terre détermine la proportion d'argile, de limon et de sable de vos sols, ce qui est essentiel pour comprendre la rétention de l'eau et des nutriments dans vos sols. Par exemple, les sols riches en argile ont tendance à bien retenir l'eau et les éléments nutritifs, mais ils sont également plus susceptibles de se compacter et de s'engorger en conditions humides, ou de "cuire" en conditions sèches. Les sols sablonneux ont généralement une structure plus stable et ne retiennent pas très bien l'eau et les éléments nutritifs.

Résultats

Les sols sableux contiennent de grosses particules ou grains et permettent un développement et une pénétration faciles des racines, mais ils ne retiennent pas longtemps l'eau et les éléments nutritifs.

Les sols limoneux contiennent des particules de taille moyenne et retiennent bien l'eau, les nutriments et les racines. Cependant, les sols limoneux sont facilement emportés par les eaux de ruissellement et/ou peuvent se compacter.

Les sols argileux sont constitués de très petites particules - les plaquettes - avec un rapport surface-masse élevé, ce qui signifie que les sols argileux peuvent très bien retenir l'eau et les éléments nutritifs, peut-être trop bien parfois... Trop bien, parce qu'ils peuvent former des "marmites dures" lorsqu'ils sont secs et/ou devenir très compacts lorsqu'ils sont humides, ce qui rend difficile la pénétration des racines et même des outils de jardinage.

Souvent décrits comme les "meilleurs sols de jardin", les sols limoneux sont constitués d'un mélange de 30 à 50 % de sable, de 30 à 50 % de limon et de 20 à 30 % d'argile, avec 5 à 10 % de matière organique.¹³

Matériel nécessaire

- Bocal en verre
- Minuterie
- L'eau
- Règle/mesure à ruban

¹² Adapté de *The Permaculture Research Soil Test Handbook (Manuel d'analyse du sol de la recherche en permaculture)*

¹³ Comme décrit dans "Teaming with Microbes : The Organic Gardener's Guide to the Soil Food Web" par Lowenfels & Lewis (2010).

- Marqueur à pointe fine

Méthode

1. Marquez votre (vos) bocal(aux) à la moitié du volume total, puis divisez-le(s) en deux (vous devriez obtenir 4 marques à $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$ et $\frac{4}{4}$ de la capacité du bocal).
2. Prélever une tranche verticale de sol d'environ 30 cm de profondeur à chaque point d'échantillonnage.
3. Enlever les grosses pierres ou les matières organiques, puis casser tous les morceaux.
4. Remplir la moitié du (des) pot(s) avec de la terre
5. En utilisant vos doigts, appuyez sur la terre autant que possible pour réduire l'espace poreux et le niveau de terre sur le côté du pot à l'aide d'un stylo.
6. Remplir le(s) bocal(aux) d'eau jusqu'aux $\frac{3}{4}$ et agiter vigoureusement pendant 3 minutes jusqu'à ce que la terre soit en suspension dans l'eau.
7. Posez le(s) bocal(aux) sur une surface plane où il(s) ne sera/seront pas dérangé(s) pendant au moins une journée et **démarrez la minuterie.**
8. Après 1 minute, marquer sur le côté du bocal le niveau des particules décantées au fond - il s'agit du volume de sable dans le(s) échantillon(s).
9. Au bout de 2 heures, marquez sur le côté du bocal le niveau des particules décantées - il s'agit du volume de limon dans le(s) échantillon(s).
10. Lorsque l'eau s'est éclaircie (cela peut prendre plus de 24 heures), marquez sur le côté du bocal le niveau des particules - il s'agit du volume d'argile contenu dans le(s) échantillon(s).
11. À l'aide d'une règle ou d'un mètre ruban, utiliser les distances indiquées sur le pot pour calculer les proportions relatives de sable, de limon et d'argile dans le(s) échantillon(s) de sol.
12. À l'aide du triangle de texture du sol ci-dessous, déterminez le(s) type(s) de sol avec lequel vous travaillez.
13. Enregistrez vos résultats

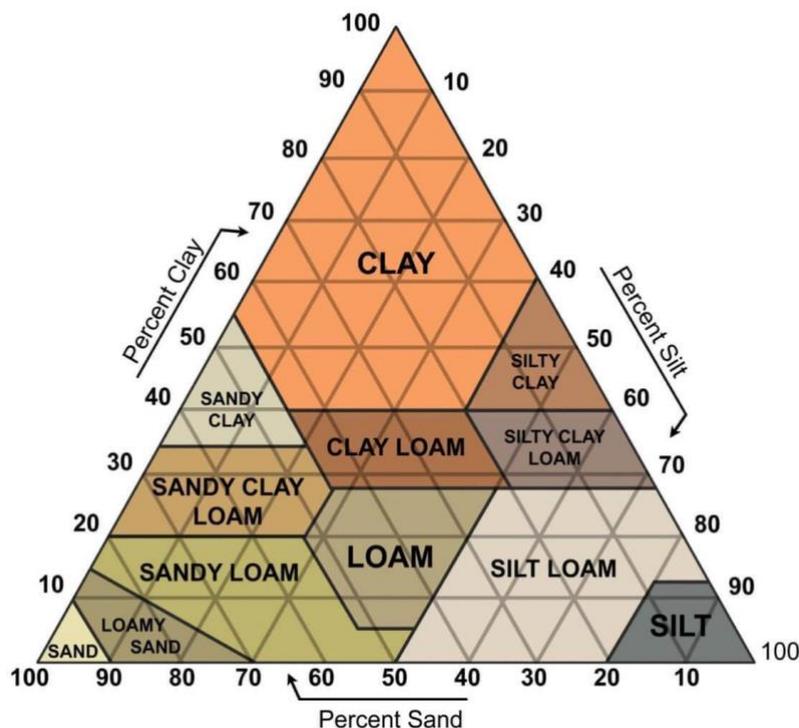


Figure 1 Triangle de classification des sols par texture

Indicateur 2 : Structure des sols et stabilité des agrégats

En tant qu'indicateur physique, la structure du sol et la stabilité des agrégats tendent à être corrélées avec la capacité d'un sol à fournir de l'eau et de l'air aux racines et au biote du sol.

Moyens de vérification (1) : Chute et éclatement¹⁴

Pourquoi

La structure du sol régule l'aération du sol et les taux d'échange gazeux, le mouvement et le stockage de l'eau, la température du sol, la pénétration et le développement des racines, le cycle des nutriments et la résistance à la dégradation structurelle et à l'érosion. C'est un facteur vital pour la germination et l'émergence des graines, la productivité et la qualité de la biomasse.

Résultats

Une bonne structure signifie que les racines des plantes peuvent explorer un plus grand volume de sol, de nutriments et d'eau. Au contraire, une mauvaise structure augmente la probabilité d'engorgement, de ruissellement/érosion de surface et de problèmes de drainage, limitant ainsi la quantité de nutriments et d'eau disponibles pour la croissance des plantes et d'autres (micro)formes de vie.

¹⁴ Adapté de

<http://adlib.eversite.co.uk/adlib/defra/content.aspx?id=000HK277ZX.0HDED9M9K7GFQ02>

En général, vous pouvez améliorer la structure du sol en y incorporant de la matière organique. Si vous avez affaire à une "cuvette peu profonde", il peut être utile de planter des plantes racines telles que des pommes de terre. Pour les problèmes de compactage plus profonds, vous pouvez envisager de ne rien faire ou de labourer une fois pour ameublir le sol, puis d'adopter des pratiques de conservation du sol et d'ajouter à nouveau de la matière organique.

Matériel nécessaire

- Récipient solide (peut être un seau/une boîte en plastique)
- Bêche de jardin
- Grand sac en plastique transparent

Méthode

1. À chaque point d'échantillonnage, il faut d'abord enlever la couche de terre arable de 0 à 5 cm contenant les systèmes racinaires denses, sans perturber le sol sous-jacent
2. Enlever un cube de terre végétale de 20x20x20cm à l'aide de la bêche
3. Laissez tomber l'échantillon de sol au maximum trois fois d'une hauteur d'un mètre (hauteur de la taille) sur la base ferme de votre conteneur. Si de grosses mottes se détachent après la première ou la deuxième chute, laissez-les tomber à nouveau individuellement une ou deux fois. Si une motte se brise en petites unités après la première ou la deuxième chute, il n'est pas nécessaire de la laisser tomber à nouveau. Ne laissez pas tomber un morceau de terre plus de trois fois
4. Séparez chaque motte à la main le long des plans de fracture ou des fissures exposées.
5. Transférer la terre dans un grand sac en plastique
6. Déplacez les parties les plus grossières à une extrémité et les plus fines à l'autre extrémité pour obtenir une mesure de la distribution de la taille des agrégats. Comparez votre répartition des agrégats avec les trois photographies ci-dessous.



2 = BON

1 = MODÉRÉ

0 = FAIBLE

- *Bon état (2) : Bonne répartition des agrégats les plus fins, sans motte importante.*
- *État modéré (1) : Le sol contient des proportions significatives de grosses mottes fermes et d'agrégats fins et friables.*
- *Mauvais état (0) : Sol dominé par des mottes extrêmement grossières et très fermes, avec très peu d'agrégats plus fins.*

Moyens de vérification (2) : Essai d'affaissement du sol

Remarque : le test d'ébullition n'est pas très efficace dans les sols à forte teneur en argile.

Pourquoi

L'effritement est un test simple qui renseigne sur la stabilité des agrégats du sol, la résistance à l'érosion et/ou la susceptibilité aux problèmes d'engorgement. L'effritement se produit lorsque de gros agrégats de sol secs à l'air (>3-5 mm) se décomposent en microagrégats plus petits (< 0,25 mm) lorsqu'ils sont soudainement immergés dans l'eau).

Résultats

En général, les sols à forte teneur en MOS ne se désagrègent pas facilement lorsqu'ils sont mouillés. En d'autres termes, plus il y a de matière organique - un composant qui maintient les particules ensemble dans les sols - plus le sol se désagrège lentement. Vous devriez viser un score de 1 pour chacune de vos zones.

Matériel nécessaire

- Feuille de filet de 1 cm
- Bouteilles/bocaux en verre (un pour chaque zone étudiée)
- L'eau

Méthode

1. Remplir le(s) bocal(aux) d'eau
2. Suspendez un morceau du filet à l'intérieur/au sommet de chaque pot (pour éviter que la terre ne tombe directement au fond).
3. Prélevez un agrégat de sol sec à l'air (4-6 cm de diamètre) dans chaque zone (si vous avez effectué le test d'inspection visuelle, sélectionnez trois mottes de sol de la taille d'un petit pois dans chaque tranche/zone de sol).
4. Placer différents fragments de sol dans différentes mailles/jarres.
5. Observer le fragment de sol pendant 10 minutes
6. Attribuez une note à chaque zone :

1= Froid complet/mauvais état (l'agrégat se décompose complètement en grains de sable)

2= Affaissement partiel/état modéré (les agrégats se cassent mais certains restent intacts sur le dessus)

3= Pas de fuite/bon état (pas de changement, l'eau est propre)

Références

-<https://www.isqaper-is.eu/soil-quality/visual-soil-assessment/73-soil-slaking-test-soil-stability>

-

<http://soilquality.org/indicators/slaking.html>

Indicateur 3 : Terre végétale

Moyens de vérification : Profondeur de la couche arable

Pourquoi

La régénération naturelle et la succession écologique assistée dépendent de la croissance de sols sains. Soutenant de multiples espèces végétales et animales dans des cascades trophiques complexes, les sols fertiles constituent la base d'écosystèmes biodiversifiés et résistants. La mesure de l'épaisseur de la couche de litière et de la couche arable (ou matière organique) vous indique si votre sol est nourri ou affecté négativement par certaines interventions.

Résultats

En soustrayant la mesure de la couche arable précédente* de vos propres mesures, vous êtes en mesure d'évaluer si certaines interventions contribuent à la croissance (si la valeur est positive) ou à la perte de la couche arable (si elle est négative). Il est évident que l'ampleur de la valeur indique la vitesse à laquelle la couche arable croît ou disparaît.

