



cbn

CONSERVATOIRE
BOTANIQUE NATIONAL
ALPIN

cbn

CONSERVATOIRE
BOTANIQUE NATIONAL
PYRÉNÉES
ET MIDI-PYRÉNÉES

GUIDE D'AIDE À LA DÉFINITION DES ÉTAPES DE RESTAURATION DES ÉCOSYSTÈMES HERBACÉS

avec des végétaux sauvages et locaux

2023



Introduction

PAGE 4

Partie 1 : CADRE GÉNÉRAL DE LA RESTAURATION D'ÉCOSYSTÈMES

PAGE 6

Partie 2 : LES ÉTAPES CLÉS DE LA RESTAURATION D'ÉCOSYSTÈMES

PAGE 12

Partie 3 : CATALOGUE DES ÉTAPES DE RESTAURATION D'ÉCOSYSTÈMES

PAGE 22

Lexique

PAGE 44

Références bibliographiques

PAGE 46

INTRODUCTION

Aujourd'hui, les acteurs impliqués dans le processus de la restauration écologique en France font état du manque de document technique de synthèse pour l'élaboration et la réalisation de chantiers.

**Quelles sont les étapes clés d'un chantier pour améliorer son efficacité ?
Quelles actions mettre en place ?**

Ce guide vise donc à proposer une démarche sur les manières de concevoir la restauration des écosystèmes à toutes les phases du chantier : de la conception à la réalisation et pour tous les acteurs concernés.

Ce guide a pour objectifs de :

Fournir aux bureaux d'études une aide à la rédaction des études environnementales afin qu'elles prennent en compte **toutes les étapes nécessaires à la réussite de chantiers de restauration écologique**

Fournir aux services instructeurs un appui permettant de **contrôler si les étapes nécessaires à la réalisation de chantiers de restauration écologique sont bien prises en compte** dans les études environnementales

Fournir aux maîtres d'ouvrage une synthèse des points clés du succès d'une opération de restauration écologique, afin qu'ils puissent eux-mêmes vérifier leur prise en compte dans les étapes dont ils sont responsables

Ses champs d'application sont **les milieux herbacés dégradés de type prairies agricoles, prairies fleuries urbaines, pelouses, friches, etc.**

Domaines d'application :

Les domaines d'application de ce guide ne sont a priori pas limités et peuvent concerner l'ensemble des milieux ouverts de France métropolitaine quel que soit le relief, des plaines aux zones montagneuses et l'aire biogéographique, du domaine atlantique au domaine méditerranéen. Ceci dit, il revient à l'utilisateur de s'interroger ou d'adapter certains éléments lorsqu'il se trouve dans un contexte très spécifique.

Ce guide est avant tout destiné aux services instructeurs, aux bureaux d'étude, et aux maîtres d'œuvre et d'ouvrage.

Ce guide a été conçu de manière à prendre en compte les fonctionnalités des écosystèmes pour retrouver des milieux résilients : une grande importance est accordée aux compartiments végétation, sol et faune pour orienter les travaux et la gestion qui sera faite.

Enfin, les végétaux sauvages et locaux sont une ressource précieuse pour restaurer et préserver la biodiversité sauvage, agricole ou urbaine. Un focus est fait sur la marque Végétal local et son intérêt pour la mise en œuvre des opérations de restauration des écosystèmes herbacés.

Ce guide a également pour but de synthétiser des documents techniques très complets auxquels il est fait souvent référence et auprès desquels les utilisateurs pourront se référer (Dupin et al. 2019).

Les éléments présentés dans ce guide pourront être utilisés dans la rédaction des CCTP (Cahiers des Clauses Techniques Particulières) pour définir les opérations techniques de restauration mais aussi pour donner un cadre aux éventuelles pénalités encourues par les entreprises qui ne respecteraient pas le cadre défini par le CCTP.

Exclusion :

Ce guide n'intègre pas les méthodes de restauration orientées sur la gestion des milieux (débroussaillage, mise en exclos, arrachage d'espèces exotiques envahissantes, etc.)

Ce guide n'a pas vocation à servir de stratégie de conservation d'habitats ; celle-ci doit être réfléchi bien en amont de l'utilisation de ce guide.

ATTENTION
LA PERSPECTIVE
DE RESTAURATION
NE JUSTIFIE JAMAIS
LA DESTRUCTION
DES ÉCOSYSTÈMES

La restauration écologique ne peut être considérée comme un substitut à la conservation des écosystèmes naturels et semi-naturels. En effet, on est encore loin de savoir reconstituer des milieux à 100% de leur fonctionnalité et de leur capacité à fournir des services écosystémiques. Mieux vaut donc conserver que restaurer !



PARTIE 1

CADRE GÉNÉRAL DE LA RESTAURATION D'ÉCOSYSTÈMES

Ce guide est construit selon la notion de “continuum de restauration” au sens de la Society for Ecological Restoration* (SER) afin de s’adapter aux différents types de dégradation et aux différents degrés de naturalité des milieux (Fig. 1).

Le continuum de restauration comprend une gamme d’activités et d’interventions qui peuvent améliorer les conditions environnementales et inverser la dégradation des écosystèmes et la fragmentation du paysage. Le continuum met en évidence les interconnexions entre ces différentes activités et reconnaît que les caractéristiques spécifiques de la localité visée par les actions de restauration dictent les activités les mieux adaptées aux différentes unités paysagères. Au fur et à mesure que l’on progresse le long du continuum, les résultats en matière de santé écologique et de biodiversité, ainsi que la qualité et la quantité des services écosystémiques, augmentent. La restauration écologique peut être mise en œuvre dans les paysages urbains, agricoles, industriels, naturels et semi-naturels (Gann et al. 2019).

1

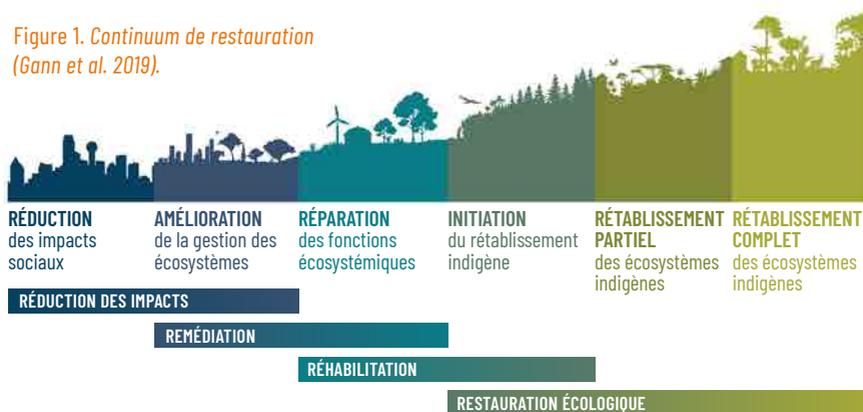
POUR SE COMPRENDRE

De nombreux termes sont utilisés lorsqu'on parle de restauration d'écosystèmes et les significations peuvent différer selon les personnes. De plus, ces termes évoluent avec les pratiques, le contexte et les connaissances associées. Un cadrage sémantique sur les termes utilisés dans ce guide semble donc nécessaire.

Sur les notions générales, les termes de **réaffectation**, **réhabilitation**, **restauration d'écosystème**, **restauration écologique** et **revégétalisation** sont définis. Au sujet des références, sont précisées les notions d'**écosystème de référence** (ou référence écologique), de **site de référence**, de **site témoin** et d'**espèces cibles**. Concernant les modalités de végétalisation, sont souvent utilisés les termes suivants : **étrépage**, **minimotte**, **semences cultivées** et **semences récoltées en mélange**. Au sujet de la planification, on parle généralement de **plan de gestion** et de **projet de restauration**. Enfin, sur les marchés publics, les notions de **CCTP**, **analyses des offres** et **sourcing**, sont souvent concernées par cette thématique.

Nous vous proposons de faire le point en vous référant au lexique figurant en Annexe 1.

Figure 1. Continuum de restauration (Gann et al. 2019).



2

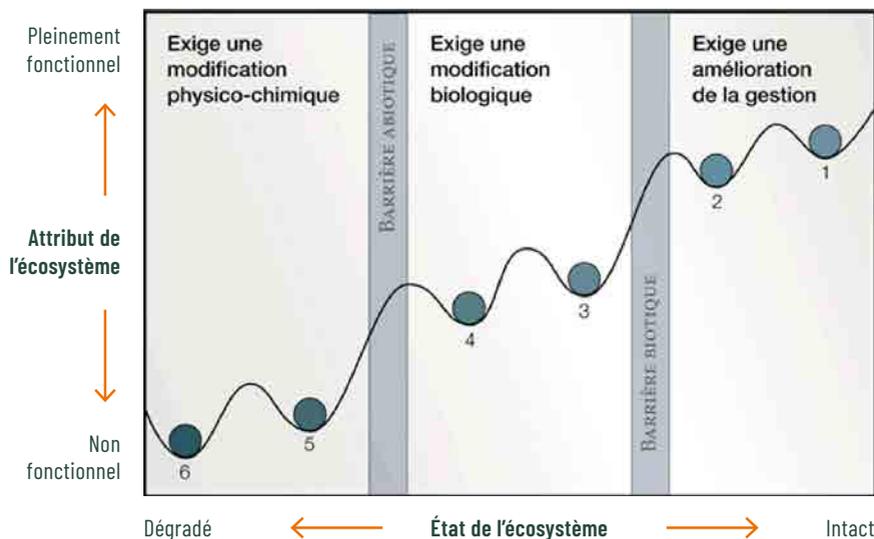
POURQUOI RESTAURER ?

Les pressions d'origine anthropique, associées aux événements météorologiques extrêmes, fragilisent les écosystèmes : perte de la qualité des habitats pour la faune et la flore, réduction de la diversité biologique et détérioration de la capacité de régulation des systèmes naturels. Les sols sont souvent détériorés.

Il est donc important d'évaluer le stade de dégradation de l'écosystème et ses capacités de régénération afin de faire le bon choix dans le type de restauration à entreprendre (Fig. 2) :

- **régénération naturelle (ou restauration passive)** : lorsque la dégradation est faible et que les conditions biotiques et abiotiques sont réunies pour que le fonctionnement du milieu puisse s'autogénérer,
- **régénération assistée (ou restauration active)** : lorsque la dégradation abiotique est peu importante ou bien lorsqu'on peut en éliminer la cause (pollution par exemple),
- **reconstruction** : quand les dommages biotiques et abiotiques sont très importants.

La combinaison des trois approches peut être utilisée dans l'espace et dans le temps.



3

IMPORTANCE DES VÉGÉTAUX SAUVAGES ET LOCAUX

L'utilisation de semences d'origine locale contribue à (Dupin et al. 2019) :

- former des couverts végétaux pérennes et diversifiés,
- reconstituer des interactions entre les plantes, les micro-organismes, la fonge et la faune des sols (amélioration des propriétés physico-chimiques des sols et recyclage des nutriments), ainsi que la faune de surface (notamment les insectes et les chaînes trophiques qui en dépendent),



- créer des communautés végétales aux composantes et au fonctionnement proches de ceux des habitats naturels non perturbés,
- donner une bonne trajectoire au milieu restauré,
- s'assurer que la dynamique enclenchée permette une reconstitution du sol et des milieux plus rapidement.

