

## Chapitre 4 : Restauration et réhabilitation écologique

### 4.1. Définitions et concepts de base

**4.1.1. Conservation :** gestion active des ressources biologiques pour le plus grand profit des générations présentes tout en maintenant leur potentiel de satisfaction des besoins des générations futures. Contrairement à la préservation, la conservation assure le maintien à long terme des communautés naturelles dans des conditions (par exemple dans des réserves naturelles) qui permettent à l'évolution de se poursuivre.

**Conservation *ex situ* :** conservation d'éléments constitutifs de la diversité biologique en dehors de leur milieu naturel.

**Conservation *in situ* :** conservation des écosystèmes et des habitats naturels et le maintien et la reconstitution de populations viables d'espèces dans leur milieu naturel et, dans le cas des espèces domestiques et cultivées, dans le milieu où se sont développés leurs caractères distinctifs.

**4.1.2. Restauration :** La restauration écologique est définie comme étant « le processus d'assistance à la récupération d'un écosystème qui a été dégradé, endommagé ou détruit ». L'élément central de cette définition est « assistance à la récupération », ce qui implique deux choses :

(i) la restauration écologique « *sensu stricto* » dont le but est de ramener le système à un état antérieur ou sur sa trajectoire historique afin qu'il puisse persister et que ses espèces puissent s'adapter et évoluer ;

(ii) la gestion active est le moyen approprié pour réaliser ce retour.

L'objectif ultime, à très long terme, de la restauration devrait donc consister à préserver la biodiversité ainsi que la résilience et la capacité d'adaptation des écosystèmes aux changements environnementaux. Il s'agit donc aussi d'assurer le maintien de la complexité naturelle des paysages pour aider les écosystèmes à résister aux dégradations à venir.

### 4.1.3. Réhabilitation

Lorsque la pression exercée sur un écosystème a été trop forte et trop longue, ce dernier est incapable de revenir à son état antérieur même si on relâche la pression humaine. Seule une intervention humaine forte, mais limitée dans le temps permis de remplacer l'écosystème sur une trajectoire favorable au rétablissement des fonctions essentielles.

**4.1.1. Etat de référence écologique :** État passé ou analogue servant de modèle (basé sur données paléo-écologiques, historiques ou spatiales).

#### 4.1. Principes de restauration écologique

La restauration écologique vise à aider les écosystèmes fortement modifiés ou dégradés à retrouver des structures, des fonctions, de la résilience et des services écosystémiques comparables à ceux des écosystèmes de référence.

Ce processus s'appuie sur des principes scientifiques et éthiques qui guident le diagnostic, la planification et la mise en œuvre des actions.

Parmi ces principes figurent :

- la compréhension de l'état initial et de la variabilité naturelle,
- l'identification d'objectifs réalistes, la préférence pour des approches fondées sur la restauration des processus écologiques plutôt que sur la simple réintroduction d'espèces,
- l'intégration du paysage et des interactions entre compartiments (sol, hydrologie, biote),
- l'adaptation au changement global (climat, pression anthropique).

L'état de référence doit être défini avec soin. Il peut s'agir d'un état historique documenté, d'un état de référence spatial (un site similaire et peu perturbé) ou d'un objectif fonctionnel (restauration de processus essentiels indépendamment d'une composition floristique précise). La définition influence les objectifs opérationnels : rétablir la biodiversité spécifique, restaurer la dynamique hydrologique, reprendre le cycle des nutriments, ou rendre l'écosystème apte à fournir des services tels que la régulation des inondations, la séquestration du carbone ou le maintien de la pêche.

La hiérarchie des interventions privilégie d'abord la suppression ou la réduction des pressions (arrêt de l'émission de polluants, contrôle des espèces invasives, réduction du pâturage intensif) avant d'engager des actions actives. La minimisation des interventions lourdes est souvent recommandée : lorsque la capacité de régénération naturelle est suffisante, la technique d'assistance à la régénération passive est préférable, permettant aux processus autochtones de rétablir progressivement la structure et la fonction. En revanche, lorsque les perturbations ont altéré les capacités de régénération (érosion du sol, salinisation), des mesures actives : réensemencement, plantations, rétablissement hydrologique sont nécessaires.