*à partir de la base de référence ou de l'étude de l'année précédente

Matériel nécessaire

- Pelle
- Ruban à mesurer

Méthode

1. À chaque point d'échantillonnage, creusez un trou d'au moins 50 cm de profondeur si possible (ou jusqu'à ce que le sol change de couleur, des tons plus foncés où les racines prospèrent au sous-sol plus clair avec peu ou pas de masse racinaire).
2. Si vous ne pouvez pas atteindre facilement cette profondeur, notez-le dans la fiche technique.
3. Mesurer l'épaisseur de la couche de terre arable (cm) dans chacun des trous, de la surface jusqu'à la limite avec la terre arable.
4. Calculer la profondeur moyenne de la couche arable pour chaque zone
5. Inscrivez ces valeurs (en cm) sur la feuille d'enregistrement et indiquez dans quelle catégorie elles se situent : très peu profond (VS) = <15 cm ; peu profond (S) = 15-30 cm ; moyennement profond (MD) = 30-50 cm ; profond (D) = > 50 cm).

6. Répétez l'opération chaque année (en creusant des trous à environ un mètre des marques, afin d'éviter de creuser là où la terre a été déplacée lors des mesures précédentes).

Références supplémentaires

Si vous souhaitez savoir ce qui se passe dans votre sol de manière plus approfondie, nous vous recommandons d'étudier le profil de votre sol, comme décrit ailleurs :

- http://www.fao.org/tempref/FI/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706e/x6706e02.htm
- <http://www.sciencepartners.info/smsp/module03/FieldProtocolSoils.pdf>
- https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/edu/?cid=nrcs142p2_054308
- <https://doityourselfforestryblog.wordpress.com/2016/05/27/what-are-the-different-soil-horizons/>

Indicateur 4 : Taux de décomposition des sachets de thé

Moyens de vérification : "Composition de thé".¹⁵

Note : contactez hello@erc.earth si vous souhaitez obtenir des sachets de thé pour ce test.

Pourquoi

L'évaluation de la décomposition de la "litière" dans les sols est une méthode couramment utilisée pour analyser les fonctions du sol telles que la décomposition de la matière organique et le cycle des nutriments. Le "test de teacomposition" est une méthode simple, bon marché et standardisée qui utilise des sachets de thé (vert et rooibos) disponibles dans le commerce comme "sacs à litière" préfabriqués. Idéalement, ce test est réalisé au début du mois de juin sur les sites situés dans l'hémisphère nord, ou en novembre/décembre sur les sites situés dans l'hémisphère sud. Le poids résiduel des sachets de thé est mesuré à 4 moments différents : 3 mois après l'enfouissement, puis 1, 2 et 3 ans après l'enfouissement.

Résultats

Cette méthode permet de calculer le pourcentage de thé décomposé dans chaque zone. Le taux de décomposition en dit long sur la biologie et le cycle des nutriments de votre sol. Outre les apports de carbone provenant de la végétation, les taux de décomposition sont essentiels pour prévoir si les sols perdront ou gagneront du carbone dans un climat changeant. En comparant les résultats entre zones ou même entre sites entiers, la gestion des interventions de restauration des écosystèmes peut être adaptée en conséquence. À l'avenir, ces données pourraient contribuer à une base de données mondiale et à la recherche sur la "composition en thé" des sols.

Matériel nécessaire

- 8 bâtons/poteaux métalliques par zone
- 16x Lipton Green tea bags (EAN no. : 8 722700 188438) par zone

¹⁵ Source : www.teacomposition.org/wp-content/uploads/2019/05/TeaComposition-protocol_GLORIA_final.pdf ; Pour plus d'informations sur l'initiative TeaComposition, voir : www.teacomposition.org

- 16x Lipton Rooibos tea bags (EAN no. : 8 722700 188438) par zone
- Stylo imperméable pour étiqueter les sachets de thé
- Sacs Zip-lock, tupperware ou tout autre récipient étanche avec couvercle
- Balances de pesée
- Petite bêche
- Ruban à mesurer

Méthode

1. Sélectionner deux zones d'échantillonnage représentatives d'au moins 1m², avec une pente douce (éviter les sites très pentus/plats le long de la pente) à l'intérieur de chaque zone.
2. Marquez physiquement ces zones à l'aide de bâtons, de piquets métalliques ou de pierres colorées afin de pouvoir les retrouver facilement.
3. Enregistrez l'altitude et les coordonnées GPS de ces zones et, si possible, le type de sol.
4. Étiquetez les sachets de thé avec un code d'identification unique qui représente le nombre de sachets (1-16), le type de thé, les zones que vous étudiez et la zone d'échantillonnage que vous étudiez (c'est-à-dire 1 ou 2) ; par exemple : 2GRCOM1 = deuxième sachet de thé vert enterré dans la "zone traitée avec du compost" dans la zone d'échantillonnage 1.
5. Peser les sachets de thé avant l'enfouissement (de préférence à la quatrième décimale) et enregistrer le poids.
6. Placer les sachets de thé dans un sac à fermeture éclair ou dans une boîte (tupperware) jusqu'à ce qu'ils soient brûlés.
7. Noter la date du début de l'incubation/de l'enterrement du thé.
8. À l'aide d'une ficelle et de clous, tracez 4 lignes dans chaque zone d'échantillonnage (chacune de 40 cm de long, avec 10 cm entre les lignes).
9. Creuser délicatement 4 fentes (tous les 10 cm environ, à une profondeur d'au moins 5 cm) le long de chaque ligne, afin de créer une poche pour les sachets de thé.
10. Dans chaque ligne, enterrer 2 sachets de thé vert + 2 sachets de thé rooibos à environ 5 cm de profondeur ou dans une couche de terre minérale en veillant à ce que les codes d'identification figurant sur les étiquettes soient visibles à la surface.
11. Planifiez les dates de prélèvement ou les points d'échantillonnage dans votre calendrier (3, 12, 24 et 36 mois après l'enterrement).

Récupération des sachets de thé...

12. Collecter 2 sachets de thé vert et 2 sachets de thé Rooibos (en évitant de tirer sur la corde et en soulevant le sol pour récupérer les sachets de thé) dans chaque parcelle (une ligne d'"incubation" par point d'échantillonnage).
13. Quatre sachets de thé vert et de thé Rooibos sont ainsi prélevés par point d'échantillonnage et par zone.
14. Nettoyer les sachets de thé des racines, de la terre, etc. (attention à ne pas endommager le sachet et à ne pas perdre de thé !) et noter si le sachet a été endommagé ou s'il a été trouvé à la surface.
15. Placer chaque sachet de thé dans un sac/boîte à fermeture éclair, en vérifiant l'étiquette (s'il en manque, reconstituer en fonction du numéro du sachet précédent/suivant dans la ligne).
16. Sécher les sachets de thé à 70 degrés pendant 48 heures.

17. Déterminer le poids d'un sachet de thé vide et noter le poids.
18. Enregistrer les résultats dans une fiche de données
19. Répéter la procédure après 12, 24 et 36 mois.

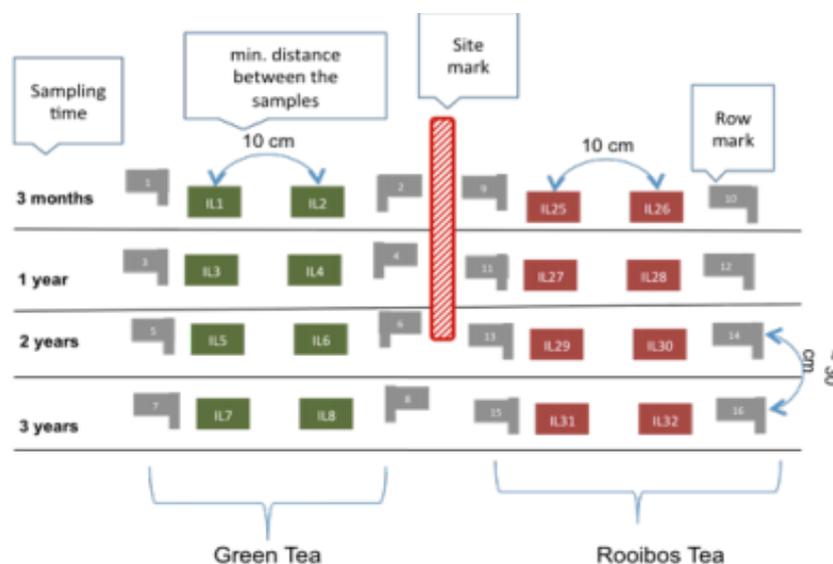


Figure 3 : Plan d'échantillonnage de TeaComposition⁴

Indicateur 5 : Niveaux de sédiments dans le sol

Moyens de vérification : Test d'accumulation de sol

C'est l'indicateur qui montre qu'il y a eu une accumulation de sol, plutôt qu'une perte, grâce à l'utilisation de pratiques régénératrices. Le moyen de le vérifier s'appelle le test d'accumulation de sol, dont les instructions figurent ci-dessous :

Pourquoi

L'utilisation industrielle moderne des sols est l'une des principales causes de l'érosion des sols. Lorsque le sol est dépourvu de végétation, la couche arable fertile se détache et peut facilement être emportée par le vent ou la pluie. En inversant cette tendance, il est possible d'accumuler le sol plutôt que de le perdre.

Résultats

En prenant la différence de hauteur moyenne entre les points de votre zone et en la multipliant par la taille de votre parcelle, vous obtiendrez une valeur estimée de la quantité de sol accumulée (ou perdue) sur votre terrain (exprimée en unité de volume). Vous pouvez ensuite estimer ces valeurs pour toutes les zones que vous souhaitez étudier et enregistrer la moyenne annuelle de l'accumulation de sol dans chaque zone.

Matériel nécessaire

- Tiges filetées de 1 mètre (disponibles dans votre quincaillerie locale)
- Peinture en aérosol

Méthode

1. À chaque point d'échantillonnage, enfoncez votre perche à moitié dans le sol (si le sondage est de 1 mètre, enfoncez-la dans le sol à 50 cm de profondeur), afin qu'elle soit bien en place et qu'elle ne bouge pas d'elle-même.
2. Peindre à la bombe le niveau auquel le poteau s'enfonce dans le sol
3. Revenez aux poteaux un an plus tard et marquez le niveau actuel du sol.
4. Noter les coordonnées de chaque endroit où des tiges filetées ont été installées.

Indicateur 6 : Tassement du sol

C'est l'indicateur qui montre qu'il y a une diminution du compactage du sol sur votre site.

Moyens de vérification : Nous proposons deux moyens de vérification différents. Le plus simple est le **test dit (a) du pénétromètre**, mais si vous ne disposez pas d'un pénétromètre, vous pouvez effectuer le **test alternatif (b) de la densité apparente** (pour lequel vous aurez besoin d'un four à micro-ondes).

Pourquoi

Le compactage du sol limite considérablement la capacité de croissance des plantes, car leurs racines peinent à pénétrer dans le sol et l'eau et l'oxygène peinent à les atteindre. La mesure du compactage de votre sol vous permettra de déterminer si les plantes que vous plantez pourront survivre ou si un décompactage plus important est nécessaire. Le compactage du sol est causé par l'élimination de la végétation et constitue une cause majeure de désertification.

(a) Test du pénétromètre

Matériel nécessaire : pénétromètre

Méthode

1. À chaque point d'échantillonnage, enfoncez le pénétromètre jusqu'à ce qu'il indique une pression supérieure à 300 psi.
2. Enregistrez la profondeur (à >300 psi) comme le "niveau supérieur" de votre couche de compactage.
3. Diminuer la pression tout en continuant à appuyer sur le pénétromètre jusqu'à ce que des valeurs de psi inférieures à 300 psi soient trouvées.
4. Enregistrer la deuxième profondeur/niveau (à <300psi) (c.-à-d. le bas de la "couche de compactage").
5. Répétez cette opération plusieurs fois dans chaque zone/unité de surveillance.

Résultats

Pour chaque zone étudiée, si la résistance du pénétromètre

- ne dépasse jamais 300 psi, il n'y a pas de compactage significatif contraignant les systèmes racinaires
- dépasse 300 psi mais ne tombe jamais en dessous de 300 psi, cela indique une couche de compactage profonde, qui sera probablement problématique pour les systèmes racinaires et pourrait nécessiter des activités de sous-solage.