D'un point de vue économique, l'utilisation de plantes d'origine locale permet de :

- réduire les besoins en semences et fertilisations,
- limiter les processus d'érosion des sols,
- reconstituer une ressource fourragère de qualité en milieu agricole,
- favoriser une économie ancrée dans les territoires, liée aux sites de collecte en milieu naturel.

Figure 2. *Modèle conceptuel de dégradation et restauration des écosystèmes (adapté de Whisenant, 1999 et de Hobbs et Harris, 2001). Régénération naturelle (1 et 2), régénération assistée (3 et 4) et reconstruction (5 et 6).*



4

RESTAURER / CONSERVER ?

Avant de procéder à des travaux sur des milieux naturels ou semi-naturels conduisant à la destruction partielle ou totale de ces milieux, il est important de réunir en amont des chantiers toutes les connaissances disponibles permettant de déterminer les enjeux réglementaires liés aux espèces et aux habitats naturels. Ces éléments figurent dans les autorisations administratives produites suite aux études d'impacts.

De nombreuses ressources sont disponibles pour répondre à ces questionnements (Dupin et al., 2019) :

- carte des habitats naturels et des espèces de la directive Habitats dans les sites Natura 2000,
- carte des ZNIEFF, Réserves naturelles, Arrêté Préfectoral de Protection de Biotope,
- cartes géologiques et topographiques,
- données d'inventaires de la flore, des habitats et de la fonge (Système d'information de l'inventaire du patrimoine naturel (SINP) national et régional),

- listes des espèces sensibles dans le cadre des SINP,
- listes des espèces protégées au niveau national, régional et départemental,
- listes rouges des espèces végétales menacées en France et dans les régions.

Mais au-delà des procédures administratives et des projets de remises en état proposées, il est important de s'interroger sur la capacité des milieux à être restaurés ou pas, grâce à une évaluation des caractéristiques des sols (fonctionnement géochimique, hydrologique et activité biologique).

La restauration des milieux, lorsqu'elle est possible, est un processus extrêmement complexe. Certains écosystèmes sont irréparables et doivent alors impérativement être conservés intacts.

PARTIE 2

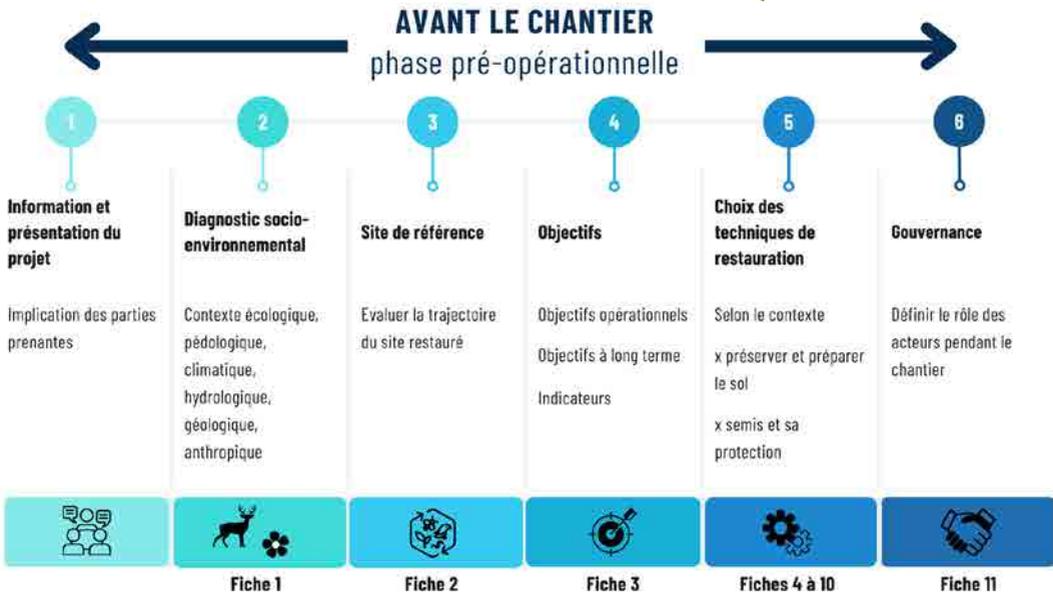
LES ÉTAPES CLÉS DE LA RESTAURATION D'ÉCOSYSTÈME

La SER* a défini des standards pour la planification et la mise en œuvre des opérations de restauration écologique. Nous proposons ici une version adaptée, discutée et validée par deux groupes de travail : l'un formé par des services instructeurs (DDT, DREAL, OFB) et l'autre par des bureaux d'étude, au niveau national.

Les acteurs impliqués dans le processus de la restauration écologique pourront bien sûr aller plus loin en s'appuyant sur le texte de référence (Gann et al., 2019).

Les étapes clés de la phase pré-opérationnelle sont synthétisées dans la figure 4.

Figure 4 : les 11 étapes clés d'une restauration d'écosystème incluant les phases pré-opérationnelle, chantier et post-opérationnelle.



* Society for Ecological Restoration

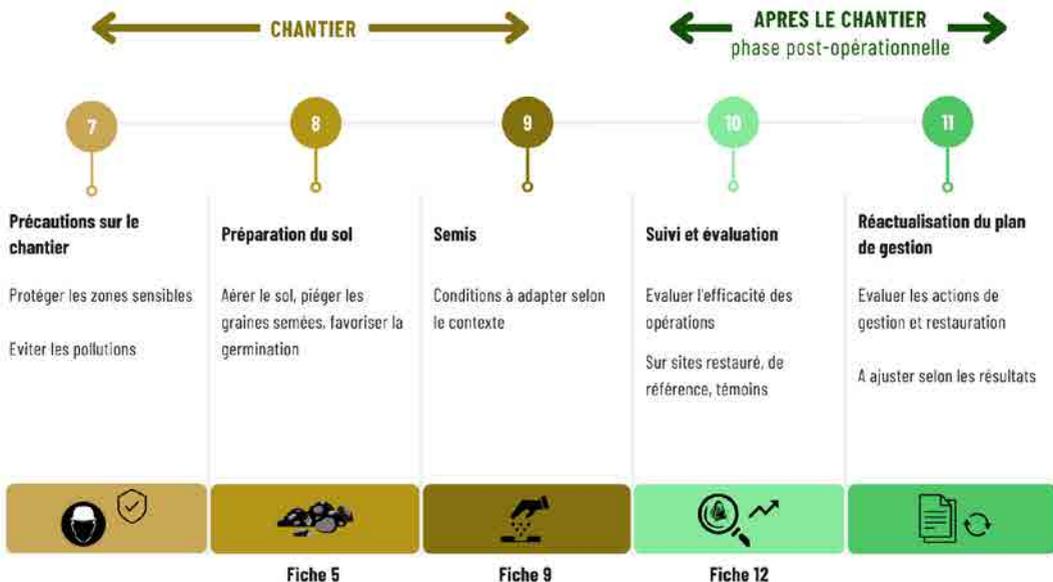
AVANT LE CHANTIER

PHASE PRÉ-OPÉRATIONNELLE

ÉTAPE 1

Implication des parties prenantes du chantier

Elle consiste à informer les parties prenantes du projet de restauration (y compris les propriétaires des terrains et gestionnaires/exploitants), à présenter l'importance du diagnostic écologique et les enjeux, et à définir ensemble les objectifs à long terme. Cette étape est importante et conditionne la réussite du projet.



ÉTAPE 2

Diagnostiquer le site à restaurer

FICHE 1

Il va permettre de contextualiser le site à restaurer au niveau géologique, pédologique, hydrologique, climatique, biodiversité, écologique et paysager, de définir les conditions stationnelles, notamment les communautés végétales (y compris les espèces exotiques envahissantes), les propriétés du sol (physiques et chimiques), l'inventaire de la faune de surface (si en jeux forts ou pour définir des indicateurs d'évaluation de l'efficacité de la restauration) et les conditions microclimatiques. Les perturbations seront prises en compte (risques d'érosion des sols, modification de structuration du sol, etc.) ainsi que les usages en place avant la dégradation (pratiques agricoles, activités touristiques, etc.). Un diagnostic socio-économique enrichit la compréhension globale du projet de restauration.

Ce diagnostic socio-environnemental permettra d'orienter les objectifs du projet, les choix de gestion et de déterminer les techniques de revégétalisation à mettre en œuvre.

ÉTAPE 3

Identifier le ou les écosystèmes de référence

L'écosystème de référence est le modèle non détérioré de l'écosystème à restaurer. Il constitue le milieu cible à atteindre. Facile à définir dans un environnement naturel ou semi-naturel, il est souvent inexistant dans les écosystèmes modifiés de type milieux

urbains, sous les panneaux photovoltaïques ou encore sur les pistes de ski. Il s'agira alors d'un écosystème potentiel dont on a fixé les attributs clés (FICHE 2) pour le contrôle et l'évaluation.

L'écosystème de référence sera ainsi défini par son sol, son hydrologie, son microclimat, sa composition spécifique (inventaire des espèces), sa structure végétale (recouvrement des végétaux, strates, configuration des espèces...), et ses fonctionnalités (dynamique des communautés). Ces attributs constitueront la référence pour évaluer la trajectoire de l'écosystème restauré et vérifier si celle-ci tend bien vers l'objectif fixé. On pourra donc, au cours du temps, comparer des indicateurs tels que les espèces cibles, le taux de recouvrement, le nombre d'espèces exotiques envahissantes, la surface des espèces exotiques envahissantes, le pH, le carbone actif du sol, etc.

Les écosystèmes sont dynamiques : ils s'adaptent et évoluent au cours du temps en réponse à l'évolution des conditions environnementales et des pressions anthropiques. Il est donc nécessaire de suivre à la fois l'écosystème restauré et les sites de référence pour apprécier les évolutions potentielles et ajuster le modèle initialement défini (écosystème de référence) à la lumière des nouvelles informations.

ÉTAPE 4

Fixer les objectifs à long terme et les objectifs opérationnels

FICHE 3

Cette étape est primordiale pour vérifier que les objectifs ont bien été atteints après travaux. On distingue les objectifs à long terme, très généraux, et les objectifs opérationnels qui doivent être spécifiques, mesurables, acceptables ou atteignables, réalistes en termes de moyen et temporellement bien définis (SMART). Ils seront atteints grâce à des indicateurs spécifiques et quantifiables. Par exemple, l'abondance des plantes invasives à moins de 1% de recouvrement, l'arrêt du pâturage du bétail dans un délai de un an, etc.

Cette étape permet de définir les modalités de gestion des milieux restaurés (gestion du pâturage, fauche, gestion des espèces exotiques envahissantes (EEE), etc.).