Le principe de diversité et de redondance fonctionnelle est central pour augmenter la résilience : restaurer une diversité d'espèces et de fonctions rend le système moins vulnérable aux aléas et permet la continuité des services écosystémiques.

La restauration doit aussi être conçue dans le temps long ; les trajectoires de rétablissement peuvent s'étendre sur des décennies, et il faut planifier des suivis adaptatifs et des moyens pour corriger les dérives. Enfin, l'éthique de la restauration souligne la dimension socio-culturelle : prises de décision participatives, respect des usages locaux et prise en compte des savoirs traditionnels et scientifiques.

#### 4.2 Techniques de restauration et de réhabilitation

Les techniques employées varient selon le type d'écosystème (zones humides, forêts, prairies, milieux urbains, côtes) et le degré de dégradation. Elles combinent approches passives (protection naturelle) et actives (interventions directes). Les approches peuvent être regroupées en actions visant à restaurer les processus abiotiques (sol, hydrologie, géomorphologie), les composantes biotiques (végétation, faune), ou des approches intégrées combinant les deux.

##### - Techniques passives

- Protection contre perturbations (e.g., clôtures anti-pâturage excessif).
- Exclusion des espèces invasives (e.g., arrachage manuel ou biocontrôle).

##### - Techniques actives

**Tableau 1 : Les techniques actives de la restauration.**

Catégorie	Techniques principales	Exemples d'application
<b>Biologiques</b>	Reboisement, ensemencement, transplantation	Plantation de <i>Pinus halepensis</i> en zones méditerranéennes déforestées ; hydro-semaison pour prairies.
<b>Physiques</b>	Remodelage du sol, curage de rivières, création de micro-habitats	Reprofilage de lits fluviaux pour restauration de méandres ; ajout de troncs dans rivières pour habitats piscicoles.
<b>Chimiques</b>	Amendement calcaire/acide, biochar pour sols dégradés	Neutralisation d'acidification minière en Algérie (e.g., mines de phosphate).
<b>Hybrides</b>	Agroforesterie, pâturage contrôlé	Systèmes silvo-pastoraux pour sols érodés du Tell algérien.

#### **4.2.1. Sol et terrains dégradés**

Pour les sols, les techniques incluent la remédiation physico-chimique (évacuation des matériaux pollués, neutralisation, amendements pour corriger le pH, ajout de matière organique), et les techniques biologiques (phytoremédiation, bioturbation encouragée par la faune du sol).

Sur les sites miniers ou friches industrielles on peut recourir à des couches de couverture, à la reconstruction de profil de sol et à l'apport d'amendements pour créer des conditions favorables à la recolonisation. L'utilisation d'espèces pionnières adaptées aux substrats dégradés facilite la stabilisation. Les choix d'espèces doivent tenir compte de l'origine locale et de l'adaptation climatique, pour éviter l'introduction d'espèces exotiques potentiellement envahissantes.

#### **4.2.2. Milieux aquatiques**

La restauration hydrologique joue un rôle majeur dans les zones humides, les cours d'eau et les plaines inondables. Les actions comprennent le reméandrement de cours d'eau rectifiés, la suppression d'obstacles, la restauration des connexions latérales entre rivière et zone inondable, le rétablissement de la nappe phréatique et la création de lits et de zones de rétention.

Ces mesures rétablissent les processus sédimentaires, les cycles de nutriments et les habitats pour la flore et la faune aquatique. En France, des projets comme la renaturation des rivières urbanisées ou la restauration des marais littoraux illustrent l'efficacité de ces techniques pour la réduction des risques d'inondation et la restauration des fonctions écologiques.