% de points d'échantillonnage pour lesquels >300 psi dans les 40 premiers cm	indice de compactage	sous-sol recommandé
< 30	Peu ou pas	Non
30-50	Léger	Non
50-75	Modéré	Oui
>75	Sévère	Oui

(b) Essai de densité apparente (et teneur en eau du sol)

Matériel nécessaire

- Truelle de jardin
- Couteau à lame plate
- Sac scellable et marqueur
- Échelle (précision de 0,01g)
- Etain
- Règle ou mètre ruban
- Un marteau/mallet et un bloc de bois pour enfoncer l'anneau
- Four à micro-ondes

Méthode

1. Sélectionnez 1 point par zone - si ces zones ont été définies l'année dernière, éloignez-vous de 2 pas de la première.
2. Identifiez ces points par des chiffres, des lettres ou des noms, à la fois physiquement (marquage), sur le plan du site et sur la fiche technique, afin de pouvoir y revenir par la suite.
3. Enlever le haut et le bas de l'étain pour obtenir un tube métallique.
4. Enfoncer fermement la boîte dans le sol (avec un morceau de bois/un marteau) jusqu'à ce qu'elle atteigne $\frac{2}{3}$ de pouce.
5. Mesurer le diamètre de l'anneau et le diviser par deux pour obtenir le rayon.
6. Pour déterminer la profondeur exacte à laquelle l'étain s'est enfoncé dans le sol, mesurez la hauteur entre le sommet de l'étain et la surface du sol à quatre reprises régulièrement espacées et notez la moyenne, soustrayez-la de la hauteur totale de l'étain pour obtenir la profondeur à laquelle l'étain s'est enfoncé dans le sol.
7. Enregistrez les valeurs des étapes 6 et 7 sur votre feuille de données.

8. Creuser autour de l'anneau et l'enlever avec une truelle en dessous pour éviter la perte de terre.
9. Placer l'ensemble de l'échantillon dans un sac et l'étiqueter
10. Répétez cette opération pour chaque zone que vous souhaitez étudier
11. Notez le poids de votre (vos) échantillon(s) de sol humide (soustrayez le sac ou le récipient qui se trouve sur la balance).
12. Pour le séchage, placer le(s) échantillon(s) de sol dans un four à micro-ondes et effectuer 2 ou plusieurs cycles de 4 minutes à pleine puissance. Ouvrez la porte du four à micro-ondes pendant 1 minute entre les cycles pour permettre la ventilation. (Pour déterminer si le sol est sec, pesez l'échantillon et notez son poids après chaque cycle de 4 minutes. Si son poids ne change pas après un cycle de séchage, c'est qu'il est sec).
13. Mesurez le poids de votre échantillon de sol sec et inscrivez-le sur votre fiche de données.
14. Calculez la densité apparente en utilisant les formules de votre fiche de données (voir ci-dessous ; vous pouvez également calculer la teneur en eau et la porosité de votre sol !)

$$\text{Teneur en eau du sol (g/g)} = \frac{\text{weightofmoistsoil} - \text{weightofovendrysoil}}{\text{weightofovendrysoil}}$$

$$\text{Densité apparente du sol (g/cm}^3\text{)} = \frac{\text{ovendryweightofsoil(g)}}{\text{volumeofsoil(cm}^3\text{)}}$$

$$\text{Porosité du sol (\%)} = 1 - \left(\frac{\text{soilbulkdensity}}{2,65} \right)$$

Les résultats : En suivant ce protocole de manière systématique, on obtient une indication sur le degré de compacité ou d'ameublissement du sol. Une densité apparente élevée signifie que le sol est peu poreux et donc très compact.

Indicateur 7 : Percolation et rétention de l'eau

Moyens de vérification : Il s'agit de l'indicateur qui montre que le sol contient plus d'eau qu'avant le début de la restauration. Le test **(a)** de la **capacité de rétention d'eau** est utile si vous disposez d'un four qui peut rester allumé pendant 24 heures et d'une échelle sensible, mais si vous cherchez un moyen plus facile/rapide d'évaluer l'hydrologie de votre sol, effectuez le test **(b)** d'**infiltration de l'eau**.

Pourquoi

Les sols sains retiennent et infiltrent l'eau, ce qui n'est pas le cas des sols malsains. L'humidité du sol est la base de la photosynthèse et du fonctionnement de l'écosystème. Le CPM augmente généralement avec la teneur en matière organique et en carbone. Mesurez le CPM avant, pendant et après le processus de restauration pour suivre les changements.

Si vous ne pouvez pas effectuer le test WHC, la mesure de l'infiltration de votre sol en dit long sur le "comportement d'éponge" de votre sol ainsi que sur d'autres fonctions écologiques de stockage et de conservation de l'eau.

Les résultats de ces tests (ou de l'un d'entre eux) pourraient orienter les futures pratiques de gestion des sols de manière à favoriser l'infiltration de l'eau et à réduire les pertes d'eau dues au ruissellement et/ou à l'évaporation.

Résultats (WHC et test d'infiltration)

Une faible capacité de rétention d'eau ou une longue infiltration d'eau peuvent indiquer la présence d'une "cuvette dure", d'un fort compactage du sol et/ou d'un faible pourcentage de matière organique dans le sol. (En général, les sols argileux et peu profonds se drainent plus lentement que les sols sablonneux et profonds). Cela pourrait également entraîner des risques accrus de ruissellement de surface en cas de fortes précipitations. Nous obtenons ainsi une meilleure compréhension de la santé du sol ainsi qu'un aperçu des stratégies à privilégier. La répétition des tests tout au long du processus de restauration montre si les efforts de restauration sont couronnés de succès.

(a) Test de capacité de rétention d'eau (WHC)

Matériel nécessaire

- Filtre à café
- Bande élastique
- Boîte/cylindre ouvert(e) (les deux extrémités enlevées)
- 50 grammes d'échantillons de sol séchés au four (étiquetés en conséquence - y compris la zone, la date)
- Four de cuisine/à micro-ondes atteignant 105 degrés Celsius

Méthode :

1. Prélever un échantillon composite de sol dans chaque zone et l'étiqueter en conséquence.
2. Au _____ four _____ :
Cuire le sol dans un four à 105°C pendant 24 heures jusqu'à ce que l'eau se soit évaporée, puis le laisser refroidir : Placer le(s) échantillon(s) de sol dans un micro-ondes pendant 2 ou plusieurs cycles de 4 minutes à pleine puissance. Ouvrez la porte du micro-ondes pendant 1 minute entre les cycles pour permettre la ventilation. (Pour déterminer si le sol est sec, pesez l'échantillon et notez son poids après chaque cycle de 4 minutes. Si son poids ne change pas après un cycle de séchage, c'est qu'il est sec.)
3. Placer le papier filtre sur l'extrémité de la boîte à l'aide d'un élastique.
4. Humidifier légèrement le papier filtre à l'extrémité de la boîte et peser (enregistrer le poids R).
5. Placez la terre séchée au four (à 105 °C) dans la boîte et repesez-la. (enregistrer à nouveau ce poids, S)
6. Placer la boîte (papier filtre vers le bas) dans l'eau, de manière à ce que la moitié inférieure soit immergée.
7. Laisser reposer pendant 14 à 16 heures (ou toute la nuit).
8. Au bout de ce temps, retirer de l'eau et transférer sur une grille où elle pourra s'égoutter pendant environ 30 minutes.
9. Essuyer la surface de la boîte, éponger une fois (5 secondes) et peser (enregistrer "WS").
10. Calculer la capacité de rétention d'eau (WHC) de l'échantillon de sol à l'aide de l'équation **WHC = 100 x (WS-S)/S**, où
 - CPH : capacité de rétention d'eau (masse d'eau retenue par 100 g de sol séché (ml))
 - S : Poids du sol sec (g)
 - WS : Terre + eau ajoutée (g)

(b) Essai d'infiltration de l'eau dans le sol

Matériel nécessaire

- Massue à main et bloc de bois
- Boîte alimentaire vide ou moule à gâteau sans fond
- Marqueur
- Film plastique
- Bouteille de 500 ml
- L'eau
- Chronomètre ou minuterie

Méthode

1. Enlever le haut et le bas de l'étain de façon à obtenir un tube métallique.
2. Sélection aléatoire d'un site d'échantillonnage par zone
3. Marquez ces points avec des chiffres, des lettres ou des noms (par exemple infl), à la fois physiquement (par exemple à l'aide de bâtons de marquage) et sur votre plan du site, afin de pouvoir y revenir pour effectuer des mesures ultérieures.
4. Libérer une zone de sol de 1x1 m de la végétation et l'imbiber d'eau lentement et pendant plusieurs heures jusqu'à ce qu'elle soit saturée (idéalement après un épisode pluvieux important et des prévisions claires pour les trois jours suivants).
5. Dégager la zone d'échantillonnage/élaguer la végétation
6. Enfoncez le tube métallique dans le sol jusqu'à ce qu'il soit à moitié enfoncé.
7. Si le sol est humide ou proche de la capacité du champ, passez à l'étape 8 ; si le sol est sec, versez 500 ml d'eau à l'intérieur de l'anneau et attendez que la surface soit exposée.
8. Démarrez la minuterie pendant que vous versez 500 ml d'eau aussi doucement que possible dans le moule.
9. Arrêter le temps lorsque l'eau est infiltrée (lorsque la surface est juste brillante plutôt que submergée). Si le sol est irrégulier, compter le temps jusqu'à ce que la moitié de la surface soit exposée et juste brillante.
10. Enregistrer le nombre d'heures pour chacun des sites d'échantillonnage/zones de gestion dans la fiche de données.

Indicateur 8 : pH

Moyens de vérification : test coloré du pH (ou sonde)

Cet indicateur peut être testé à l'aide de papier pH (papier tournesol), qui est bon marché et facilement disponible en ligne, dans les pharmacies, les écoles de chimie, etc.

Pourquoi

La détermination de l'acidité/alcalinité de votre sol permet d'obtenir des informations utiles sur les besoins de votre sol et sur son potentiel à faire pousser des plantes saines, des légumes ou même des arbres.

Résultats

La plupart des plantes ont besoin d'un pH compris entre 6 et 7,5 pour bien pousser, mais certaines préfèrent des sols plus acides ou plus alcalins. Cela devrait vous aider à réfléchir à ce que vous aimeriez cultiver ou à la manière dont vous aimeriez nourrir votre sol.

Matériel nécessaire

- Sac ou boîte pour mélanger la terre
- Papier et tableau pH
- Coupe
- L'eau

Méthode (bande de couleur)

1. Mélangez de la terre provenant d'au moins 3 points représentant chacune des zones qui existent sur votre terrain.
2. Remplissez votre gobelet aux $\frac{2}{3}$ avec de la terre.
3. Verser de l'eau dans le gobelet de manière à recouvrir le sol.
4. Bien remuer pendant 1 minute
5. Immerger complètement la bande pH dans la solution de sol pendant 3 secondes
6. Retirer la bande et la rincer rapidement à l'eau (de la même source que celle utilisée pour la solution).
7. Tenir le papier pH à la lumière et comparer la couleur au tableau des couleurs ci-dessous.
8. Identifier et enregistrer la valeur du pH dans la fiche de données
9. Répéter la procédure pour les autres zones



Indicateur 9 : Activité biologique du sol

Moyens de vérification : Test du ver de terre

Remarque : le test du ver de terre ne convient pas à tous les écosystèmes. N'hésitez pas à nous contacter si vous souhaitez nous aider à développer des tests alternatifs pour ces cas.

Il s'agit de l'indicateur qui reflète l'activité biologique en tant que composante essentielle de la construction du sol, du cycle des nutriments et de bien d'autres choses encore.

Pourquoi

La détermination du nombre de vers de terre présents dans votre sol est un indicateur indirect de l'activité biologique du sol. Ces créatures importantes contribuent à la décomposition des résidus organiques et créent des canaux qui améliorent l'infiltration et l'agrégation (grâce à l'enfouissement des vers de terre).