Les objectifs opérationnels peuvent dans certains cas être mentionnés dans les cahiers des charges de travaux, dans un arrêté réglementaire ou constituer un élément d'engagement contractuel avec une entreprise. Par exemple : un recouvrement de végétation de 60% doit être atteint ; dans le cas contraire un semis de regarnissage avec amendement sera réalisé.



ÉTAPE 5

Choisir les techniques de restauration les plus appropriées

Les méthodes de restauration d'écosystèmes sont nombreuses et dépendent de plusieurs facteurs : les types de milieux, les conditions climatiques, la géologie, l'épaisseur du sol en place, la pente, les risques d'érosion, l'hydrologie, la présence de zones sources où collecter des graines, les objectifs fixés, la gestion qui va être mise en place, les ressources techniques et moyens mobilisables, les obligations, prescriptions et contraintes réglementaires et techniques, etc. L'objectif prioritaire est de créer les conditions favorables à l'expression de dynamique de colonisation naturelle.

À partir de la situation spécifique au chantier, les questions suivantes pourront guider vers les techniques les plus appropriées.

RÉGÉNÉRATION NATURELLE :

Lorsque le sol n'est pas ou très faiblement détérioré, il est possible de s'appuyer sur une régénération naturelle : il s'agit de laisser faire la nature, en comptant sur la banque de graines du sol* pour la reprise de végétation. Cette méthode est à utiliser uniquement en l'absence d'espèces exotiques envahissantes : il est alors important de vérifier dans les SINP (systèmes d'information de l'inventaire du patrimoine naturel) au niveau national et régional** qu'il n'y a pas d'EEE à l'amont ou le long de voies de communication qui peuvent être des vecteurs de dispersion de ces espèces.

Cette approche est favorisée lorsque le stade de dégradation est faible (sol pas ou peu perturbé), qu'il existe des possibilités importantes de recolonisation par les plantes et les animaux (dispersion le long de connectivités), que les risques d'érosion sont faibles et qu'on a suffisamment de temps.

La régénération naturelle peut être mobilisée aussi pour des interventions très ponctuelles dans l'espace et dans le temps. Par exemple, lors de travaux linéaires comme une tranchée pour l'enfouissement de réseaux (eau, électricité, gaz ou assainissement), il est possible de creuser la tranchée en séparant les horizons de sol (FICHE 4) afin de préserver notamment la banque de graines du sol et de reboucher la tranchée simplement. La cicatrisation naturelle du milieu peut souvent se faire par elle-même, soit par recolonisation des espèces restées de part-et-d'autre de la tranchée, soit par l'expression de la banque de graines du sol.



EST-CE QU'UNE RESTAURATION PASSIVE EST POSSIBLE ?

1. SI OUI

on laisse faire

Voir encadré « Régénération naturelle »

2. SI NON

une restauration active est nécessaire
EST-IL NÉCESSAIRE DE PRÉSERVER LE SOL ?

*Réserve de diaspores (fruits, graines, spores) viables présentes dans le sol d'un lieu donné.

**inpn.mnhn.fr/programme/donnees-observations-especes/references/habilitation



SI OUI

- Préserver le sol de l'érosion par la mise en place de systèmes anti-érosifs (cunettes de déviation des eaux, implantation de plaques d'herbe en courbes de niveau, mise en place de treillis biodégradables, utilisation de paillages adaptés, ou semis réalisé en période favorable)(Dupin et al., 2019),
- Préserver le sol pour reconstituer les différents horizons (**FICHE 4**),
- Préserver le sol et les végétations existantes par étrépage - replacage (**FICHE 5**).

Lorsqu'on ne peut pas compter sur la banque de graines du sol, alors la régénération doit être assistée par l'apport de graines ou de plants. Un mélange de semences est alors à concevoir (**FICHE 8**), avec notamment des semences sauvages d'origine locale, par exemple :

- préparer le sol pour le semis (**FICHE 6**),
- utilisation de semences récoltées (**FICHE 7**) : choix des machines de collecte, choix de la date de collecte de graines, choix des parcelles sources ;
- utilisation de semences cultivées (**FICHE 8**) : choix des mélanges d'espèces, choix des densités à semer.

SI NON

L'utilisation des semences nécessite alors de s'interroger sur les méthodes de semis (**FICHE 9**) à mettre en œuvre selon les conditions topographiques et le type de semences utilisées (hydroseeder, épandage, etc.) et la protection des semis (**FICHE 10**) soit des animaux domestiques ou sauvages (mises en exclos) soit des éléments naturels (gravité, vent, écoulement, ruissellement, etc.).

La fragilité du sol et l'enjeu de sa conservation* nécessitent une bonne gestion avant, pendant et après la phase chantier :

- Limiter la dégradation des zones qui ne seront pas impactées directement par les travaux.
- Planifier et baliser la circulation des engins pour éviter le tassement ou la mise à nu de sol sensible à l'érosion (Dupin et al., 2019, **FICHE 4**):
 - cartographier et matérialiser avec de la rubalise les zones de circulation,
 - réduire les distances à parcourir et le nombre de voies de circulation,
 - protéger les zones sensibles contenant des espèces et des habitats à enjeux,
 - contrôler le respect du plan de circulation,
 - prévoir des secteurs de stockage des engins, du matériel ou matériaux sur des surfaces étanches pour éviter toute pollution par les hydrocarbures et autre fluides.

ÉTAPE 6

Gouvernance du chantier de restauration

Qui est responsable de quoi ? Qui fait quoi, quand, comment, à quel moment ? Ce sont autant de questions importantes pour planifier les étapes, depuis la phase d'élaboration jusqu'à la phase de suivi (**FICHE 11**).



PENDANT LE CHANTIER

ÉTAPE 7

Précautions en phase chantier

Appliquer les recommandations du paragraphe « Limiter la dégradation ».

De nombreux détails figurent dans le guide d'aide à la définition des mesures « Éviter Réduire Compenser » (ERC) (Alligand et al., 2018).

* La stratégie de l'UE pour la protection des sols a pour objectifs : préserver la fertilité des sols, réduire l'érosion et l'imperméabilité des sols, augmenter leur teneur en matière organique, restaurer les sols dégradés, définir les conditions de leur bon état écologique, fixer des objectifs de restauration et améliorer leur surveillance.

ÉTAPE 8

Préparer le sol avant ensemencement

FICHE 5

Après les chantiers de requalification, de création d'infrastructures ou même de dépollution, le sol est généralement compacté. Il est important de le travailler en surface afin de l'aérer et de créer des aspérités en surface, soit pour piéger les graines semées soit pour favoriser la germination de la banque de graines du sol par griffage ou chenillage par exemple. Attention, si le substrat est trop caillouteux, il est important de ne pas le travailler pour ne pas faire remonter les matériaux grossiers.

Suivant la pente, ce travail doit être adapté car ce sont les quelques centimètres de surface qui sont les plus sensibles à l'érosion. Dans certains cas, on préférera créer des aspérités par chenillage, crantage ou marquage avec les dents du godet d'une pelle plutôt que de travailler le sol en surface.

La préparation du sol doit être faite juste avant le semis, elle ne peut pas être anticipée pour un semis qui est prévu 6 mois plus tard. C'est donc la date de semis qui va conditionner la date de préparation du sol.

ÉTAPE 9

Préconisations pour le semis

FICHE 9

Les conditions du semis sont un élément déterminant de la réussite d'une opération. Le semis doit avoir lieu à une période climatiquement favorable, cette période varie d'une région à l'autre et d'une altitude à l'autre. En plaine, des semis d'automne ou de sortie d'hiver sont souvent préconisés. Suivant les régions les conditions printanières peuvent être favorables aux jeunes plantules avec des pluies fréquentes. Dans d'autres régions, le semis d'automne permet d'obtenir de meilleurs résultats.





APRÈS LE CHANTIER

PHASE POST- OPÉRATIONNELLE

ÉTAPE 10

Suivi et évaluation des chantiers de restauration d'écosystèmes

FICHE 12

Les suivis sont indispensables pour évaluer l'efficacité des opérations de restauration réalisées. Ils doivent, avant tout, être choisis pour répondre aux objectifs fixés à l'étape 4.

La végétation est restée pendant longtemps le seul compartiment étudié grâce à des inventaires botaniques, voire des relevés phytosociologiques. Aujourd'hui, l'évaluation porte davantage sur la fonctionnalité des milieux restaurés que sur la reprise de la végétation. Ainsi, les suivis doivent porter à la fois sur la végétation, le sol biotique et abiotique et la faune de surface, notamment les insectes pollinisateurs qui jouent un grand rôle dans la réussite du processus de fructification des plantes et donc dans leur survie. Ces protocoles doivent être à la fois simples à mettre en place, rapides à exécuter et fiables donc reproductibles.

Il est également important que le suivi porte aussi sur un site témoin non altéré correspondant à l'écosystème de référence, en condition pédoclimatique similaire surtout si on veut suivre les sols, afin d'apprécier la trajectoire du site restauré dans le temps.

Si des actions de gestion différenciée sont mises en place, alors il faudra réaliser les suivis dans toutes les modalités afin de comparer les résultats et identifier la technique la plus efficace.

ÉTAPE 11

Réactualisation du plan de gestion des milieux restaurés

Les suivis réalisés au cours du temps vont permettre d'évaluer les actions de restauration et de gestion mises en œuvre et de les ajuster en fonction des résultats. Durant cette phase, il est souvent important d'impliquer à nouveau les parties prenantes du projet de restauration afin de recadrer les attendus. En effet, l'écosystème peut évoluer et de nouvelles variables peuvent entrer en jeu : les objectifs et les indicateurs associés devront être adaptés au cours du projet. Parfois, les objectifs ont été mal fixés au départ et si l'objectif n'est pas atteint, alors il est important de reprendre les étapes depuis le diagnostic.





PARTIE 3

CATALOGUE DES FICHES TECHNIQUES

Les douze fiches techniques suivantes ont pour but de détailler certaines actions ou certaines étapes clés de la restauration **écologique**. Nous espérons qu'elles apporteront des réponses concrètes aux différents acteurs de la restauration, qu'ils soient décideurs ou exécutants.