#### **4.2.3. Techniques de restauration végétale**

La restauration de la végétation implique des techniques de semis direct, de régénération assistée, de plantations (plants, mottes, jeunes arbres), et d'aménagement de structures favorisant la recolonisation (piles de bois, rochers, refuges pour la faune).

Pour les forêts, la sylviculture de restauration favorise des peuplements mixtes et multi-âge, la protection des régénérations naturelles et la maîtrise des espèces exotiques.

En milieux agricoles, les haies, bandes enherbées et prairies permanentes sont des mesures de réhabilitation qui améliorent la connectivité écologique et l'état des sols.

Les techniques se doivent d'être adaptées à l'échelle spatiale : pour qu'un corridor écologique fonctionne, il faut dépasser l'échelle d'une parcelle et intégrer le paysage.

La lutte contre les espèces invasives constitue une action récurrente. Les stratégies reposent sur la prévention, la détection précoce, l'éradication localisée et la gestion à long terme. Les méthodes combinent arrachage mécanique, traitement ciblé, brûlage contrôlé et, parfois, approches biologiques. Il est crucial d'évaluer l'impact non ciblé des mesures et de mettre en place des suivis pour éviter des effets secondaires (érosion du sol après arrachage, retour rapide via la banque de graines, etc.).

#### 4.2.4. Infrastructures et milieux urbains

Enfin, la réhabilitation des infrastructures et milieux urbains (toits végétalisés, corridors verts, zones tampons entre cours d'eau et urbanisation) fait appel à des techniques innovantes alliant ingénierie écologique et design urbain. Ces interventions visent à restaurer des fonctions écologiques tout en fournissant des bénéfices sociaux.

**Tableau 2 : Techniques prioritaires et indicateurs de succès par écosystème**

Type d'écosystème	Technique prioritaire	Indicateur succès court terme
<b>Forêts</b>	Réboisement	Survie plants >75%
<b>Zones humides</b>	Hydrologie	Retour oiseaux nicheurs
<b>Steppes arides</b>	Ensemencement	Couverture >30% en 2 ans
<b>Aquatiques</b>	Reméandrage	Diversité poissons +20%
<b>Prairies</b>	Pâturage contrôlé	Biomasse +50%

#### 4.3 Indicateurs de suivi et d'évaluation de la restauration

Un suivi rigoureux est indispensable pour évaluer l'efficacité des actions et alimenter un processus d'ajustement adaptatif. Les indicateurs doivent être choisis en fonction des objectifs initiaux et couvrir des dimensions structurales, fonctionnelles et de services écosystémiques. Ils se répartissent généralement en indicateurs de pression, d'état et de réponse.

### - **Les indicateurs de pression**

Les indicateurs de pression mesurent les facteurs qui influencent le site (qualité des eaux, apports de polluants, pression d'usage, présence d'espèces exotiques). Les indicateurs d'état renseignent sur la composition et la structure de l'écosystème : diversité spécifique, abondance relative, couverture végétale, structure du peuplement, richesse en espèces patrimoniales.

### - **Les indicateurs fonctionnels**

Les indicateurs fonctionnels évaluent les processus écologiques : productivité primaire, décomposition de la matière organique, cycles des nutriments, hydrologie, connectivité écologique.

### - **Les indicateurs de services écosystémiques**

Les indicateurs de services écosystémiques quantifient les bénéfices humains : stockage de carbone dans la biomasse et le sol, capacités de rétention d'eau, pollinisation, production halieutique, récréation.

#### **4.3.1. Méthodes et protocoles de suivi-évaluation en restauration écologique**

Les méthodes de mesure combinent inventaires floristiques et faunistiques, analyses physico-chimiques, suivis hydrologiques, recueil d'imageries aériennes et de données LiDAR, mesures de la biodiversité fonctionnelle (traits écologiques), et approches participatives (citizen science, enquêtes d'usages).