Résultats

Le nombre total de vers de terre présents dans vos sites d'échantillonnage donne une indication approximative des fonctions écologiques telles que le cycle des nutriments, la structure et la fertilité du sol.

Matériel nécessaire

- 2 L d'eau du robinet
- Truelle ou pelle à main
- Grand bocal/récipient pour la collecte et le nettoyage des vers
- Solution de moutarde (2 cuillères à soupe de moutarde en poudre dans 2 litres d'eau)

Méthode

1. Sélection aléatoire d'un site d'échantillonnage par zone de gestion
2. Marquez ces points avec des chiffres, des lettres ou des noms, à la fois physiquement (par exemple à l'aide de bâtons de marquage) et sur votre plan du site, afin de pouvoir y revenir pour effectuer des mesures ultérieures.
3. Mesurer une parcelle carrée de 30x30 cm (NOTE : éviter d'échantillonner là où les populations de vers de terre pourraient être affectées, c'est-à-dire dans les tas de paillis ou de compost).
4. Creuser sur 30 cm à l'aide d'une truelle ou d'une pelle à main, en veillant à ne pas endommager les vers de terre...
5. Compter le nombre de vers de terre (sur un fond de couleur pâle pour faciliter leur repérage).
6. Ajoutez la solution de moutarde dans le trou et attendez l'apparition des vers de terre fouisseurs (généralement dans les 5 minutes).
7. Compter le nombre de vers de terre fouisseurs et l'ajouter à la quantité de 3 pour obtenir le nombre total de vers de terre.
8. Enregistrer les dénombrements annuels pour chacune des zones/sites d'échantillonnage dans la fiche de données.
9. Rincer les vers de terre dans l'eau et les remettre dans le sol.

Moyens de vérification : Entonnoir Tullgren bricolé¹⁶

Pourquoi

Les écosystèmes du sol abritent différents animaux, pour la plupart des "résidents permanents", mais aussi quelques "occupants temporaires". Les animaux du sol sont des ingénieurs qui participent activement à la genèse de leur propre habitat. La composition des espèces, la diversité, la quantité et la fonction des animaux du sol varient en fonction du type de sol. Toutefois, les principaux groupes représentés sont à peu près les mêmes. Nous espérons que ce test vous aidera à étudier la biodiversité et la densité de population du sol d'une manière simple, peu coûteuse, amusante et intéressante.

Matériel nécessaire

- Dos Zip-loc pour les échantillons de sol
- 1 entonnoir
- Feuille de maille de 1 cm (qui peut être la même que celle utilisée pour le test d'effritement du sol)
- 1 pot de confiture/récipient de collecte à parois glissantes
- Mouchoir en papier humide (à placer au fond du bocal)
- Lampe de bureau (incandescente, produisant de la chaleur)

Méthode

1. Étiquetez un sac pour chaque zone que vous allez étudier.
2. Prélevez un échantillon de sol de 1 kg (entre 0 et 20 cm de profondeur) dans la ou les zones que vous souhaitez étudier et placez-le dans le(s) sac(s) prévu(s) à cet effet.
3. Ensuite, à l'intérieur, placez la maille à mi-chemin de l'entonnoir et placez un mouchoir humide au fond de votre bocal/récipient de collecte d'insectes.
4. Placez l'entonnoir à mailles au-dessus de votre bocal/récipient de collecte d'insectes.
5. Prenez une poignée de votre échantillon de sol et placez-la dans l'entonnoir.
6. Positionner la lumière de manière à ce qu'elle éclaire le sol à l'intérieur de l'entonnoir.

Pendant une période de 16 à 22 heures, les insectes, acariens et autres invertébrés présents dans le sol descendent progressivement à l'abri de la lumière et de la chaleur et tombent dans votre récipient. L'extraction maximale de la microfaune du sol peut être enregistrée après une durée de 16 à 22 heures de chauffage continu à des températures comprises entre 35,1°C et 35,2°C (Bano et Roy, 2016).

7. Enregistrez le nombre d'organismes et classez-les en fonction de leur taille (voir ci-dessous).
8. Remettre les insectes dans leur habitat
9. Répéter cette procédure pour chaque échantillon de sol

Résultats

¹⁶ Adapté de <https://www.isqaper-is.eu/soil-quality/visual-soil-assessment/225-soil-fauna>

- i. Microfaune: organismes dont la taille du corps est comprise entre 20 et 200 μm . Un seul groupe, les protozoaires, se trouve entièrement dans cette catégorie ; parmi les autres, les petits acariens, les nématodes, les rotifères, les tardigrades et les crustacés copépodes se situent tous dans la limite supérieure.
- ii. Mésafaune: organismes dont la taille du corps est comprise entre 200 μm -2 mm. Les microarthropodes, tels que les acariens et les collemboles, sont les principaux représentants de ce groupe, qui comprend également les nématodes, les rotifères, les tardigrades, les petits aranéidés, les pseudoscorpions, les opilions, les enchytraeidés, les larves d'insectes, les petits isopodes et les myriapodes.
- iii. Macrofaune: organismes dont la taille est comprise entre 2 et 20 mm. Cette catégorie comprend certains vers de terre, les gastéropodes, les isopodes, les myriapodes, certains aranéidés et la majorité des insectes.
- iv. Mégafaune: organismes dont la taille dépasse 20 mm. Les membres de cette catégorie comprennent les invertébrés de grande taille (vers de terre, escargots, myriapodes) et les vertébrés (insectivores, petits rongeurs, reptiles et amphibiens).

BIODIVERSITÉ

Indicateur 11 : Diversité de la faune

La restauration des écosystèmes est une recette pour améliorer les habitats. Mesurer l'évolution de la biodiversité permet d'accroître le soutien à ce travail à une époque où de nombreuses populations d'animaux sauvages connaissent un déclin rapide. Outre le journal de la nature (voir annexe 4), nous proposons deux méthodes de suivi de la diversité de la faune :

a) Enquête par quadrats sur la faune

Pourquoi

Pour étudier efficacement les changements de la biodiversité dans votre écosystème, nous devons collecter des données de manière planifiée. Cela nous aidera à étudier comment la biodiversité réagit aux modifications de l'habitat au fil du temps. Cette étude par quadrats vous permettra de le faire d'une manière amusante et engageante.

Un quadrat est simplement une parcelle ou une zone approximativement carrée qui est délimitée sur un terrain afin de l'identifier comme une zone d'étude de la faune. La première étape consiste à identifier au moins un quadrat sur votre site que vous souhaitez étudier. Le nombre de quadrats que vous souhaitez étudier dépend de l'effort et du nombre de personnes dont vous disposez pour effectuer les études. Si vous ne disposez que de quelques personnes et de quelques heures, nous vous recommandons d'effectuer 3 quadrats. Si vous disposez d'une équipe plus importante de 5 à 6 personnes ou plus, et que vous avez plus de 3 heures de temps libre, nous recommandons 5 à 8 quadrats.

Le quadrat doit idéalement mesurer au moins 10 m sur 10 m, mais il n'y a pas de taille maximale. La taille du quadrat dépend des caractéristiques de l'habitat que vous souhaitez y inclure. Par exemple, si vous souhaitez inclure une section de ruisseau ou d'étang, vous pouvez agrandir votre quadrat (20 x 20 m). Si vous avez des arbres et que vous voulez les inclure dans le quadrat, alors peut-être que la taille sera encore plus grande (50 x 50 m).

Méthode (REMARQUE : elle sera différente selon qu'il s'agit d'une application ou d'un formulaire en ligne)

1. Marquez les quatre coins du quadrat à l'aide de poteaux ou de piquets plantés dans le sol afin de permettre aux autres géomètres d'identifier facilement le quadrat. N'oubliez pas **que le quadrat restera au même endroit autant d'années que vous souhaitez l'arpenter.**
2. Avant de commencer votre enquête, enregistrez les données suivantes sur votre feuille de données (ou sur l'application) : Date ; Nom du projet ; ID du quadrat ; Numéro de l'enquête ; Temps actuel et si possible température ; Nombre de personnes participant à l'enquête ; Heure de début.
3. Définissez votre trajectoire et les points de départ et d'arrivée de l'enquête (par exemple, vous pouvez vouloir toujours utiliser l'angle au sud-est et terminer au nord-ouest).
4. Parcourir le quadrat du point de départ au point d'arrivée
5. Lorsque vous rencontrez une espèce intéressante, notez son identité du mieux que vous pouvez¹⁷ . Si vous connaissez le nom commun ou le nom scientifique, notez-le.
6. Par exemple, vous pouvez dire que l'oiseau que vous observez est une corneille, mais vous ne savez pas de quelle espèce il s'agit. Notez le nombre d'individus que vous voyez sous la forme d'un décompte, par exemple

¹⁷ Le nombre d'espèces d'oiseaux, d'insectes et de mammifères est si important qu'il peut être difficile de commencer à identifier les espèces que vous rencontrez. N'oubliez pas que nous nous intéressons à toutes les espèces observées sur vos sites. Des communautés en ligne telles que iNaturalist, BugGuide.net, Project Noah et What's That Bug proposent des photos d'une multitude d'espèces déjà identifiées et permettent aux utilisateurs de soumettre leurs propres photos pour qu'elles soient identifiées par une communauté d'experts. Les applications pour téléphone telles que Merlin, Picture This, Google Lens peuvent toutes être extrêmement utiles pour l'identification.

Date	Projet	Quadrat	Enquête	Météo	Temp C	Les personnes	L'heure	Corbeau	Coccinelle	Souris	Lézard	Serpent
19.04.21	ERC	1	1	Ensoleillé	18	5	09:00	1	5	1	0	0
19.04.21	ERC	2	1	Ensoleillé	18	4	10:00	0	3	0	0	0
19.04.21	ERC	3	1	Ensoleillé	18	4	11:00	2	0	0	3	0
19.04.21	ERC	4	1	Ensoleillé	18	5	11:30	1	0	0	0	1
19.04.21	ERC	5	1	Ensoleillé	18	2	12:00	0	0	0	0	0

7. Lorsque vous rencontrez l'espèce intéressante suivante, inscrivez-la sur la ligne suivante de la fiche de données.
8. Notez ou comptez le nombre d'individus que vous voyez pour chaque espèce rencontrée. Chaque espèce rencontrée ne doit apparaître qu'une seule fois sur une ligne indiquant le nombre total d'individus, plutôt que sur une ligne distincte pour chaque individu rencontré.
9. Lorsque vous arrivez à la fin de votre enquête, notez l'heure d'arrivée.

b) Insectes nocturnes

Pourquoi

De nombreuses espèces jouent un rôle important dans l'écosystème, comme les pollinisateurs ou les espèces qui contribuent à la lutte contre les parasites et la peste. En tant que simple indicateur de la biodiversité, les insectes nocturnes constituent un groupe utile à évaluer, car il n'est pas nécessaire de les rechercher activement. Il suffit de les attendre, car les insectes nocturnes sont attirés par la lumière.

Plus la qualité de la restauration de l'écosystème est élevée, plus on peut s'attendre à voir d'insectes nocturnes. Cela est probablement vrai pour le nombre d'espèces présentes (diversité) et pour le nombre d'individus de ces espèces (abondance).

Résultats

Les photographies de la surface complète seront utilisées pour calculer la quantité de surface "blanche" restante après 2 heures. Au fil du temps, on peut s'attendre à ce que la surface "blanche" diminue au fur et à mesure que la qualité de l'habitat s'améliore.