Voici la liste des 12 fiches techniques :

- FICHE 1** - Diagnostic du site à restaurerPage 24
- FICHE 2** - Identifier les attributs clés de l'écosystème en lien avec les objectifsPage 25
- FICHE 3** - Fixer les objectifs à long terme et les objectifs opérationnels.Page 26
- FICHE 4** - Préserver le sol pour reconstituer les différents horizonsPage 27
- FICHE 5** - Préserver le sol par étrépage-replacagePage 28
- FICHE 6** - Préparer le sol avant ensemencementPage 29
- FICHE 7** - Utiliser des semences sauvages et locales récoltéesPage 30
- FICHE 8** - Utiliser des semences sauvages et locales cultivées Page 31
- FICHE 9** - Méthodes de semis.Page 32
- FICHE 10** - Protection des semis.Page 33
- FICHE 11** - Assurer la prise en compte des enjeux environnementaux dans le processus de commande publique.Page 34
- FICHE 12** - Suivi et évaluation des chantiers de restauration d'écosystèmes.Page 35

FICHE 1 - DIAGNOSTIC DU SITE À RESTAURER

D'après la SER, l'état initial des écosystèmes doit inclure :

- une liste des espèces autochtones ou non dont la présence est avérée sur le site. Une attention particulière sera donnée aux espèces et communautés menacées et aux espèces invasives,
- une description des facteurs abiotiques,
- la capacité relative des organismes vivants d'un site ou de sa périphérie à s'implanter ou à poursuivre son rétablissement avec ou sans assistance (inventaire et cartographie des espèces présentes sur le site et à ses alentours pouvant potentiellement le coloniser et des zones en bon état de conservation pouvant servir de source),
- identifier le type et l'intensité des menaces ayant causé les dégradations, les méthodes pour les éliminer ou les limiter : impacts historiques, besoins de restauration, effets des changements climatiques à prendre en compte...

Le diagnostic du site est une phase importante pour réaliser les opérations de restauration dans les meilleures conditions. Il doit être réalisé bien en amont des phases opérationnelles de restauration et nécessite souvent l'implication des acteurs locaux.

Nous proposons une fiche diagnostic vierge permettant de capitaliser toutes les informations nécessaires à la compréhension et l'analyse du contexte de restauration.

cbr Fiche diagnostic du site à restaurer

Comme rempli, voir p. 62

Commune :		Copie de site / carte / photographie
Lieu dit :		
Nom de site :		
Département (DD) :		
Numéro de parcelle :		
Secteur :		
Surface :		
Exposition :		
Pente :		
<input type="checkbox"/> Faible (<30%) <input type="checkbox"/> Moyenne (30-50%) <input type="checkbox"/> Forte (>50%)		
Altitude :		
Propriétaire :		
Type de dégradation :		
Usages actuels / Usages passés :		
Statut du terrain : <input type="checkbox"/> Public / <input type="checkbox"/> Privé / <input type="checkbox"/> Commune / <input type="checkbox"/> Département		
Objectif du programme et/ou expérimentation :		
Objectifs de la restauration :		
Type d'intervention :		
Surface de la (ou des) zone(s) d'intervention :		

Ain 2023 - programme R2300

Des indicateurs spécifiques et mesurables sont ensuite sélectionnés pour aider à évaluer si les cibles, les objectifs opérationnels et à long terme sont atteints grâce aux interventions effectuées.

FICHE 2 - IDENTIFIER LES ATTRIBUTS CLÉS DE L'ÉCOSYSTÈME EN LIEN AVEC LES OBJECTIFS

L'écosystème de référence est défini par des attributs clés composés des éléments biotiques (les éléments vivants comme les espèces qui le composent) et abiotiques (les éléments non-vivants comme la texture et le pH du sol, sa profondeur, la pente, les conditions hydrologiques). Les sources d'informations peuvent inclure plusieurs sites de références existants, des indicateurs de terrain, des indices historiques et des données prédictives.

Il est important de définir les attributs clés au stade initial de la planification du projet.

Attribut clé	Etat initial	Etat de référence	Mesure prise	Objectif opérationnel
Conditions hydrologiques	ex: sec à l'année	ex: suffisamment humide pour une végétation prairiale	ex: comblement de drains	ex: apparition de telle espèce à 3 ans après travaux
Structure, texture, profondeur, qualité physico-chimique et pH du sol	ex: sol compacté inerte, basique, texture sableuse	ex: structure grumeleuse, sol vivant	ex: broyage de la végétation en place les deux premières années	ex: pas de marque de battance à 3 ans après travaux
Pente / exposition	ex: pente forte uniforme soumise à l'érosion laminaire	ex: pente aménagée pour éviter que l'eau de surface ne prenne de la vitesse (cunette, rupture de pente)	ex: terrassement adapté	ex: plus de marques d'érosion de surface à 3 ans
Composition faunistique et floristique spécifique	Ex pour la flore : inexistante, quelques annuelles rudérales	Ex pour la flore : cortège de prairiales	Ex pour la flore : semis végétal local	Ex pour la flore : nb d'espèces prairiales > 6 à 2 ans après semis nb d'espèces de prairie > 10 à 4 ans après-travaux
Recouvrement par la végétation	ex: 5%	ex: 100%	ex: protection des semis par du foin	60% à 1 an après-travaux
Fonctionnalité (ex : accueil des pollinisateurs)	ex: nulle	ex: fréquentation effective d'avril à juillet	ex: semis d'espèces attractives	à définir
Fonctionnalité (ex : production fourragère)	ex: nulle	ex: production de foin supérieure à 6tMS/ha	ex: semis d'espèces à valeur fourragère	ex: production supérieure à 2tMS/ha à trois ans après travaux. Absence d'espèces toxiques.

FIGHE 3 - FIXER LES OBJECTIFS À LONG TERME ET LES OBJECTIFS OPÉRATIONNELS

Ainsi, pour chaque objectif, il est nécessaire de fixer :

- l'attribut clé,
- le résultat souhaité (augmentation, diminution, maintien),
- l'ampleur de l'effet (*ex : augmentation de 40% de la couverture végétale*),
- le délai.



Les objectifs sont-ils SMART ?

- **Spécifique** : défini clairement afin que toutes les personnes impliquées dans le programme aient la même compréhension de la signification des termes de l'objectif.
- **Mesurable** : définissable par rapport à une échelle standard (chiffre, pourcentage, fractions, tout ou rien).
- **Acceptable ou Atteignable** : large soutien des parties prenantes.
- **Réaliste en termes de moyen** : prend en compte les éléments de diagnostic du site (contexte écologique, économique, social, politique, etc.).
- **Temporellement défini** : réalisable dans une période de temps spécifique, généralement de 1 à 10 ans pour un objectif à court terme, de 10 à 20 ans pour un objectif à moyen-long terme.

Les indicateurs découlant des objectifs fixés doivent être mesurables, précis, cohérents et sensibles.



Cible	Objectifs à long terme	Objectifs opérationnels	Indicateurs de suivi
<p>Prairie de fauche définie par l'écosystème de référence (pH, qualité et épaisseur de sol, composition spécifique, recouvrement de végétation, carbone actif, C/N, valeur fourragère)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • objectifs écologiques : composition, structure et fonctionnalités intactes dans les 10 ans • objectifs économiques : quantité fourragère dans les 10 ans 	<ul style="list-style-type: none"> • absence d'espèces exotiques envahissantes en 3 ans • taux de recouvrement de la végétation >70% en 2 ans • taux d'espèces cibles > 70% en 5 ans • cessation du pâturage pendant 2 ans 	<ul style="list-style-type: none"> • espèces exotiques envahissantes • taux de recouvrement de végétation • taux d'espèces cible • présence de troupeaux domestiques

FICHE 4 - PRÉSERVER LE SOL POUR RECONSTITUER LES DIFFÉRENTS HORIZONS

Le sol est précieux : son fonctionnement géochimique et biologique est complexe et il résulte d'un long processus d'évolution qui a donné naissance à de nombreuses interactions entre les composantes physiques, chimiques et biologiques. Il est donc important de le conserver lorsque cela est possible par décapage ou étrépage, et de le stocker afin de le remettre en place après travaux (Dupin et al., 2019).

Cette opération nécessite de bien distinguer les trois horizons du sol : **organique, organo-minéral, minéral**.

Décapage et stockage de la terre végétale

L'utilisation de terre végétale locale dans de bonnes conditions assure une meilleure reprise de la végétation car les couches organiques et organo-minérales comportent la banque de graines, de rhizomes, les bactéries et champignons qui accompagnent le fonctionnement de la vie végétale et animale.

Faire un carottage (tarière, bêche, godet de pelle mécanique) pour évaluer l'épaisseur de la couche de terre végétale et sa structure :

- si l'épaisseur de la couche de terre est > 10 cm et que les matériaux sont cohérents alors il est préférable de procéder à la technique de l'étrépage-replacage **FICHE 5**
- si l'épaisseur de la couche de terre est faible (< 10 cm) et que les matériaux sont très déstructurés (sol riche en sable, gravier) alors on peut prélever en vrac et stocker en tas.

Le lieu de stockage doit être anticipé afin de ne pas avoir à déplacer les matériaux plusieurs fois au cours du chantier.

Décapage et stockage de l'horizon organo-minéral et minéral

L'horizon organo-minéral et l'horizon minéral doivent faire l'objet de stockages séparés.

Si des blocs rocheux sont de taille trop importante pour être utilisés directement, il est possible de les concasser pour en reformer une couche minérale. Lors du remaniement de volume important de sol caillouteux, un criblage peut être nécessaire afin de recréer des horizons de surfaces sans gros blocs rocheux (UNEP, 2019).

Remise en place des horizons stockés

- épandre d'abord les éléments minéraux,
- mettre au-dessus les éléments organo-minéraux (terre minérale),
- enfin étaler la terre végétale superficielle : soit en vrac soit en remplaçant les plaques de végétation les unes à côté des autres à la manière d'un patchwork **FICHE 5**

Remarque :

Le décapage de la partie organique du sol est parfois utilisé intentionnellement pour appauvrir la banque de graines du sol, notamment sur des sols riches en espèces nitrophiles ou en espèces exotiques envahissantes. Dans ce cas, il s'agit d'une exportation sans remise en place. Ce sol devra être traité pour ne pas polluer d'autres milieux.

FIGURE 5 - PRÉSERVER LE SOL PAR ÉTRÉPAGE-REPLACAGE

L'étrépage-replacage consiste à découper l'horizon superficiel du sol par prélèvement de plaques contenant le couvert végétal avec son appareil racinaire. Les plaques de végétation sont remises en place (avec ou sans stockage) en vue de végétaliser, partiellement ou totalement, un sol dégradé. Cette technique est à utiliser uniquement sur des zones d'emprise de chantier. On utilise cette technique lors de terrassement de piste ou de reprise de sentier par exemple.