Les indicateurs doivent être pertinents, sensibles aux changements, faciles à mesurer et reproductibles. Un indicateur composite peut synthétiser plusieurs dimensions (par exemple un indice de qualité des habitats) mais il faut rester transparent sur sa construction et ses limites.

La conception d'un protocole de suivi inclut la fréquence des mesures (annuelle, pluriannuelle), les points de contrôle (témoins non restaurés), les seuils de réussite et les critères d'arrêt ou d'intervention corrective. L'utilisation d'analyses statistiques (tests de tendance, modèles de croissance, analyses multivariées) permet d'objectiver les trajectoires de rétablissement. Dans un contexte universitaire, on insiste sur la modélisation des trajectoires de restauration en intégrant l'incertitude et le risque lié au changement climatique.

L'évaluation socio-économique et culturelle est également cruciale : indicateurs d'acceptabilité sociale, d'emploi local généré par les chantiers, de changements d'usage des espaces et de perception des bénéficiaires. La participation des acteurs locaux au suivi renforce l'appropriation des projets et améliore la qualité des données collectées.

#### **4.4 Avantages de la restauration**

La restauration et la réhabilitation présentent des avantages écologiques, économiques et sociaux.

Sur le plan écologique, elles permettent la récupération de la biodiversité, le rétablissement des processus écologiques (cycles des nutriments, dynamique hydrologique), l'amélioration de la qualité de l'eau et la résilience face aux perturbations. Restaurer des zones humides et des ripisylves contribue fortement à la régulation des crues et à la filtration des polluants. La séquestration de carbone, tant dans la biomasse que dans les sols, offre un service climatique non négligeable, aligné avec les objectifs nationaux et européens de neutralité carbone.

Sur le plan socio-économique, la restauration génère des emplois locaux ingénierie, travaux de terrain, suivi écologique et peut revitaliser des territoires ruraux ou périurbains. Les services rendus réduisent certains coûts publics : diminution des dégâts liés aux inondations, amélioration de la qualité de l'eau nécessitant moins de traitement, augmentation de l'attractivité paysagère et touristique. Les projets bien conçus favorisent la multifonctionnalité des territoires, conciliant biodiversité et production agricole ou forestière durable.

Les bénéfices culturels et sanitaires sont aussi significatifs : espaces récréatifs pour la population, renforcement du lien social et des identités locales, amélioration de la santé mentale grâce à des espaces verts restaurés. En France, la valorisation des paysages restaurés peut renforcer le patrimoine naturel et les pratiques patrimoniales (gestion traditionnelle, savoir-faire locaux).

Les limites et risques ne doivent pas être occultés. La réussite n'est pas garantie : conflits d'usage, résistance des espèces invasives, coûts élevés et incertitudes climatiques peuvent réduire l'efficacité.

Il existe des dilemmes éthiques jusqu'à quel point intervenir, réintroduire des espèces disparues localement, ou accepter de nouveaux équilibres écologiques qui diffèrent de l'état historique ? Une analyse coûts-bénéfices complète, intégrant les externalités positives et négatives, est indispensable pour décider des priorités de restauration.

La gouvernance et le cadre juridique sont déterminants pour maximiser les avantages. Les politiques publiques (Programmes opérationnels, Agendas pour la nature, démarches locales) et les financements (subventions publiques, paiements pour services environnementaux, partenariats publics-privés) conditionnent la pérennité des actions. La transparence, la concertation et les mécanismes de responsabilité environnementale (pollueur-payeur) renforcent la légitimité et l'efficacité des projets.

### **Conclusion**

La restauration et la réhabilitation écologique constituent des outils fondamentaux pour répondre à la dégradation des milieux et aux défis du changement global. En combinant des principes clairs, des techniques adaptées aux contextes locaux, des protocoles de suivi rigoureux et une évaluation multidimensionnelle des bénéfices, on peut restaurer des fonctions écologiques essentielles et générer des avantages durables pour les sociétés. Le succès repose sur la science, mais aussi sur la gouvernance, la participation sociale et la planification à long terme.