Matériel nécessaire

- Lampe frontale (pour aller et revenir du site)
- Source lumineuse
- Une surface verticale de couleur claire (2x1,5m) pour éclairer la lumière.
- Fil à linge/corde/ficelle et pinces à linge pour suspendre le drap
- Appareil photo ou téléphone portable avec fonction appareil photo

Méthode

1. Sélectionnez un site d'échantillonnage par zone que vous souhaitez étudier, loin d'autres lumières artificielles et, si possible, à l'intérieur du quadrat utilisé pour l'étude du quadrat
2. (Veillez à ce que les différents sites d'échantillonnage soient distants d'au moins deux terrains de football afin d'éviter d'attirer les insectes des autres zones. Si votre site n'est pas plus grand que deux terrains de football, un seul test suffit.
3. Marquer le(s) lieu(x) à la fois physiquement et sur le plan (numérique) du site.
4. Choisissez une soirée sèche et sans vent
5. Trouvez ou installez une surface verticale d'au moins 2 x 1,5 m dans les zones que vous souhaitez étudier (si vous utilisez une feuille, vous pouvez le faire en attachant la corde à deux arbres ou poteaux et en suspendant la feuille à la corde. Vous pouvez également suspendre votre feuille à une branche ou à une clôture).
6. Une heure après le coucher du soleil (vous pouvez le vérifier sur votre application météo), allumez la lumière pour qu'elle éclaire toute la surface pendant 2 heures (en fonction de votre situation et de l'équipement que vous utilisez, vous devrez peut-être ajuster la position de la source lumineuse pour maximiser la surface éclairée).
7. Enregistrer la date et l'heure de l'enquête
8. Au bout de 2 heures, prendre une photo de toute la surface.
9. Observez plus en détail les insectes sur votre surface et prenez des photos des espèces intéressantes que vous voyez. Vous pourriez être surpris par le nombre d'espèces observées. Pourquoi ne pas voir combien vous pouvez en identifier en utilisant des ressources telles que iNaturalist (voir la note ci-dessous sur l'identification).
10. Envoyez ces photos à l'équipe du CER pour analyse.
11. Répétez le test dans d'autres zones si nécessaire. Si vous effectuez ce test à plusieurs endroits, il est possible de le faire à des nuits différentes.

Indicateur 12 : Diversité de la flore

Moyens de vérification : Méthode carrée

Pourquoi

Le suivi de l'évolution de la diversité végétale au fil du temps pourrait vous indiquer si vos interventions (ou leur absence) attirent des espèces et augmentent la résilience et la complexité globales de ces écosystèmes. Vous espérez voir une plus grande diversité de plantes sur votre site que lors de votre étude de base. L'évaluation de la richesse des espèces et de l'abondance des espèces (indigènes et envahissantes) indique si nous réussissons à promouvoir les "espèces cibles" souhaitées dans l'écosystème.

Matériel nécessaire

- Un cadre/quadrate de 1m² (il peut être fait de bois ou de clous reliés par une ficelle, ou de tout autre matériau que vous jugez approprié ; il peut également s'agir d'un hoola hoop, à condition que vous connaissiez sa surface et qu'il s'agisse toujours du même instrument).
- Un appareil photo/smartphone
- Un guide d'identification des plantes de votre région
- Bâtons de marquage (petits cailloux colorés, petits drapeaux, etc.)
- (Ruban à mesurer si l'on utilise la méthode du carré le long d'un transect)

Méthode

1. Explorer les encyclopédies sur les plantes et les ressources botaniques locales pour faciliter l'inventaire de la flore.
2. Placer le 1m² dans les différentes zones (en évitant les zones de culture où le désherbage ou même le labourage est susceptible de se produire) ; si possible, le faire dans le quadrat utilisé pour l'étude de la faune.
3. Marquer physiquement les coins de chaque quadrat (par exemple à l'aide de bâtons de marquage) et les coordonnées de son centroïde sur la carte du site du projet.
4. Prendre une photo de chaque quadrat
5. Identifiez les noms des espèces que vous avez trouvées dans chaque quadrat et attribuez des étiquettes uniques à celles que vous ne pouvez pas identifier (utilisez donc les guides d'identification des plantes locales ou une application téléphonique telle que plantnet) ; si possible, classez chaque espèce comme "indigène", "envahissante" et/ou "inconnue/autre").
6. Comptez le nombre d'espèces végétales distinctes que vous pouvez voir à l'intérieur du quadrat (il s'agit de la "**richesse en espèces** par m²").
7. Dans chaque quadrat, faites une estimation visuelle du pourcentage de la surface du quadrat couvert par les 3 à 5 espèces les plus dominantes et du pourcentage de sol nu (c'est ainsi que vous évaluez l'"**abondance des espèces**").
8. Enregistrer les valeurs dans la fiche de données

(optionnel)

9. Si vous souhaitez étudier la relation entre d'autres variables écologiques (par exemple l'humidité), étudiez votre quadrat de flore le long de transects présentant un gradient (d'humidité ou d'altitude).

CLIMAT (ATTÉNUATION)

Indicateur 13 : Différences de température

Moyens de vérification : Mesures de température

Pourquoi

La température est un facteur crucial de la transformation écologique, car elle régule les processus physiologiques et métaboliques des espèces végétales et animales (transpiration, photosynthèse, germination, respiration, par exemple). Nous savons que les êtres vivants se développent dans des plages de températures dites optimales - ni trop froides, ni trop chaudes. En général, la photosynthèse s'arrête à 40 °C dans les écosystèmes tempérés et à 50 °C sous les tropiques, tandis que l'activité métabolique est faible en dessous de 0 °C et au-dessus de 40 °C.

D'autre part, l'évolution des températures influence d'autres systèmes tels que le cycle de l'eau, les régimes de précipitations et/ou le (micro)climat général. Il est donc important de suivre l'évolution de la température tout au long de la restauration des écosystèmes.

Une méthode pour ce faire est décrite ci-dessous, mais elle peut être aussi simple que l'enregistrement manuel des mesures de la température de surface à chaque saison (saison sèche et saison humide sous les tropiques), dans chaque zone. L'important est de collecter des données sur la température de manière cohérente en enregistrant les mesures des mêmes sites au fil du temps afin de pouvoir les interpréter ultérieurement.

Résultats

Le suivi de l'évolution de la température sur différents sites et à différentes hauteurs permet de mieux comprendre les flux d'énergie. Si vos interventions vous permettent de réduire les écarts de température (par exemple, la température de surface maximale du site de restauration < la température de surface maximale du site de contrôle pendant les journées chaudes ; les températures minimales du site de restauration > la température de surface minimale du site de contrôle pendant les journées froides), vous savez que vous contribuez probablement au processus d'homéostasie à l'intérieur/autour de votre écosystème. En d'autres termes, vous favorisez un écosystème plus résistant aux événements climatiques soudains et aux chocs météorologiques.

Matériel nécessaire : Enregistreurs de données ou thermomètres

Méthode

1. Identifier les endroits où installer les enregistreurs de données dans la (les) zone(s) que vous souhaitez étudier (de préférence en incluant au moins un site de contrôle).
2. Installer le(s) enregistreur(s) de données
3. Assurer l'enregistrement continu des températures min/max, ainsi que de la date et de l'heure d'enregistrement, des coordonnées géographiques, de la zone et de l'altitude.

Indicateur 14 : Taux d'évapotranspiration

Moyens de vérification : Atmomètre bricolé¹⁸

Pourquoi

L'évapotranspiration est l'eau perdue par la transpiration des plantes et l'évaporation du sol et des plantes. Il s'agit d'un processus clé du cycle hydrologique qui mérite une attention particulière, notamment dans les zones arides et semi-arides. Il existe de nombreuses façons de mesurer les taux d'évapotranspiration, y compris la méthode bien établie du bilan hydrique du sol, l'utilisation de méthodes micrométéorologiques/atmomètres, et même des modèles informatiques ou des techniques de télédétection (Feddes & Lenselink, 1994). La mesure de l'évapotranspiration permet d'étudier les microclimats et d'élaborer des stratégies d'irrigation efficaces. Pour cet indicateur, nous proposons de créer un atmomètre artisanal étant donné que les atmomètres professionnels sont assez coûteux.

Matériel nécessaire

- Bouteille de 1 litre avec bouchon
- 1 CD/DVD non désiré
- Tissu absorbant (par exemple, vieux sous-vêtements ou jeans)
- 3 trombones
- Colle
- Ruban de caoutchouc
- Règle ou mètre ruban

Fabrication d'un atmomètre

1. Percez un trou de 15 mm au centre du bouchon de la bouteille.
2. Collez le disque sur le dessus du capuchon en alignant le trou central du CD/DVD sur le trou du capuchon.
3. Découper un morceau de tissu circulaire pour couvrir le disque.
4. Découpez trois bandes de tissu étroites (~15 mm) d'environ 6,5 à 7,5 cm de plus que la hauteur de la bouteille.
5. Lorsque la colle est sèche, visser le bouchon avec le disque attaché sur la bouteille.
6. Faites passer les trois bandes de tissu par le trou du bouchon de la bouteille jusqu'à ce qu'elles atteignent le fond de la bouteille.
7. Poser les parties exposées des bandes à plat sur le disque et les découper jusqu'au bord du disque.

¹⁸ Adapté de <https://xperimentia.com/2012/09/01/a-homemade-atmometer/>

8. Disposer les bandes de tissu de manière à ce qu'elles soient uniformément réparties sur le disque.
9. Placez le cercle de tissu sur le disque et fixez-le ainsi que les bandes à l'aide des trombones.
10. Dévissez soigneusement le bouchon de la bouteille et remplissez-la d'eau jusqu'à ce que l'eau atteigne le haut du côté droit de la bouteille. Il est conseillé d'humidifier également le chiffon situé sur le dessus de la bouteille.
11. Remettre le bouchon sur la bouteille et c'est terminé.

Méthode

1. Enregistrer la date, l'heure et les coordonnées de chaque mesure
2. Marquer le niveau initial de l'eau en plaçant un élastique autour de la bouteille à ce niveau.
3. Ajustez l'élastique si vous remplissez à nouveau la bouteille ou si vous commencez de nouvelles mesures.
4. Effectuez un relevé dans chaque zone - y compris une "zone de référence" non cultivée/non perturbée - que vous souhaitez étudier en mesurant la distance entre l'élastique et le nouveau niveau de l'eau.
5. Pour comparer les taux d'évapotranspiration entre différentes formes d'utilisation des sols, répétez le processus dans différentes zones.
6. Pour évaluer l'impact de vos interventions sur le taux d'évapotranspiration au fil du temps, répétez le test tous les ans ou tous les deux ans à la même date/heure et aux mêmes endroits géoréférencés.

Résultats

Des taux d'évapotranspiration élevés signifient généralement que l'eau peut être une ressource limitante pour la croissance des plantes. Ces informations peuvent servir à déterminer les besoins en irrigation et inciter à adopter certaines pratiques de conservation de l'eau (par exemple, augmenter la quantité de paillis/couverture du sol).

Indicateur 15 : Teneur en matière organique (SOM) et en carbone (SOC) du sol¹⁹

Il s'agit de l'indicateur qui montre comment la teneur en matière organique et en carbone de votre sol évolue dans le temps, en fonction de certaines formes d'utilisation des terres et/ou d'interventions de restauration. La manière la plus précise de mesurer cet indicateur est le test en laboratoire de la "perte au feu" (LOI). Toutefois, si vous n'avez pas accès à un laboratoire, vous pouvez obtenir une indication générale de l'évolution de la teneur en SOM/SOC en utilisant le "test de couleur du sol"

¹⁹ La teneur en matière organique et en carbone du sol est également un bon indicateur de la "SANTÉ DU SOL".

Pourquoi

Si nous voulons savoir pourquoi la matière organique du sol (MOS) est importante, nous devons d'abord savoir ce que signifie la MOS. Les MOS sont à la base de la fertilité des sols, de la santé des écosystèmes terrestres et du climat : il s'agit d'un composant complexe du sol constitué de tissus microbiens, végétaux et animaux à différents stades de décomposition (Stockmann et al, 2013). Il s'agit également du plus grand réservoir terrestre de carbone organique (SOC) (Liang et al, 20200). Il stocke près de trois fois plus de carbone que la biomasse aérienne, deux fois plus que dans l'atmosphère et même plus que l'atmosphère et la végétation combinées (Eswaran et al, 1993). Ainsi, l'augmentation de la matière organique dans le sol entraîne également une augmentation du carbone organique, ce qui explique pourquoi la restauration des écosystèmes contribue à atténuer les changements climatiques. Par ailleurs, le fait de montrer que le carbone est piégé dans le sol est un signe fort qui montre au monde entier qu'il s'agit d'une solution dans laquelle il vaut la peine d'investir.