Lorsque l'épaisseur de terre végétale est supérieure à 10 cm et que les matériaux sont cohérents, alors on peut étréper en plaques afin de récupérer les touffes de végétaux grâce à un godet à fond plat, et stocker en andain sous forme de plaque de végétation ; il est important de récupérer l'épaisseur de terre la plus épaisse possible pour ne pas endommager les racines des plantes :



faire une incision dans la couche de terre végétale avec les dents du godet,

tester l'épaisseur de cette couche organique et vérifier que le godet de la pelle mécanique prenne bien des plaques entières pour faciliter la remise en place ultérieure,



*Technique de l'étrépage-replacage
(à gauche : découpage de plaques de sol au godet à fond plat ;
à droite: stockage en andain) (Sources : CBNA, S. Huc, 2021)*

- réaliser ce décapage par temps sec,
- dans l'idéal, si le chantier le permet, un étrépage-replacage à l'avancement est privilégié : on retire les plaques ou touffes de végétation sur un front du terrassement et on les replaque directement sur le front déjà terrassé. Cela permet d'assurer une excellente reprise et de limiter la manutention délicate des plaques avec le godet des engins,
- si le stockage est indispensable, alors stocker les plaques sous forme d'andains d'une hauteur inférieure à 3 mètres : le côté présentant la végétation doit être stocké vers le haut et le côté présentant les racines vers le bas,

- protéger les andains durant toute la durée du chantier pour éviter le piétinement ou la dégradation par les engins de chantier ; si les conditions climatiques sont très sèches, alors penser à arroser de temps en temps afin d'humidifier le sol,
- attention, la période de stockage peut entraîner la mortalité des végétations et de la faune du sol sous l'andain si la période s'étend au-delà de 3 mois. De même, la reprise des plaques risque d'endommager la végétation en dessous. Stocker de préférence les plaques dans un espace prévu à cet effet sur l'emprise chantier,
- le stockage en andain doit être limité dans le temps pour assurer la réussite de la reprise de la végétation : 4 à 6 mois au maximum pour une grande efficacité,
- remettre les plaques de végétation en place les unes à côté des autres, à la manière d'un patchwork sur un sol préalablement préparé.

FICHE 6



Replacage en patchwork
(Sources : CBNA, S. Huc, 2017)

Cette technique de l'étrépage est coûteuse financièrement mais il s'agit de la méthode qui offre le plus de résultat.

Utilisation de la technique d'étrépage-replacage en contrebas de la piste des sapins, domaine skiable du Grand Tourmalet (65). Cette photo a été prise en 2021, 4 ans après les travaux. Au-delà de l'intégration paysagère remarquable, cette technique a permis de maintenir le cortège d'espèces végétales et les fonctionnalités associées dès l'année suivant les travaux (Sources : CBNPMP, M. Delafoulhouze, 2021).



FICHE 6 - PRÉPARER LE SOL AVANT ENSEMENCEMENT

Sur les sols peu profonds généralement pauvres en matière organique, l'objectif de cette opération est de créer des irrégularités topographiques afin d'offrir des conditions favorables à la germination des graines et à l'établissement des plantules.

Deux étapes :

1 étalement de la couche de terre végétale ou aplanissement du substrat existant organique ou organo-minéral, de manière homogène,

2 travail superficiel du sol par la création de rainures perpendiculaires au sens de la pente (ou parallèle aux courbes de niveau).

Ces rainures peuvent être réalisées soit à l'aide d'un engin à chenille léger qui passe dans le sens de la pente, soit avec l'extrémité des dents du godet de la pelle mécanique qui passe perpendiculairement au sens de la pente, soit au râteau sur les petites zones d'accès difficile.

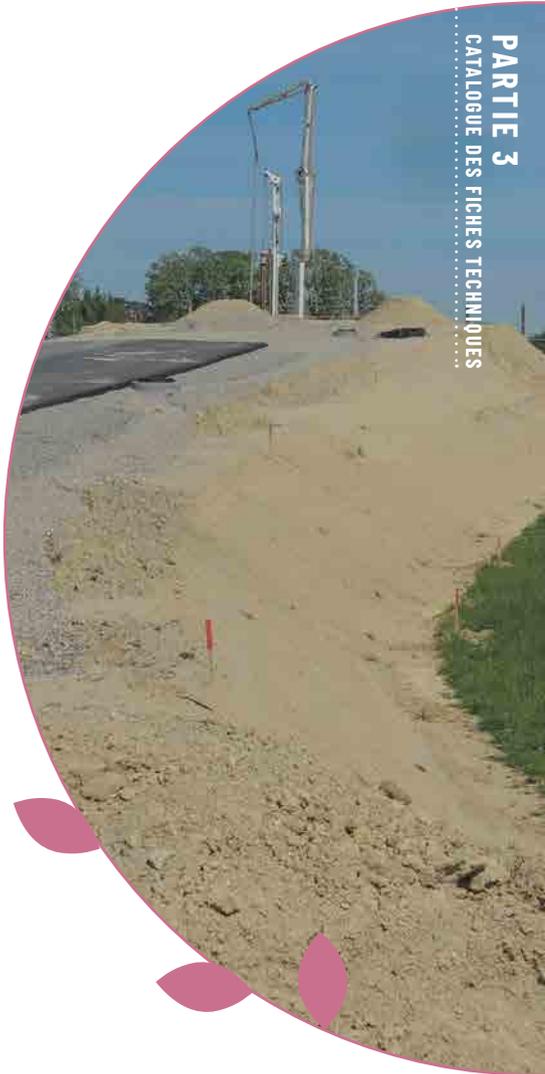
Chenillage perpendiculaire au sens de la pente sur une piste de ski du domaine des Portes du Mont-Blanc (Combloux) (Sources : CBNA, S. Huc, 2022).



Lorsque la phase de semis n'est pas réalisée juste après la préparation du sol, une croûte superficielle peut se former, empêchant les graines de pénétrer dans les premiers centimètres de sol. Il est alors parfois nécessaire de décompacter le sol avant de le rainurer et de le semer. Il est donc préférable que la préparation du sol soit réalisée juste avant le semis. Cette étape est capitale pour la réussite de la revégétalisation. Si ce n'est pas possible, il faut prévoir un couvre-sol qui disparaîtra lors du semis ou pailler le sol pour le protéger de l'érosion.

En zone plane, il est possible de passer un rouleau léger après le semis pour favoriser la levée des plantules.

En terrains pentus, il est important de prévoir la gestion des eaux de ruissellement post-chantier pour préserver le sol et la végétation restaurés.



Lorsque les phases de préparation du sol et de semis font l'objet d'un seul lot, il est important de bien détailler le CCTP car les travaux sont généralement réalisés par deux entreprises différentes.

Lorsque les deux lots sont séparés, il est nécessaire de faire appel à une coordination environnementale qui gèrera le calendrier (préparation du sol juste avant semis).

FIGE 7 - UTILISER DES SEMENCES SAUVAGES ET LOCALES RÉCOLTÉES

Lorsque la végétation cible est une végétation de type prairie, pelouse ou mégaphorbiaie, les semences des espèces qui la composent sont récoltables en mélange directement sur un milieu naturel en bon état de conservation.

Cette technique a plusieurs avantages : elle permet d'obtenir des quantités importantes de semences d'une année sur l'autre, de semer une large diversité d'espèces sauvages et de valoriser des milieux naturels à fort potentiel écologique.

Il existe une large diversité de méthodes de récolte que l'on peut classer en trois grands sous-ensembles :

- La récolte de semences à la brosseuse consiste à récolter les semences mûres à une date donnée à l'aide d'une brosse qui va récupérer les semences directement sur les plantes sur pied. Il existe plusieurs types de brosseuses (attelée à l'avant d'un tracteur, tractée à l'arrière d'un quad ou d'un tracteur et des brosseuses autoportées).
- La récolte à la moissonneuse batteuse consiste à moissonner les espèces d'un milieu naturel. Sur des milieux assez secs et à végétation rase tels que certaines pelouses il est possible de moissonner la végétation en place et de récolter directement les graines. Sur les milieux plus humides ou avec une végétation plus importante, il est conseillé de faucher et d'andainer le foin, puis après quelques jours de séchage la moissonneuse batteuse va passer sur les andains pour n'en récupérer que les semences.
- La récolte et transfert de foin vert consiste à faucher la végétation à la maturité physiologique des espèces dominantes recherchées et de transférer ce produit de fauche sur la parcelle receveuse dans la même journée ou le lendemain. Les semences tombent alors au sol, ou bien terminent de mûrir sur les plantes fauchées avant de tomber et germent en surface protégées par le foin.





	Avantages	Inconvénients
Brosseuse	<ul style="list-style-type: none"> • Facile et rapide à mettre en œuvre • Impacte peu la ressource fourragère et laisse le foin du pied pour le pâturage ou la fauche • S'adapte à la hauteur de végétation • Utilisable quelle que soit la pente 	<ul style="list-style-type: none"> • Ne récolte que les espèces arrivées à maturité en même temps et de même hauteur • Nécessite un équipement spécifique • Rendement limité mais variable selon le type de milieu brossé
Moissonneuse-Batteuse	<ul style="list-style-type: none"> • Récolte une large diversité d'espèces végétales de différentes hauteurs • Permet d'obtenir des semences triées • Bon rendement 	<ul style="list-style-type: none"> • Nécessite une bonne coordination entre fauche et moisson • Mobilise un équipement complexe à déplacer • Difficilement utilisable sur de petites surfaces • Utilisation limitée à des surfaces planes
Matériel agricole classique (faucheuse, andaineuse, roundballeur, épandeur à fumier ou pailleuse)	<ul style="list-style-type: none"> • Meilleur rendement en terme de ration surface récoltée/surface ensemencée • Récolte la plus grande diversité et quantité d'espèces 	<ul style="list-style-type: none"> • Nécessite le déplacement de volumes importants de foin dans un laps de temps réduit • Nécessite la proximité entre parcelle donneuse et receveuse • Utilisation limitée à des surfaces peu pentues

La récolte peut se faire sur végétation bien sèche pour améliorer le stockage (mais les graines trop mures tombent et ne sont pas collectées) ou sur végétation légèrement humide, dans ce cas les graines matures sont piégées par la machine de récolte mais cela nécessite un séchage approprié.

Suite à la récolte, les semences sont triées, séchées et peuvent être semées ensuite à la volée, à l'hydroseeder ou éventuellement avec un semoir mécanique.

Remarque : la date de collecte est importante pour garantir la bonne germination des graines. Pour savoir quand collecter, vous trouverez toutes les informations dans le guide "QUAND COLLECTER DES GRAINES DE PRAIRIES ? Outil de collecte de graines en mélange en prairies de fauche de montagne" (2022)

Et la faune ? Il est préférable de récolter depuis le centre vers l'extérieur de la parcelle, afin de laisser une issue de fuite aux animaux, et non pas de les acculer au centre du site.

FIGE 8 - UTILISER DES SEMENCES SAUVAGES ET LOCALES CULTIVÉES

En complément des semences récoltées en mélange ou pour constituer des mélanges spécifiques, il est possible d'avoir recours à des semences sauvages et locales multipliées. Il s'agit généralement de la palette végétale proposée par le semencier.

La composition de la palette végétale dépend essentiellement de quatre critères : l'objectif de la revégétalisation, les caractéristiques biologiques et physiologiques des végétaux,

le contexte écologique (climat, sol, humidité, pH...), et l'origine et la disponibilité des végétaux.

Trois grands groupes de plantes herbacées sont généralement utilisés : les graminées, les légumineuses ou fabacées et les "autres fleurs". La quantité et la diversité des espèces présentes dans ces 3 groupes varient selon la vocation ou l'usage défini (voir tableau).

	Graminées			Légumineuses			Autres fleurs		
	Quantité	Diversité		Quantité	Diversité		Quantité	Diversité	
Lutte contre l'érosion	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Cheminement	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Ecologique	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Production fourragère	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Dans le cas de projets de restauration écologique, on cherche généralement à lancer une dynamique végétale puisque le sol est souvent détérioré. Il est alors important de se baser sur des espèces pionnières, structurantes pour le milieu. De nombreuses graminées jouent ce rôle en plaine comme en montagne (Poa, Bromus, Festuca...). On peut utiliser les inventaires existants pour connaître les graminées structurantes et indigènes pour le milieu restauré.

Pour un objectif écologique, il est important de diversifier les espèces, soit 15 à 20 espèces. De plus, le mélange grainier ne doit pas être

trop dense : prairie de plaine (3 à 4 g/m²), milieux à forte contrainte en plaine (6 à 10 g/m²), pelouses subalpines à alpines (8 à 15 g/m²), risbermes (10 à 15g/m²) et berges (20 à 25 g/m²).

Les semis sont généralement réalisés à l'automne en montagne et en fin d'hiver-début de printemps en plaine ; mais les conditions climatiques très aléatoires du printemps (sécheresse) rendent la croissance des plantes difficile. Il est donc préférable de réaliser les semis à l'automne ou en fin d'été.

Trois points d'attention:

1 Il est tout à fait normal de voir certaines espèces semées disparaître au cours du temps et d'autres, au contraire, apparaître. En effet, la première année après semis, on observe souvent les espèces annuelles semées et les espèces rudérales provenant de la banque de graines du sol. Dès la deuxième année, les espèces rudérales doivent régresser au profit des espèces vivaces. Si ce n'est pas le cas, la gestion du site doit être repensée et un second semis peut être envisagé.

2 La proportion de chaque espèce dans le mélange est généralement proposée en masse et non en nombre de graines. Or, la taille des graines varient d'une espèce à l'autre. Par exemple : dans un mélange donné, 2% d'*Agrostis capillaris* en masse représentent 20% en nombre de graines alors que 28% de *Bromus erectus* en masse représentent 6% en nombre de graines (G. Huygues, comm. pers.).

Ainsi la proportion en masse n'est pas représentative de ce que l'on peut attendre et observer lors des suivis de végétation.

3 Il est important d'anticiper les commandes car les palettes réalisées avec des semences sauvages d'origine locale nécessitent : une collecte en milieu naturel, une amplification des semences en culture au champ, puis une récolte et la constitution des mélanges par le semencier. Toutes ces étapes demandent du temps (Fig. 3 page 10). Il est toutefois possible de mettre en place des contrats de culture avec un semencier pour garantir l'approvisionnement en semences, notamment lors de chantiers réalisés sur plusieurs années.



FICHE 9 - MÉTHODES DE SEMIS

Il existe principalement 5 méthodes de semis mobilisables :

- semis mécanique en ligne,
- semis mécanique en surface (semoir à engrais, épandeur à sel),
- semis à l'hydroseeder,
- semis manuel à la volée,
- semis par transfert de foin.

Chaque technique a ses avantages et ses inconvénients. Elle s'applique en fonction des ressources disponibles. Tableau synthétique et comparatif des méthodes de semis :

	Mécanique en ligne	Mécanique en surface	À l'hydroseeder	Manuel à la volée	Transfert de foin vert
Mélange de semences	Les semences doivent être propres et bien triées (pas toujours aisé avec des semences locales).	Les semences doivent être triées, un ajout de semoule, sable est souvent nécessaire pour une bonne distribution.	Les semences doivent être triées.	Pas d'exigence particulière.	Transfert direct du foin. Si le mélange doit être complété avec d'autres espèces, alors coupler avec une autre méthode.
Conditions du site et du sol	Le sol doit être bien préparé en surface. Le site doit être à faible pente et accessible.	Le sol doit être bien préparé en surface. Le site doit être à faible pente et accessible.	Méthode adaptée à une grande diversité de types de substrat.	Méthode adaptée à une grande diversité de types de substrat.	Méthode adaptée à une grande diversité de types de substrat.
Surface	Méthode adaptée pour de grandes surfaces (>5000m ²).	Méthode adaptée pour de grandes surfaces (>5000m ²).	Méthode adaptée pour tout type de surfaces.	Méthode adaptée pour de petites surfaces (<5000m ²).	Méthode adaptée pour tout type de surface.
Densité de semis	Faible (30 à 50kg/ha).	Moyenne (40 à 60kg/ha).	À ajuster en fonction du substrat de 40 à 120 kg/ha.	À ajuster en fonction du substrat de 40 à 120 kg/ha.	Entre 2 et 5 tonnes de matière sèche de foin vert à l'hectare.
Période de semis	Printemps ou automne en fonction des régions et du climat.	Printemps ou automne en fonction des régions et du climat.	Printemps ou automne en fonction des régions et du climat.	Printemps ou automne en fonction des régions et du climat.	Date de maturité des principales espèces de la végétation cible (juin/juillet/août)
Coût (au m²)	+ (économie d'échelle)	+ (économie d'échelle)	+++ (peu d'économie d'échelle au-delà de 2000m ²)	+++ (pas d'économie d'échelle)	++ (coût très variable en fonction de la mise en œuvre)
Observations	Un passage de rouleau est préconisé suite au semis.	Un passage de rouleau est préconisé suite au semis.	L'ajout de mulch, de colloïdes et d'amendements organiques se font lors du semis.	Un roulage ou une protection des semis peuvent être nécessaires..	La prairie source doit se situer à proximité direct.

Les semis mécaniques ont l'avantage de mettre les semences dans les meilleures conditions de levée sous une fine couche de sol. Cela permet un meilleur taux de survie lors du développement des jeunes plantules. La densité de semis est donc moindre. Il faut néanmoins que les surfaces, les pentes et l'accessibilité permettent de mécaniser cette étape. L'utilisation de semoir mécanique nécessite aussi des lots de semences triés et homogènes.

Les semis à la volée, qu'ils soient manuels ou au semoir excentrique, ont l'avantage de s'adapter à des terrains variés et à des lots de semences récoltés en mélanges en milieu naturel. Les sols ont besoin d'être bien préparés avant semis, les semis ont par contre besoin d'être protégés ou tassés par un passage de rouleau pour une bonne levée.

Les semis à l'hydroseeder, par projection hydraulique, sont très utilisés sur des terrains pentus ou accidentés. Ils permettent de semer sur des zones inaccessibles. Ils peuvent être réalisés à partir de lots de semences sauvages peu triées. La densité de semences utilisée est supérieure à celle utilisée dans un contexte sans contrainte. Lors du semis, un mulch, des colloïdes ainsi qu'un amendement peuvent être ajoutés aux semences. Ces intrants sont à adapter au cas par cas.

*L'amendement ne doit pas être automatique et doit être considéré en fonction du type de sol, de l'objectif de restauration et du type de végétation attendu. Il est important de s'appuyer sur la fiche Diagnostic **FICHE 1** pour décider de le mettre en place ou pas.*

Par exemple, un chantier réalisé dans un objectif de production agricole nécessitera davantage d'amendement (fumure) que dans le cas d'un objectif de biodiversité. Un paillage peut être parfois suffisant notamment pour des pelouses maigres.



FICHE 10 - PROTECTION DES SEMIS

Il est généralement nécessaire de protéger les graines semées durant les premières années, soit en raison du risque de piétinement par les troupeaux domestiques et par les randonneurs, soit à cause d'éléments naturels pouvant perturber la reprise de végétation (vent, érosion...).

Voici quelques méthodes adaptées aux trois contraintes :

Objectifs	Types de matériels	Avantages	Inconvénients
Protection contre le pâturage	Filets mobiles	Facile à installer et retirer	Nécessite une surveillance au cours de la saison de végétation
	Clôtures fixes	Solide	Lourd à installer
Protection contre le piétinement	Panneaux d'information	Facile à installer	Peu efficace pour orienter le flux
	Barrières dissuasives pour orienter le flux (piquets, cordelette)	Force de persuasion	Lourd à installer
Protection contre les éléments naturels	Géofilets ou treillis biodégradables (coco, jute, chanvre)	Indispensable en zone de montagne ou de forte pente Efficace contre l'érosion	Cher Nécessite du temps d'installation
	Foin sec ou paille contre la pluie et la neige	Pas cher Facile à trouver Efficace contre le ruissellement dû à la pluie ou la fonte de neige	Attention à l'origine du foin/paille (risque d'espèces exotiques, rudérales ou exogènes à la zone semée)

Ces différentes formes de protections et matériaux peuvent être combinées.



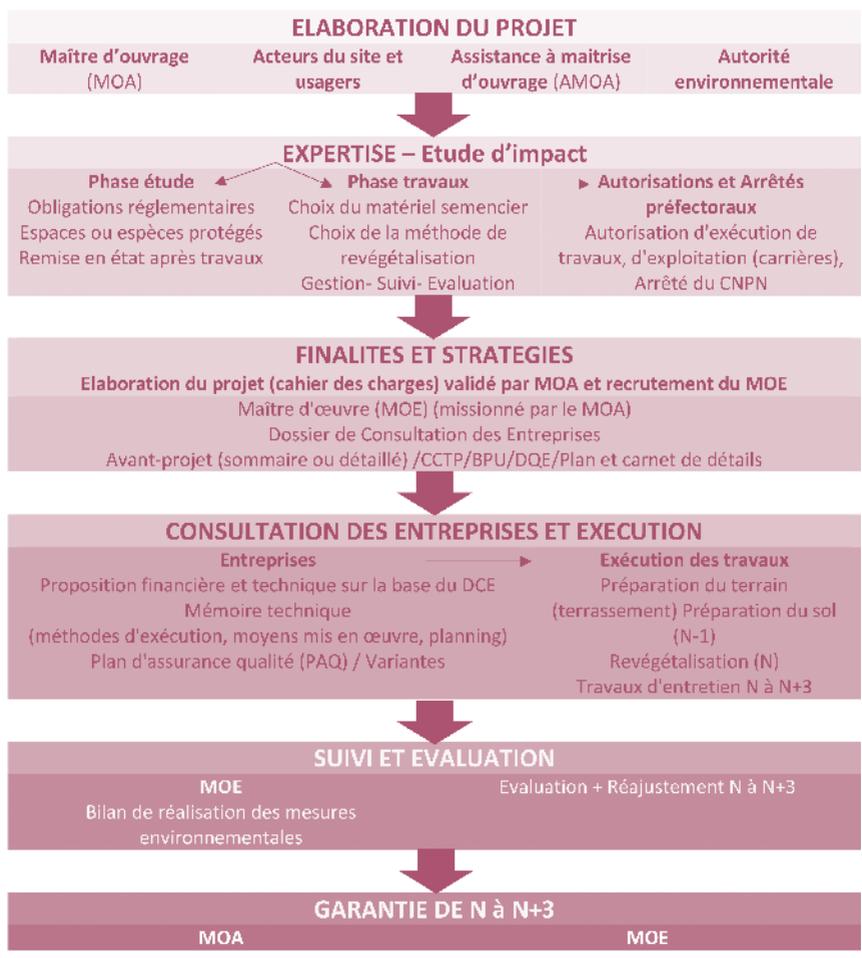
FICHE 11 - ASSURER LA PRISE EN COMPTE DES ENJEUX ENVIRONNEMENTAUX DANS LE PROCESSUS DE COMMANDE PUBLIQUE

Avant de lancer la phase opérationnelle, il est nécessaire de s'interroger sur la faisabilité du projet :

- acceptabilité du projet, soutien des acteurs agricoles, mobilisation locale,
- foncier de la parcelle à restaurer : propriété, urbanisme, bail rural, etc.,
- réglementation,
- faisabilités techniques : modalités d'intervention compte tenu du diagnostic réalisé, accès,
- opportunités locales,
- moyens humains,
- moyens financiers mobilisables.