Au-delà du carbone, la matière organique est un entrepôt crucial pour les nutriments et un contributeur majeur à la formation et à la stabilité des agrégats, jouant un rôle central dans le fonctionnement de l'écosystème pour tous les types de sols (sableux, argileux, limoneux et tous ceux qui se situent entre les deux). Les SOM influencent la fertilité²⁰ et la productivité associée (primaire ou culturale), la traficabilité du sol²¹ et l'hydrologie (taux d'infiltration/de ruissellement et régimes d'inondation) (He et al, 2012 ; Hatten & Liles, 2019), ainsi que le maintien du pH et, peut-être plus important encore, la bonne alimentation des organismes décomposeurs... C'est-à-dire la promotion d'un cycle régulier des nutriments. Ainsi, l'augmentation des niveaux de SOM influence d'autres résultats liés au sol, tels que la diminution de la densité apparente, l'augmentation de la capacité de rétention d'eau, l'infiltration et la prolifération des racines (Hillel & Hatfield, 2005).

Moyens de vérification (1) : Essai de perte au feu en laboratoire

Matériel nécessaire

- 1 bêche/talon
- 1 seau propre
- 1 sac Ziploc propre pour contenir l'échantillon

Méthode

(si vous avez des protocoles spécifiques au laboratoire, négligez la méthode/les procédures ci-dessous)

1. Déterminez et préparez les emplacements des sous-échantillons que vous allez prélever : Il convient de choisir au moins cinq à dix emplacements représentatifs de la zone que vous souhaitez étudier, par exemple en haut, au milieu et en bas d'une pente, ou à des endroits dispersés dans un champ, un pâturage ou un jardin. Évitez de prélever des échantillons dans les zones irrégulières et en bordure.

²⁰ Les SOM contiennent presque tout l'azote du sol et généralement la majorité de la CEC.

²¹ défini comme la capacité d'un sol à supporter le trafic agricole sans dégrader les sols et les écosystèmes

2. Dans chacune des zones sélectionnées, prélevez deux sous-échantillons de sol à 5 m l'un de l'autre et mélangez-les en un seul échantillon dans un sac ziploc.
3. Enlever tout résidu ou matériel végétal au-dessus de la surface du sol.
4. Utilisez la bêche pour creuser un petit trou au centre de la zone préparée, à une profondeur d'environ 8 pouces. Sur le côté du trou, prélevez une tranche de terre verticale et rectangulaire, d'une profondeur de 6 pouces et d'une épaisseur de 2 pouces. Enlevez le surplus de terre de manière à obtenir une "tranche de terre" plus ou moins uniforme, d'une profondeur de 6 pouces, d'une épaisseur de 2 pouces et de la largeur de la bêche. Essayez de faire en sorte que la tranche représente les 6 premiers centimètres avec une représentation égale sur toute la profondeur de l'échantillon. Placez la tranche de sol dans le seau propre.
5. Répétez la procédure d'échantillonnage à chaque endroit que vous avez choisi pour cette zone et mélangez le sol dans le seau. Brisez le sol et mélangez soigneusement les sous-échantillons dans le seau.
6. Une fois que le sol est suffisamment mélangé, prélevez la quantité nécessaire au laboratoire pour l'analyse (précisez que vous souhaitez mesurer la matière organique du sol (MOS) à l'aide du test de perte au feu) et transférez-la dans le sac ziplock propre pour l'envoyer au laboratoire (0,7 litre de sol devrait suffire).

Procédures de laboratoire

- 1) Cuisson des échantillons de sol : 24 heures à 105°C
- 2) Peser le creuset.
- 3) Peser environ 15 à 20 g de chaque échantillon cuit et le placer dans le creuset. Veillez à ce que l'étiquetage soit correct
- 4) Placer le creuset dans le four après la pesée.
- 5) Brûler à ~ 550°C pendant 3 heures.
- 6) Une fois refroidi à ~ 150°C, placer le creuset dans le dessiccateur, refroidir pendant 30 minutes et peser.

Calculs

$SOM (\%) = \frac{[(\text{masse sèche } 105^{\circ}\text{C}) - (\text{masse sèche } 550^{\circ}\text{C})]}{(\text{masse sèche } 105^{\circ}\text{C})} \cdot 100$

Résultats

Une fois que vous aurez reçu les résultats du laboratoire, vous obtiendrez un pourcentage de matière organique/carbone trouvé dans l'échantillon que vous avez envoyé. Les sols sains contiennent environ 6 % de carbone organique. Les sols dégradés en contiennent 1 à 2 %. Pour déterminer la quantité de carbone organique contenue dans votre sol, multipliez ce chiffre par 0,58. La réponse vous donne la quantité de carbone organique dans votre sol (Ponce-Hernandez et al, 2004). En outre, les données du laboratoire peuvent être utilisées pour calibrer ou valider les estimations du COS basées sur l'imagerie satellitaire et les relations mathématiques.

Moyens de vérification (2) : Test de couleur du sol ²²

Matériel nécessaire

- 1 bêche/talon
- Sacs à fermeture éclair pour transporter les échantillons de sol

La méthode

1. Prélever un échantillon de sol humide dans une zone non cultivée/non perturbée, le placer dans un sac et l'étiqueter comme "échantillon de référence".
2. Prélevez un échantillon de sol humide dans la zone que vous souhaitez étudier, placez-le dans un sac et étiquetez-le avec la mention "échantillon (code de la zone)" (indiquez également un numéro, au cas où vous feriez plusieurs enquêtes dans la même zone).
3. À l'aide des trois photographies ci-dessous, comparez le changement relatif de la couleur du sol entre une poignée de sol de l'"échantillon de référence" et une autre poignée de sol de la zone que vous surveillez.
4. Enregistrez les scores dans votre feuille de données
5. Répétez l'opération pour toutes les zones que vous souhaitez surveiller.

Les résultats



- *Bon état (2)* : Terre végétale de couleur foncée qui ne diffère pas trop de celle de la référence.

- *État modéré (1)* : La couleur de la terre végétale est un peu plus pâle que la référence.

²² Adapté de

<http://adlib.everysite.co.uk/adlib/defra/content.aspx?id=000HK277ZX.0HDEDH0VOJKFO1P> ; Si vous souhaitez obtenir plus d'informations (précises) sur les couleurs du sol, nous vous conseillons de vous procurer le "Munsell's soil color chart".

- *Mauvais état (0)* : La couleur du sol est devenue nettement plus pâle par rapport à la référence.

Références **supplémentaires**

- [http://vro.agriculture.vic.gov.au/dpi/vro/vrosite.nsf/pages/soilhealth_prac_soil_colour_pdf/\\$FILE/PracNote_Color.pdf](http://vro.agriculture.vic.gov.au/dpi/vro/vrosite.nsf/pages/soilhealth_prac_soil_colour_pdf/$FILE/PracNote_Color.pdf)

Indicateur 16 : Capture du carbone en surface

C'est l'indicateur qui montre la quantité de carbone stockée dans la biomasse vivante des sites de restauration. Nous ne sommes pas (encore) en mesure de recommander une méthode spécifique, adaptée à la science citoyenne et pouvant être utilisée dans différents types d'écosystèmes, pour quantifier le carbone en surface. Cependant, un certain nombre d'organisations peuvent aider les projets individuels à quantifier et à vérifier leurs stocks de carbone (voir [cette page web](#) pour plus d'informations sur la certification des crédits carbone).

Par ailleurs, il existe une longue liste d'expériences et d'études de cas axées sur la mesure de la capture du carbone en surface sur le terrain. Par exemple, il est possible de calculer le carbone stocké par an (tonne/ha/an) en utilisant ce que l'on appelle des équations allométriques. Ces équations spécifiques à un écosystème ou à un site nécessitent des données qui sont souvent obtenues par l'étude de quadrats (par exemple 10x10 m, ou le même que celui utilisé pour l'indicateur 11), la récupération d'une liste des espèces spécifiques présentes dans ces quadrats, le nombre d'individus de chaque espèce (c'est-à-dire le nombre d'arbres ou d'arbustes de la même espèce présents dans chaque quadrat), les valeurs du diamètre à hauteur de poitrine (c'est-à-dire le diamètre d'un arbre à une altitude d'environ 130 cm, en cm), la densité du bois (g/cm³) et la hauteur (en cm). Grâce à une analyse statistique, ces données peuvent ensuite être utilisées pour estimer les valeurs de biomasse (tonnes/ha) de sites de restauration plus importants. La biomasse aérienne (tonne/ha) peut également être estimée à l'aide d'indices de végétation dérivés d'images satellite, tels que l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI) et l'indice de végétation amélioré (EVI), ainsi que des valeurs de productivité primaire nette. Là encore, cette biomasse totale peut ensuite être utilisée pour calculer le stock de carbone au-dessus du sol. Situmorang et al (2016) présente l'une des nombreuses études de cas qui suivent de telles approches pour calculer les stocks de carbone en surface (à la fois sur le terrain et à distance grâce à l'imagerie satellite).

Compte tenu de l'expertise scientifique et des défis liés à l'approche décrite ci-dessus, nous conseillons de travailler avec des estimations des stocks de carbone aériens à partir de modèles basés sur des techniques de télédétection de pointe (qui intègrent des indices tels que le NDVI tout en améliorant continuellement la résolution et la précision), et l'apprentissage automatique associé. Par exemple, le mouvement ERC s'associe à Restor, une plateforme qui espère pouvoir surveiller les différents types d'écosystèmes et même les espèces présentes sur les sites en cours de restauration grâce à la télédétection, et intégrer ces variables dans des modèles (toujours plus robustes) pour prédire la quantité de carbone qui

s'accumule dans la biomasse vivante. Si vous souhaitez contribuer à l'avancement de ce domaine, les sites de restauration de votre projet pourraient servir de parcelles expérimentales ! (Pour plus d'informations, contactez-nous à l'adresse hello@erc.earth).

LA PRODUCTIVITÉ DES ÉCOSYSTÈMES

Indicateur 17 : Services écosystémiques

Cet indicateur est pertinent pour les projets de restauration où la production (régénérative) de biens/services a lieu. La définition de la productivité est généralement - mais pas nécessairement - associée aux avantages économiques découlant de la restauration des écosystèmes.

Moyens de vérification (1) : Quantification des services écosystémiques

Le pourquoi

Le contrôle des rendements vous aide à suivre l'évolution de la productivité de vos terres. En agriculture, le rendement des cultures ou "production agricole" est une mesure du rendement d'une culture par unité de surface (cultivée) et de la production de semences de la plante elle-même (par exemple, si trois grains sont récoltés pour chaque grain semé, le rendement obtenu est de 1:3). Les agronomes considèrent qu'un rendement de 1:3 est le minimum requis pour maintenir la vie humaine. Une graine sur trois doit être mise de côté pour la prochaine saison de plantation, les deux autres étant soit consommées par le(s) cultivateur(s), soit divisées - une pour les humains, une pour le bétail. Outre la production agricole, vous pouvez être intéressé par le suivi de la production de bois ou des revenus générés par les activités touristiques.

Les résultats

La baisse des rendements des cultures peut être le signe que vous épuisez vos sols, alors que des pratiques efficaces de restauration des sols sont susceptibles d'améliorer vos rendements. Dans une large mesure, la signification de vos résultats dépend de vos objectifs de restauration et de vos modèles de production. Les résultats de ce test sont particulièrement instructifs lorsqu'ils sont analysés en parallèle avec d'autres attributs écologiques.

Produit	Type de produit	Surface occupée (ha)	Total Récolte (kg/an) ou Volume (m ³ /an)	Rendement (kg/ha/an ou m ³ /ha/an ou \$/an)	Part moyenne du prix final (%)
		(le cas échéant)	(le cas échéant)		(le cas échéant)

Méthode (pour quantifier la production alimentaire en tant que "service d'approvisionnement")

1. Déterminez les "produits" que vous souhaitez suivre dans le temps et classez-les en conséquence (par exemple, "cultures annuelles", "cultures vivaces/herbes", "produits animaux", "bois", etc.)
(Bien que nous espérons voir des (agro)écosystèmes diversifiés, il se peut que vous ne puissiez ou ne souhaitiez surveiller qu'un ou deux produits, qui jouent un rôle clé en tant que service écosystémique "d'approvisionnement").
2. Déterminer la surface utilisée pour produire chacun de ces "produits" en hectares.
3. Enregistrer la date et le poids de chaque récolte des produits respectifs dans le "carnet de récolte".
4. Additionner les valeurs de poids pour obtenir la récolte totale à la fin de chaque année pour les cultures annuelles ou à la fin de vos cycles de culture-récolte (par exemple, le bois).
5. Calculer le rendement de la culture en kg/ha
6. Téléchargez les données dans votre feuille d'enregistrement

REMARQUES FINALES

Nous espérons que ce guide vous fournira les informations et les outils dont vous avez besoin pour collecter des données tout en impliquant la communauté locale et les autres parties prenantes concernées. Notre ambition est de montrer au monde entier comment la restauration locale contribue à accroître la biodiversité, à améliorer les cycles de l'eau, à capturer le carbone, à renforcer la communauté, à développer des moyens de subsistance basés sur la restauration et à améliorer les compétences et les connaissances.

Pour l'avenir, il est important de reconnaître les considérations clés et les limites de ce cadre. Celles-ci sont incluses ci-dessous dans la section "POURQUOI DEVONS-NOUS SUIVRE ET ÉVALUER ? - voir page 4.

Preuve de l'impact et de la transparence

Bien que ce cadre permette de contrôler l'impact des efforts de restauration (et de rendre compte des progrès aux donateurs), la restauration des écosystèmes est complexe et les causes du changement ne peuvent généralement pas être isolées. En d'autres termes, il est pratiquement impossible de prouver dans quelle mesure l'impact a été causé par une agence/organisation individuelle (par exemple, les initiatives ERC elles-mêmes, les partenaires, les donateurs (in)directs, etc.)

Valider les hypothèses

La collecte de données (fiables) aide les praticiens de la restauration à valider leurs hypothèses et les pratiques de restauration associées, tout en contribuant à la recherche mondiale sur les défis sociétaux. Cependant, la qualité des données dépend largement de la rigueur avec laquelle les méthodologies sont mises en œuvre, en particulier si un projet donné s'appuie sur différents collecteurs de données au fil du temps.

Apprentissage et gestion adaptative

De solides ensembles de données de suivi et d'évaluation peuvent éclairer la planification de la restauration, la conception et/ou les pratiques de gestion adaptative au niveau du projet. Afin de diffuser ces enseignements au sein du réseau ERC et des futures initiatives de restauration, il est important de partager les résultats inattendus ainsi que les réussites.

ANNEXE 1 : EXEMPLES DE CARACTÉRISTIQUES DU PAYSAGE EN TANT QUE CRITÈRES POUR LE PLAN D'ÉCHANTILLONNAGE

Nous avons formulé une série de questions qui pourraient vous aider à naviguer à travers les différentes couches de votre paysage, comme indiqué ci-dessous.

- ***D'où vient le sol*** (quelle est la lithologie et le matériau parental du sol) ?
- ***Comment le sol se forme-t-il ?*** (Il peut s'agir de processus d'altération physique (par exemple, désintégration due à des différences de température, etc.), chimique (réactions chimiques) et biologique (lié à la vie).
- ***Quelle a été l'utilisation du sol ?*** (Quelle était l'utilisation traditionnelle du sol ?)
- ***Quel type de relief y a-t-il ?*** (par exemple, collines basses, vallées fluviales, etc.)
- ***Quel est le gradient hydrique ?*** (Examinez l'hydrologie du site, certaines zones ont plus ou moins d'eau que d'autres)
- ***Quelle est l'orientation des différentes zones de vos sites de restauration ?*** (Tenez compte de l'orientation du soleil et de l'exposition au vent)

ANNEXE 2 : PLAN D'ECHANTILLONNAGE STRATIFIE AU HASARD

Vous expérimentez de multiples approches de restauration forestière sur une parcelle de 4000m² qui a été utilisée pour l'agriculture intensive dans le passé. Avant d'étendre votre travail au reste de la zone du projet, vous espérez apprendre ce qui fonctionne le mieux dans votre contexte :

a) appliquer des amendements TOPSOIL et planter des arbres ("récupération modérément" assistée²³)

Zone (Zon-Top) = 2000m²

b) créer des caractéristiques d'HABITAT pour attirer les disperseurs de graines ("récupération légèrement assistée")

Zone (Zon-Hab) = 1500m²

c) le contrôle, c'est-à-dire ne rien faire d'autre que de surveiller ("rétablissement naturel")

Zone (Zon-Con) = 500m²

d) collecter des données pour les indicateurs de suivi et d'évaluation sur le site de référence (par exemple, la forêt indigène).

Zone (Zon-Ref) = 500m²

Dans chacune de ces zones, vous pouvez distinguer différents types de sols (par exemple, riches en argile, sablonneux), différents types de forêts (à feuilles caduques, à feuilles persistantes) et/ou différents peuplements d'âge. Ces éléments peuvent ensuite être superposés à un fichier polygonal ou à des images aériennes²⁴. Tout cela permet de fournir des résultats plus précis et plus utiles à la communauté croissante des restaurateurs écologiques.

Supposons maintenant que les zones a, b et c sont les unités que nous surveillerons au fil du temps (et que la zone d a été utilisée pour obtenir les valeurs cibles lors de l'inventaire de référence). Nous savons que la taille de (a) est 4x plus grande que (c), et que (b) = 3x plus grande que (c). L'échantillonnage probabiliste signifie que, si vous prenez 5 échantillons pour (c), vous devriez prendre 5 x 4 = 20 échantillons pour (a), et 5 x 3 = 15 échantillons pour (b).

²³ Chazdon et al, 2021

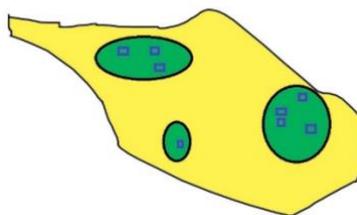
²⁴ Les images aériennes récentes renseignent sur les différentes formes d'utilisation actuelle des terres et sur les activités de restauration en place. Les images aériennes anciennes peuvent fournir des scénarios de référence/des données de base et aider à localiser des sites de contrôle pour la surveillance. Si cela s'avère pertinent, prenez contact avec un spécialiste SIG du comité consultatif du CER, Michiel Damen/michieldamen@icloud.com, qui peut vous aider à analyser les images aériennes de vos sites.

Graphique de l'échantillonnage aléatoire par lequel

Jaune = surface totale du projet

Vert = zones/unités d'échantillonnage/strates projet

Bleu = sites d'échantillonnage/échantillons



stratifié

du

ANNEXE 3 : PRATIQUES DE PLANIFICATION ET DE CONCEPTION

Au stade de la planification et de la conception d'un projet de restauration d'écosystème et dans le cadre de votre **plan de restauration**, nous recommandons d'inclure les éléments suivants :

- 1) **Contexte éco-social** , y compris
 - a) diagrammes/cartes du projet par rapport au paysage environnant ou à l'environnement aquatique ; connectivité (potentielle) entre les habitats et le site de restauration ;
 - b) l'analyse des parties prenantes, les stratégies d'engagement ; et
 - c) la sécurité de l'occupation du site (garantir que le site ne retourne pas à un état dégradé)
- 2) **Inventaire de base** , documenter
 - a) les éléments biotiques (par exemple, l'étude des espèces indigènes, rudérales, non indigènes, menacées et envahissantes) et abiotiques (par exemple, l'état des cours d'eau ou des sols, à l'aide de photographies et d'autres moyens) ;
 - b) les causes , l'intensité et l'étendue de la dégradation, ainsi que les obstacles à la régénération naturelle ; et
 - c) le potentiel de régénération naturelle après l'élimination des causes de dégradation, y compris les éléments (a)biotiques qui manquent et doivent être rétablis
- 3) **Vision, objectifs** et/ou **écosystème(s) de référence** (indigène(s)) associé(s)
- 4) **Conception de la restauration** dans l'espace et dans le temps, y compris une description des éléments suivants
 - a) Approches/activités de restauration et logistique impliquée (pour atteindre (3))
 - b) Système de suivi et d'évaluation (y compris la logistique et les ressources nécessaires, les stratégies de gestion adaptative et, le cas échéant, les modèles conceptuels, les questions de recherche, les hypothèses vérifiables, etc.)

ANNEXE 4 : JOURNAL DE LA NATURE

Pour commencer à étudier la nature et la biodiversité dans le cadre du mouvement ERC mondial, nous devons recueillir régulièrement des informations et des données afin de découvrir ce qui est actif dans votre initiative de restauration individuelle.

L'une des façons les plus simples de commencer à le faire est de tenir un journal de la nature. Il s'agit d'un enregistrement continu des rencontres avec la nature que vous observez au cours de votre expérience de restauration.

Les données qui alimentent le journal peuvent consister en une combinaison d'observations d'animaux rencontrés et de signes d'animaux. Les signes animaux peuvent être des cris, des traces, des sentiers, des excréments, des plumes et des peaux de reptiles.

Les informations enregistrées doivent être aussi détaillées que possible. Cependant, même les plus petits détails peuvent aider à construire une image de ce qui se passe dans vos sites de restauration. Souvent, il n'est pas possible d'enregistrer tous les champs suggérés dans le formulaire ci-dessous, ou vous ne vous souvenez peut-être pas de tout ce qui s'est passé lors de votre rencontre. Remplissez le formulaire pour chaque rencontre.

Notes sur la collecte des données

Les notes peuvent être prises de différentes manières, choisissez celle qui convient le mieux à votre situation. Vous pouvez imprimer le formulaire ci-dessous et l'emporter sur le terrain ou utiliser une application d'enregistrement vocal sur votre téléphone portable et enregistrer votre rencontre de cette manière. Disposer d'un tableau noir ou blanc dans une zone commune où les gens peuvent ajouter leurs observations récentes est un excellent moyen de partager ce que les gens ont vu avec la communauté locale et d'encourager l'engagement des bénévoles.

Notes sur l'identification

Compte tenu du grand nombre d'espèces d'oiseaux, d'insectes et de mammifères, il peut être difficile de commencer à identifier les espèces que vous rencontrez. N'oubliez pas que nous nous intéressons à toutes les espèces observées dans le cadre de votre initiative ERC.

Des communautés en ligne telles que iNaturalist, BugGuide.net, Project Noah et What's That Bug proposent des photos d'une multitude d'espèces déjà identifiées et permettent aux utilisateurs de soumettre leurs propres photos pour qu'elles soient identifiées par une communauté d'experts. Les applications pour téléphone telles que Merlin, Picture This, Google Lens peuvent toutes être extrêmement utiles pour l'identification.

Vous trouverez ci-dessous un modèle d'enregistrement de vos rencontres :

Nom du CER	Le nom de l'initiative du CER
Date	La date de l'observation
L'heure	L'heure de l'observation
Nom de l'observateur	Le nom des observateurs
Nom de l'espèce	Le nom commun ou local de l'espèce observée (s'il est connu)
Nom scientifique (si connu)	Le nom scientifique de l'espèce (s'il est connu)
Localisation sur le site du CER	Où l'observation a-t-elle été faite sur le site du CER, y a-t-il des points de repère identifiables, par exemple : " près des composteurs...., un arbre connu, un bâtiment particulier, un champ avec un nom, un étang ou une rivière ".
Description de la rencontre	Décrivez avec le plus de détails possible ce que vous avez vu. Cela peut inclure ce sur quoi l'animal se trouvait lorsque vous l'avez vu (par exemple, une feuille, une tige, un tronc d'arbre, dans la litière de feuilles, sur le sol nu ou dans l'eau). S'il se trouvait sur une plante et que vous en connaissez le nom, notez-le également.
Comportement	Décrivez ce que l'animal faisait lorsque vous l'avez vu, par exemple se nourrir, grimper, s'accoupler, dormir, voler, etc.
Végétation à proximité	Décrivez la végétation environnante, quelles sont les cultures pratiquées dans la zone d'observation ?