La figure ci-dessous détaille le déroulement d'un projet de restauration et les différents acteurs impliqués. Ce document de synthèse réalisé dans le cadre du programme Fleurs locales précise le partage des enjeux par l'ensemble des acteurs (Sources : Vodinh J., Breull Y., 2019).



Sources : Vodinh J., Breull Y., 2019)

La végétalisation est une étape qui arrive souvent à la fin dans un projet d'aménagement, or son succès dépend de la prise en compte des enjeux cités ci-dessus dès le début du chantier. Il est donc important de définir dès l'amont du projet un acteur compétent sur ces aspects qui représentera les enjeux de la végétalisation à toutes les étapes de l'aménagement : cela peut être une mission de coordination environnementale du projet, la présence d'un écologue commandité par le maître d'ouvrage, une formation spécifique fournie au maître d'œuvre, une sensibilisation générale des intervenants sur les enjeux environnementaux ou bien le fait de financer la participation du fournisseur de semis dès les premières réunions de chantier.

FICHE 12 - SUIVI ET ÉVALUATION DES CHANTIERS DE RESTAURATION D'ÉCOSYSTÈMES

Dans le cadre de ce programme RES'SOL, des indicateurs de suivi et d'évaluation ont été définis de manière concertée avec les acteurs de la restauration d'écosystème au niveau national pour répondre à des objectifs définis en début de projet.

Ces indicateurs sont évolutifs : les fiches protocoles mises à disposition du plus grand nombre seront testées et modifiées si besoin pour être les plus opérationnelles possibles.

Voici la liste des indicateurs définis à ce jour :

COMPARTIMENT	Type de protocoles	Questions écologiques ?	Niveau de difficulté
VÉGÉTATION	Communautés Reprise des espèces semées	<i>Quel est le taux de reprise des espèces semées sur le site restauré ? Le développement des espèces semées est-il homogène à l'échelle du site restauré ?</i>	2
	Communautés Inventaire de la flore vasculaire	<i>Quelles sont les espèces végétales présentes sur le site restauré ? Y-a-t-il des espèces à enjeux (espèces cibles, protégées, EEE) ?</i>	4
	Communautés Inventaire complet de la végétation	<i>Quelles sont les espèces présentes sur le site restauré ? Le cortège d'espèces du site restauré tend-il vers celui du site de référence ?</i>	4
	Recouvrement Protocole de suivi par photo	<i>Comment évolue le recouvrement sur le site restauré au cours du temps ? Le recouvrement du site restauré tend-il vers l'objectif ?</i>	1
	Recouvrement Protocole de suivi terrain par quadrats	<i>Comment évolue le recouvrement sur le site restauré au cours du temps ? Le recouvrement du site restauré tend-il vers celui du site de référence ?</i>	1
	Recouvrement par groupes taxonomiques de végétation	<i>Quel est le recouvrement des groupes de végétation ? Comment évolue-t-il dans le temps ? Le recouvrement du site restauré tend-il vers celui du site de référence ?</i>	4
	Relevé phytosociologique	<i>Quel est l'habitat de site restauré ? L'habitat restauré tend-il vers celui du site de référence ?</i>	4
	Espèces végétales exotiques envahissantes	<i>Le site restauré est-il colonisé par des espèces végétales exotiques envahissantes ? Quelle est la surface couverte par ces EEE ? Quelle est leur dynamique temporelle, et faut-il envisager une gestion pour éviter leur prolifération ?</i>	2

COMPARTIMENT	Type de protocoles	Questions écologiques ?	Niveau de difficulté
PAYSAGE	Suivi paysager	<i>Comment évolue le paysage restauré au cours du temps ? Quelle est l'insertion du site restauré au sein du paysage environnant ?</i>	1
SOL	Description du profil de sol	<i>Quel est le profil de mon sol ? Où se situe l'horizon organique, à quelle/de quelle profondeur est-il ? Les premiers horizons peuvent-ils accueillir de l'activité biologique ?</i>	2
	Mesure du pH	<i>Le pH des horizons de sol du site restauré est-il plutôt acide, neutre ou basique ?</i>	1
	Test BEERKAN Perméabilité du sol	<i>L'horizon de sol étudié est-il perméable ? Quelle est sa capacité d'infiltration ?</i>	2
	Analyses physico-chimiques	<i>Quelles sont les caractéristiques physico-chimiques des horizons de sol du site restauré ?</i>	1
	Test bêche Vers de terre	<i>Y-a-t-il des vers de terre dans l'horizon de sol étudié ? Quels sont les groupes de lombrics présents ? Cet horizon est-il biologiquement actif ?</i>	2
	Sachets de thé	<i>Quel est le taux de décomposition de la matière organique dans l'horizon de sol étudié ? Cet horizon est-il biologiquement actif ?</i>	1
	Litter bag	<i>Quel est le taux de décomposition de la matière organique dans l'horizon de sol étudié ? Cet horizon est-il biologiquement actif ?</i>	2
	Nématofaune	<i>Quelle est l'abondance en nématodes dans l'horizon de sol étudié ? Quels sont les groupes fonctionnels de nématodes présents ? Quel est le fonctionnement et le niveau d'activité biologique global de cet horizon ?</i>	1
	Champignons mycorhiziens à arbuscules Test MPN	<i>Quel est le potentiel mycorrhizogène dans l'horizon de sol étudié ? Des symbioses mycorrhiziennes s'établissent-elles sur le site restauré ?</i>	4
POLLINISATEURS	Observation des pollinisateurs	<i>Quels sont les groupes de pollinisateurs présents sur le site restauré ? Quelle est l'interaction des groupes de pollinisateurs avec la végétation du site restauré ?</i>	1

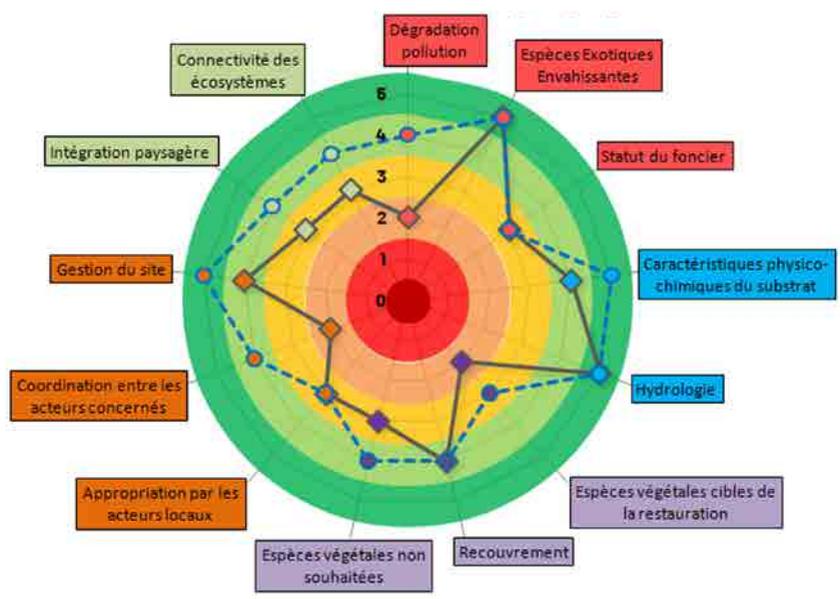
Il existe d'autres indicateurs selon les types de milieux étudiés :

- pour les zones humides : protocole RHOMEO à l'échelle du bassin Rhône-Méditerranée (<https://rhomeo-bao.fr/>), protocole LigerO en Loire-Bretagne (<https://aides-redevances.eau-loire-bretagne.fr/home/retours-dexperiences/ligero-une-boite-a-outils-zones-humides.html>),
- pour les sites photovoltaïques : Pieso boost (<https://ecomed.fr/2020/11/09/pieso-processus-dintegration-ecologique-de-lenergie-solaire/>).



De plus, l'outil développé par le CBN Pyrénées et Midi-Pyrénées permet d'adopter une vision systémique du suivi d'un chantier de restauration sous la forme d'un diagramme radar dont voici un exemple d'utilisation ci-dessous.

Évaluation du site - Exemple (09)



LEXIQUE

- **Analyse des offres** : consiste à étudier et comparer les offres au regard des critères de choix prévus en amont et se matérialise par un rapport d'analyse des offres.
- **CCTP (Cahier des Clauses Techniques Particulières)** : document contractuel qui détaille l'objet du marché et fournit une description détaillée des travaux ou prestations à réaliser. Il fixe aussi les critères de choix des offres. Ce cahier des charges permet à l'acheteur de suivre le déroulement et la bonne exécution du marché.
- **Écosystème de référence ou référence écologique** : c'est un écosystème modèle représentant une version non dégradée de l'écosystème, complète avec sa flore, sa faune et ses autres biotes, ses éléments abiotiques, ses fonctions, ses processus et ses stades de succession qui auraient pu exister sur le site de restauration si la dégradation n'avait pas eu lieu, et ajusté pour tenir compte des conditions environnementales modifiées ou prévues (Gann et al., 2019). Il peut s'agir de la compilation de plusieurs sites de références existants (exemple des pelouses subalpines typiques, ou plusieurs prairies de fauche). Il sert à fixer les objectifs et la trajectoire à donner à l'écosystème en voie d'être restauré. En l'absence de modèle concret observable, décrit ou documenté (espace urbain, piste de ski, etc.), on peut se fixer un modèle dont les objectifs seront atteignables (espèces cibles, nombre d'espèces, etc.).
- **Espèces cibles** : espèces présentes dans l'écosystème de référence qui vont permettre à l'écosystème autochtone local de se rétablir. Ces espèces cibles peuvent servir d'indicateurs de rétablissement de l'écosystème dégradé.
- **Étrépage** : pratique visant à décaper et à exporter le sol superficiel et la végétation. L'étrépage peut avoir plusieurs objectifs :
 - en gestion de milieux, il vise à appauvrir le sol et favoriser les espèces pionnières,
 - en restauration écologique, il vise à conserver les mottes de terre sous forme de plaque ou de tas avant travaux puis à les réutiliser sur le site à restaurer.
- **Mini-motte** : technique de production de plants visant à faire germer des graines dans des alvéoles remplies de terreau.
- **Plan de gestion** : document stratégique qui définit pour le site une programmation opérationnelle à court/moyen terme et une vision à long terme. Il comprend 4 étapes clés :
 - l'analyse de l'état des lieux,
 - les enjeux,
 - les objectifs de gestion à long terme,
 - le plan d'action et l'évaluation (Collectif, 2021).
- **Projet de restauration** : l'ensemble des travaux entrepris pour atteindre le rétablissement d'un écosystème, débutant à la phase de planification, suivi par la réalisation du projet et jusqu'au rétablissement total de l'écosystème. Le terme de "projet" est employé dans ce document comme un terme générique (MacDonald et al., 2016).
- **Réaffectation** : conversion d'un écosystème en un type différent d'écosystème ou d'aménagement des terres, n'ayant pas pour objectif primaire la gestion conservatoire d'écosystème autochtone locaux (Aronson et al., 1993).
- **Réhabilitation** : rétablissement d'une certaine forme de fonctionnalité de l'écosystème sans chercher à rétablir une proportion substantielle des organismes vivants autochtones trouvés dans l'écosystème de référence (Mc Donald et al., 2016).