Météo et température	Quel était le temps au moment de l'observation (par exemple, ensoleillé, nuageux, pluie légère, forte pluie, etc.) Si vous pouvez la prendre (téléphone portable), notez la température.
Nombre d'individus	Combien d'individus de l'espèce avez-vous vus lors de cette rencontre ?
Certitude (certain, probable, incertain)	Êtes-vous sûr d'avoir correctement identifié l'espèce ? Si vous n'êtes pas sûr de l'identification, ou si vous ne pouvez pas identifier l'espèce, donnez le plus de détails possible sur l'aspect de l'animal dans la section des notes. N'oubliez pas d'indiquer de quel type d'animal il s'agit (oiseau, mammifère, lézard, etc.), les couleurs que vous avez observées et une estimation de sa taille.
Méthode d'observation	Comment avez-vous fait l'observation ? L'avez-vous vu physiquement, avez-vous utilisé des jumelles, s'agissait-il d'une empreinte, d'un cri, d'une crotte, d'une plume ?
Notes (par exemple, sexe, stade de vie)	Avez-vous remarqué d'autres choses qui pourraient être intéressantes ? Pouvez-vous indiquer le sexe ou le stade de vie de l'animal, par exemple bébé ou adulte ? Toute information sur l'apparence de l'animal si vous n'avez pas pu l'identifier (voir le champ Certitude ci-dessus).
Localisation GPS	Si vous disposez d'un appareil GPS, veuillez enregistrer la position GPS ici.

GLOSSAIRE DES CONCEPTS CLÉS

- **Gestion adaptative** : "une approche intentionnelle pour prendre des décisions et faire des ajustements en réponse à de nouvelles informations et à des changements de contexte" (USAID 2018).
- **Base** : le point de départ documenté de votre projet de restauration, servant de contrôle par rapport auquel les progrès ou l'impact sont mesurés ; bien que moins fiables, les "**sites de contrôle**" peuvent également servir de références de base/points de départ.
- **Initiative du CER** : se réfère à un projet de restauration (semi)permanente impliquant la participation du public.
- **Modèles conceptuels** : comme tout modèle, les modèles conceptuels nous aident à simplifier des (éco)systèmes complexes. Ils ne sont pas statistiques ou prédictifs et ne tentent pas d'expliquer tous les processus et relations possibles. Les bons modèles conceptuels ne contiennent que les informations pertinentes. Dans le contexte de la restauration des écosystèmes, ils illustrent les impacts supposés et/ou hypothétiques de la gestion et d'autres facteurs sur l'état des écosystèmes. Par exemple, si votre question est "comment augmenter la rétention d'eau", une hypothèse incluse dans votre modèle conceptuel pourrait être "l'application de paillis augmente la rétention d'eau". Vous choisirez ensuite des indicateurs/méthodes pour vous aider à vérifier votre hypothèse (par exemple, un test de capacité de rétention d'eau). Sur la base des résultats de vos expériences, vous commencez à comprendre quelles sont les pratiques qui restaurent les systèmes hydriques. Pour plus d'informations et d'applications pratiques des modèles conceptuels, nous vous recommandons de consulter les travaux de Bestelmayer et al (2017).
- **Feuille de données** : désigne l'endroit où vous pouvez enregistrer les données que vous collectez.
- **Écosystème** : zone géographique où une communauté ou un groupe d'organismes vivants (par exemple, plantes, animaux) interagissent entre eux et avec leur environnement physique/chimique (par exemple, paysages et conditions météorologiques) pour former un microcosme de vie.
- **Restauration écologique** : il s'agit d'une "stratégie de gestion pratique qui rétablit les processus écologiques afin de maintenir la composition, la structure et la fonction de l'écosystème" (Apfelbaum & Chapman 1997). (Apfelbaum & Chapman 1997).
- **Restauration des écosystèmes** : "Le processus consistant à stopper et à inverser la dégradation, ce qui se traduit par une amélioration des services écosystémiques et un rétablissement de la biodiversité. La restauration des écosystèmes englobe un large continuum de pratiques, en fonction des conditions locales et des choix sociétaux" (ONU, 2019).

- **Les communautés de restauration des écosystèmes (ERC) :** ce sont des lieux où des personnes du monde entier peuvent participer à la restauration des écosystèmes ; ce sont des laboratoires vivants où des techniques efficaces de restauration des écosystèmes sont développées et diffusées par le biais d'expériences pratiques et de l'éducation.
- **Évaluation :** analyse des données recueillies au cours de la période de suivi par rapport aux objectifs/résultats fixés.
- **Les boucles de rétroaction** sont essentielles à la pensée systémique et nous aident à comprendre les complexités. Une boucle de rétroaction négative est "stabilisante", c'est-à-dire qu'elle tend à équilibrer ou à ralentir un processus, tandis qu'une boucle de rétroaction positive est "renforçante", c'est-à-dire qu'elle encourage le système à poursuivre dans la même direction. Les boucles de rétroaction négatives comprennent les interactions prédateur-proie (lorsque les populations de proies augmentent (+), la population de prédateurs se nourrit bien et augmente, jusqu'à ce qu'il y ait trop de prédateurs et que la population de proies diminue (-)). Les boucles de rétroaction positive sont souvent décrites comme des "cycles vicieux ou vertueux", car deux processus se renforcent mutuellement, comme lorsque la disponibilité de l'eau favorise la croissance des plantes (+) et qu'un plus grand nombre de plantes (grâce à une plus grande infiltration de l'eau et à une diminution des taux d'évapotranspiration) augmente la quantité d'eau disponible pour favoriser la croissance des plantes. Une rétroaction positive peut également avoir deux inconvénients, par exemple lorsque la déforestation entraîne une diminution de la biomasse, une augmentation des sols nus et du ruissellement des nutriments, ainsi qu'une diminution des quantités de biomasse pouvant croître sur ces sols. De multiples rétroactions peuvent interagir simultanément. C'est ce qu'implique l'idée que les perturbations humaines peuvent pousser le système terrestre au-delà de seuils critiques ou de "points de basculement" dans des états qualitativement différents (par exemple, un changement climatique irréversible), de sorte qu'à un certain moment, une perturbation minuscule peut avoir des conséquences à long terme, voire irréversibles, pour un système, c'est-à-dire "quand les petites choses peuvent faire une grande différence". Grâce à la restauration des écosystèmes, nous pensons pouvoir promouvoir une rétroaction positive favorable à la vie et accroître la résilience de notre écosystème mondial.
- **Indicateurs :** il s'agit d'indices ou de signes qui nous permettent de savoir si les résultats sont atteints.
- **Utilisation des terres ou gestion des terres :** se réfère aux arrangements, activités et intrants humains qui produisent, modifient ou maintiennent certains types de couverture terrestre (UNCCD 2016).
- **Moyens de vérification :** les différents tests utilisés pour mesurer les résultats.
- **Suivi :** processus systématique de collecte de données dans un délai donné.

- **Résultats** : il s'agit des objectifs que nous espérons atteindre et améliorer grâce à la restauration.
- **Télé-détection** : Collecte de données d'observation de la Terre à partir de satellites, d'avions ou d'autres sources éloignées.
- **Écosystème/sites de référence** : représente l'état (approximatif) de l'écosystème où la restauration est visée, si la dégradation avait été moins importante ou n'avait pas eu lieu du tout (Gann et al, 2019).
- **Restauration** : "(...) un processus qui vise à rétablir la fonctionnalité écologique et à améliorer le bien-être humain dans les paysages dégradés" (Buckingham et al, 2019).
- **Site d'échantillonnage ou lieu d'échantillonnage** : défini au sens large comme les sites spécifiques où la collecte de données écologiques a lieu au fil du temps ; il doit être représentatif d'une zone donnée.
- **Normalisation** : dans notre contexte, il s'agit du processus de mise en œuvre/développement de normes sur la base d'un large consensus (scientifique). Les méthodologies normalisées contribuent à l'interopérabilité des données et aident à garantir la répétabilité et la qualité des mesures.
- **Zone(s)** : se réfère aux différentes zones/localisations au sein du site global du projet, telles que définies dans la conception du site. Les critères utilisés pour désigner chaque zone varieront selon le projet de restauration - ils peuvent être basés sur les différentes formes de gestion (p. ex. pâturage, paillis), les types d'écosystèmes (p. ex. forêts, zones humides), l'altitude, la distance par rapport à la zone communale, etc.

RÉFÉRENCES

- Apfelbaum, S. I. et Chapman, K. A. (1997). Ecological restoration : a practical approach (Restauration écologique : une approche pratique). Ecosystem Management : Applications for Sustainable Forest and Wildlife Resources. Yale University Press, New Haven, CT, 301-322.
- Bano, R.m, Roy S. (2016). Extraction des microarthropodes du sol : A low cost Berlese-Tullgren funnels extractor.
- Bestelmeyer B.T. et al. (2017) State and Transition Models : Theory, Applications, and Challenges. In : Briske D. (eds) Rangeland Systems. Springer Series on Environmental Management (Série Springer sur la gestion de l'environnement). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-46709-2_9
- Buckingham, K., Ray, S., Granizo, C. G., Toh, L., Stolle, F., Zoveda, F., ... & Brandt, J. (2019). La voie de la restauration : un guide pour identifier les priorités et les indicateurs de suivi de la restauration des forêts et des paysages. Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture et Institut des ressources mondiales, 70.
- Eswaran, H., Van Den Berg, E., & Reich, P. (1993). Organic carbon in soils of the world. Soil science society of America journal, 57(1), 192-194.
- Feddes, R.A. & Lenselink, K.R. (1994). 5 Evapotranspiration.
- Gann, G. D., McDonald, T., Walder, B., Aronson, J., Nelson, C. R., Jonson, J., ... & Dixon, K. W. (2019). Principes et normes internationaux pour la pratique de la restauration écologique. Restoration Ecology. 27 (S1) : S1-S46., 27(S1), S1-S46.
- Hatten, J. et Liles, G. (2019). Un "équilibre sain-Le rôle des propriétés physiques et chimiques dans le maintien de la fonction des sols forestiers dans un monde en évolution. Dans Developments in Soil Science (Vol. 36, pp. 373-396). Elsevier.
- He, S., He, Z., Yang, X. et Baligar, V. C. (2012). Mechanisms of nickel uptake and hyperaccumulation by plants and implications for soil remediation. Advances in agronomy, 117, 117-189.
- Hillel, D., & Hatfield, J. L. (Eds.). (2005). Encyclopédie des sols dans l'environnement (Vol. 3). Amsterdam : Elsevier
- Running, S. et Zhao, M. (2019). MOD17A3HGF MODIS/Terra net primary production gap-filled yearly L4 global 500m SIN grid V006. NASA EOSDIS land processes DAAC.
- Situmorang, J. P., Sugianto, S. et Darusman, D. (2016). Estimation des stocks de carbone à l'aide de l'indice de végétation EVI et NDVI dans la forêt de production du sous-district de Lembah Seulawah, Aceh, Indonésie. *Aceh International Journal of Science and Technology*, 5(3), 126-139.
- Stockmann, U., Adams, M. A., Crawford, J. W., Field, D. J., Henakaarchchi, N., Jenkins, Zimmermann, M. (2013). The knowns, known unknowns and unknowns of sequestration of soil organic carbon (Les connaissances, les inconnues connues et les inconnues de la séquestration du carbone organique du sol). *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 164, 80-99.
- Kaestner, M., Miltner, A. et Liang, C. (2019, janvier). La nécromasse microbienne dans la matière organique du sol (SOM) et son impact sur les processus et les propriétés du sol. In *Geophysical Research Abstracts* (Vol. 21)
- Liang, C., Kästner, M. et Joergensen, R. G. (2020). Microbial necromass on the rise : the growing focus on its role in soil organic matter development.
- NRCS, U. (2015). Fiches d'indicateurs de qualité des sols
- Ponce-Hernandez, R., Koohafkan, P. et Antoine, J. (2004). Évaluation des stocks de carbone et modélisation de scénarios gagnant-gagnant de séquestration du

carbone par des changements d'utilisation des terres (Vol. 1). Food & Agriculture Org.

- UNCCD (Convention des Nations Unies sur la lutte contre la désertification). 2016. "Dégradation des terres". Centre de connaissances de l'UNCCD.
- USAID (Agence des États-Unis pour l'aide internationale). 2018. "Qu'est-ce que la gestion adaptative ? USAID Learning Lab.