- **Restauration d'écosystème** : c'est une notion récente mise en avant par l'ONU dans le cadre de la Décennie des nations unies pour la restauration des écosystèmes (2021-2030). Il s'agit du processus visant à inverser la dégradation des écosystèmes [...] pour retrouver leur fonctionnalité écologique et améliorer la productivité et la capacité des écosystèmes à répondre aux besoins de la société (etc.). Restaurer les écosystèmes, quelle que soit leur taille, permet de protéger et d'améliorer les moyens de subsistance des personnes qui en dépendent. Ce processus permet également de réguler l'apparition de maladies et de réduire le risque de catastrophes naturelles. En définitive, la restauration des écosystèmes peut nous aider à atteindre l'ensemble des objectifs de développement durable (UNEP, 2021).
- **Restauration écologique** : processus qui assiste le rétablissement d'un écosystème naturel ou semi-naturel qui a été dégradé, endommagé ou détruit (SER 2004). Elle vise à ramener l'écosystème à l'état dans lequel il aurait été si la dégradation ne s'était pas produite, tout en tenant compte de changement anticipé (Gann et al. 2019). Une activité de restauration place un écosystème sur une trajectoire de rétablissement par rapport à un écosystème de référence (ou référence écologique) afin qu'il puisse persister et que ses espèces puissent s'adapter et évoluer.
- **Revégétalisation** : établissement, par n'importe quel moyen, de plantes d'une couverture végétale sur un site qui en est dépourvu ou sur lequel cette couverture est fortement dégradée (incluant les milieux terrestres, d'eau douce et salée), impliquant ou non des espèces autochtones ou locales. Ce terme, plus complet et approprié, remplace les termes comme "engazonnement" ou "verdissement après travaux".
- **Semences cultivées** : mélange d'espèces pures issues d'une mise en production, les semences de base ayant été collectées individuellement dans le milieu naturel (Malaval, 2023).
- **Semences récoltées** : collecte directe en mélange de plusieurs espèces dans le milieu naturel - par exemple par brossage de prairie naturelle (Malaval, 2023).
- **Site de référence** : site intact encore existant qui possède des attributs et une phase de succession semblables à celle du site de restauration (Gann et al., 2019). Ce site de référence va concrètement pouvoir être comparé au site restauré dans les actions de suivi. Mais attention, les écosystèmes sont dynamiques et vont s'adapter et évoluer au cours du temps en réponse à l'évolution des conditions environnementales, des pressions anthropiques (notamment la gestion qui va être menée) et les changements climatiques. Les sites de références vont donc évoluer parallèlement au site restauré.
- **Site témoin** : il s'agit du site contrôle qui peut être altéré (et donc non restauré) ou non altéré (= site de référence). Le suivi du site témoin permet d'éclairer l'interprétation des résultats. Si le site témoin est le site de référence, cela permet de comparer à quel niveau est la restauration par rapport à la référence. Si le site témoin est altéré et non semé, cela permet d'évaluer différentes modalités de restauration (régénération naturelle et régénération assistée).
- **Sourcing** : démarche qui consiste à rechercher, localiser et évaluer les fournisseurs, par exemple dans le cadre de Végétal local. Le sourcing permet d'anticiper la réussite ou l'échec du marché.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Alligand G., Hubert S., Legendre T., Millard F., Müller A., 2018, *Évaluation environnementale, Guide d'aide à la définition des mesures ERC*, Commissariat général au développement durable, Service de l'économie, de l'évaluation et de l'intégration du développement durable, Paris, 134p.
- Boillot M., Campagne J.L., Carrère P., Pouvreau M., Tommasino J., 2020, *Restaurer des prairies naturelles. Recueil de savoirs pour produire et utiliser des semences prairiales*, Saint Flour Communauté, 115p.
- Chamard E., 2018, *Végétalisation à vocation écologique et paysagère en Nouvelle Aquitaine, guide pour l'utilisation d'arbres, arbustes et herbacées d'origine locale*, Conservatoire botanique national Sud Atlantique (coord.), Conservatoire botanique national Massif central, Conservatoire botanique national Pyrénées et Midi-Pyrénées, 68 p.
- Collectif, 2021, *Guide d'élaboration des plans de gestion des espaces naturels*. Coll. Cahiers techniques n°88, OFB.
- Collectif, 2022. *Plantons local Provence-Alpes-Côte d'Azur, guide pratique pour les opérations de végétalisation du littoral méditerranéen au massif alpin*. Agence Régionale pour la Biodiversité et l'Environnement Provence-Alpes-Côte d'Azur, 162 p.
- Dasnias P., 2002. *Aménagement écologique des carrières en eau : Guide pratique*. Ecosphère, Charte UNPG, Paris, 206 p.
- Dupin B., Malaval S., Couëron G., Cambecèdes J., Largier G., 2019, *Restauration écologique de prairies et de pelouses pyrénéennes. Un guide technique pour régénérer les sols et les végétations dégradés en montagne*, Conservatoire Botanique National des Pyrénées et de Midi-Pyrénées, Bagnères-de-Bigorre, 177p.
- FAO, IUCN CEM & SER. 2021. *Principles for ecosystem restoration to guide the United Nations Decade 2021-2030*. Rome, FAO, 21p.
- Flandin, J., (2019), *Plantons local en Île-de-France*, ARB idF, p.102.
- Gann G.D., Mc Donald T., Walder B., Aronson J., Nelson C.R., Jonson J., Hallett J.G., Eisenberg C., Guariguata M.R., Liu J., Hua F., Echeverria C., Gonzales E., Shaw N., Declerck K., Dixon K.W., 2019, *International principles and standards for the practise of ecological restoration*. Second edition. *Restoration ecology*, 27 (S1) : S1-S46.
- Henry E., Cornier T., Toussaint B., Duhamel F., Blondel C., 2011, *Guide pour l'utilisation de plantes herbacées pour la végétalisation à vocation écologique et paysagère en région Nord-Pas de Calais*, Centre régional de phytosociologie, Conservatoire botanique national de Bailleul, 56p.



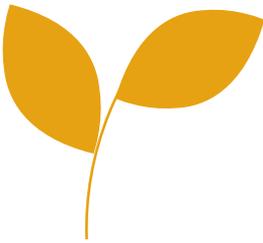
- Hobbs R.J., Harris J.A., 2001, Restoration ecology: repairing the earth's ecosystems in the new millenium, *Restoration ecology*, 9 (2) : 239-246.
- Huc S., Bizard L., Paulin D., 2022, *Quand collecter des graines de prairies ? Outil de collecte de graines en mélange en prairies de montagne*, Conservatoire botanique national alpin, GAP, 40p.
- Huc S., Arlandis J., Dupré-Latour A., Rouillon A., Spiegelberger T., 2018, *SEM'LESALPES - Des semences d'origine locale pour la restauration de milieux ouverts en montagne alpine*, Conservatoire botanique national alpin, Gap, 106p.
- Kaldonski N., Thorel M., Velt O., Cluchier A., Illac P., Pillods M., 2020, Pieso Boost, boîte à outils pour l'optimisation des suivis écologiques et des techniques d'intégration de l'énergie solaire.
- Khater, C., Yessef, M., Dutoit, T., 2019, *Réhabilitation des carrières en région méditerranéenne : défis ou besoins incontournables ?* CNRS-L, AUF, 98p.
- Krautzer B., Graiss W. & Klug B. 2012, Ecological Restoration of ski-runs, in Rixen C. & Rolando A. (éds), *The Impact of Skiing on Mountain* Environments. Bentham Books, Sharjah: 184-209.
- Malaval S., 2023. *Réglementation sur la commercialisation des semences de plantes sauvages. Fiche technique n°4 à destination des bénéficiaires de la marque collective Végétal local*, OFB, Mars 2023.
- McDonald T., Gann G.D., Jonson J., Dixon K.W., 2016, *Standards internationaux pour la restauration écologique - incluant les principes et les concepts clés*, Society for Ecological Restoration, Washington, D.C., 52p.
- Pittana E., Barrel A., Cerise O., Culat A., Huc S., Porteret J., Vallée S., Chabloz D., Madormo F., Poggio L., Bassignana M., 2020, *Guide de bonnes pratiques pour la revégétalisation dans les Sites Natura 2000 - Matériels et méthodes pour les opérateurs de la filière*, IAR, Aoste, 59p.
- UNEP, 2019, *Règles professionnelles - Travaux de génie écologique n° NC4-R0*, édition Bionnay, 32p.
- Ventre V., Bieuzen P., (2023), *Plantons local en Occitanie*, ARB Occitanie, 156 pages.
- VOELTZEL D. et FÉVRIER Y., 2010. *Gestion et aménagement écologiques des carrières de roches massives. Guide pratique à l'usage des exploitants de carrières*. ENCEM et CNC - UNPG, SFIC et UPC, 230p.
- Whisenant S., 1999, *Repairing damaged wildlands: a process orientated landscape-scale approach*, vol 1, Cambridge University Press, New York.

Rédaction : Stéphanie Huc, Manuel Delafoulhouze, Guillaume Terpereau, Camille Mulatero, Lucile Vahé.

Relecture : Bertille Asset (CBN Bailleul), Cécile Baudot (MDP Consulting), Nolwenn Bougon (OFB), Jean-Maxence Ditché (OFB), Lara Dixon (CBN méditerranéen de Porquerolles), Ghislain Huygues (BIOTEC), Johan Gourvil (OFB), Idaline Laigne (MNHN), Marie-Hélène Marie (CBNA), Axelle Roumier (CBN Massif central).

Citation recommandée : Huc S., Delafoulhouze M., Terpereau G., Mulatero C., Vahé L., 2023, Guide d'aide à la définition des étapes de restauration des écosystèmes herbacés avec des végétaux sauvages et locaux, Conservatoire botanique national alpin, Gap, 48p.

Conception et réalisation graphique : autrementdit.fr - Impression: Imprimerie Caractère



**RÉALISÉ DANS LE CADRE
DU PROGRAMME RES'SOL
AVEC LE SOUTIEN FINANCIER DE :**

Financé par

