

L'ABCDAIRE SUR L'ÉCOLOGIE DE LA RESTAURATION DE LA SER INTERNATIONALE

Society for Ecological Restoration International, Science & Policy Working
Group (Version 2, octobre, 2004)*

- Section 1 : Généralités
- Section 2 : Définition de la Restauration Ecologique
- Section 3 : Attributs des Ecosystèmes Restaurés
- Section 4 : Explications de Termes
- Section 5 : Ecosystèmes de Référence
- Section 6 : Espèces exotiques
- Section 7 : Suivi et Evaluation
- Section 8 : Planification de la Restauration
- Section 9 : Relation entre Pratique de la Restauration et Ecologie de la Restauration
- Section 10 : Relation entre la Restauration et les Autres Activités
- Section 11 : Intégration de la Restauration Ecologique dans un Programme plus Large

Ce document devra être cité comme: Society for Ecological Restoration International Science & Policy Working Group. 2004. The SER International Primer on Ecological Restoration. www.ser.org & Tucson : Society for Ecological Restoration International.

Traduit par: Christelle Fontaine and James Aronson, CEFE/CNRS, Montpellier, France

Les auteurs principaux de ce Primer (ABCdaire) furent Andre Clewell (Ellenton, FL, USA), James Aronson (Montpellier, France) et Keith Winterhalder (Sudbury, ON, Canada). Clewell a proposé l'ABCdaire et écrit le premier brouillon. Aronson et Winterhalder, en collaboration avec Clewell, l'ont révisé dans sa forme actuelle. Dans son rôle de Responsable du Science & Policy Working Group (SPWG) de la SER International Winterhalder a coordonné cet effort et invité d'autres membres du Groupe de Travail à participer. Eric Higgs (Victoria, BC, Canada) a amélioré la Section Généralités. Dennis Martinez (Douglas City, Ca, USA) a contribué un papier de travail qui est devenu la base pour le texte concernant les systèmes culturels. D'autres membres du Groupe ont fourni des critiques et suggestions au fur et à mesure que le travail avançait, dont Richard Hobbs (Murdoch, WA, Australie), James Harris (London, UK), Carolina Murcia (Cali, Colombie) et John Rieger (San Diego, CA, USA). Le SPWG remerci Eric Higgs, ancien Responsable du Comité Exécutif de la SER International pour son encouragement et d'avoir présenter l'ABCdaire aux directeurs de la SER pour son approbation officielle comme document officiel de la SER le 6 avril, 2002 par vote unanime.

Ce document remplace les Project Policies de la SER International publiés dans Restoration Ecology 2(2) : 132-133, 1994, ultérieurement affichées sur le portail Web de la SER International. Ce document remplace également le Policy on Project Evaluation qui a été affiché sur le portail Web de la SER International. Les environmental policies de la SER, initialement publiés dans Restoration Ecology 1(3) : 206-207, restent en vigueur.

** Le contenu de cette deuxième version de l'ABCdaire est identique à ce de la première version publiée en 2002, sauf que International a été rajouté au nom de la SER. Des photos ont été rajoutés et la mise en page améliorée. Elle est disponible à : <http://www.ser.org>.*

Section 1 : Généralités

La Restauration écologique est une action intentionnelle qui initie ou accélère l'autoréparation d'un écosystème en respectant sa santé, son intégrité et sa gestion durable. La plupart du temps, l'écosystème qui a besoin d'être restauré a été dégradé, endommagé, transformé ou entièrement détruit, résultat direct ou indirect de l'activité humaine. Dans certains cas, ces impacts sur les écosystèmes ont été causés ou aggravés par des phénomènes naturels, tels que les incendies, les inondations, les tempêtes ou les éruptions volcaniques, à tel point que l'écosystème ne peut retrouver son stade antérieur à la perturbation ou sa trajectoire d'évolution historique.

La restauration tend vers le retour d'un écosystème à sa trajectoire historique. Les conditions historiques sont de ce fait un point de départ idéal pour un plan de restauration. L'écosystème restauré ne va pas nécessairement retrouver son stade antérieur, puisque des contraintes et des conditions actuelles peuvent l'entraîner vers une trajectoire altérée. La trajectoire historique d'un écosystème sévèrement touché peut être difficile voire impossible à déterminer avec exactitude. Cependant, la direction et les limites générales de cette trajectoire peuvent être établies par une combinaison de connaissances sur la structure préexistante de l'écosystème endommagé, sa composition et son fonctionnement ; d'études sur des écosystèmes intacts comparables ; d'informations sur les conditions environnementales régionales ; et d'analyses d'autres informations écologiques, culturelles et références historiques. Ces sources combinées permettent de représenter graphiquement la trajectoire historique ou les conditions de référence à partir de données écologiques et de modèles de prédiction, et son émulation dans le processus de restauration devrait aider l'écosystème à améliorer sa santé et son intégrité.

La restauration représente un engagement indéfini des terres et des ressources, et une proposition pour restaurer un écosystème nécessite une mûre réflexion. Des décisions collectives seront plus susceptibles d'être honorées et mises en œuvre que celles faites de façon unilatérale. De ce fait, il incombe aux gestionnaires et autres personnes concernées (*stakeholders*) d'arriver à initier un projet de restauration par consensus. Une fois la décision de restaurer prise, le projet nécessite une planification soignée et systématique et un suivi de l'autoréparation de l'écosystème. La nécessité d'une planification augmente lorsque l'unité de restauration est un paysage complexe d'écosystèmes contigus.

Les interventions utilisées en restauration varient énormément selon les projets et dépendent de l'étendue et de la durée des perturbations passées, des conditions culturelles qui ont modelé le paysage, et des contraintes et opportunités actuelles. Dans les circonstances les plus simples, la restauration consiste à supprimer ou modifier une perturbation spécifique, ce qui permet ainsi aux processus écologiques de se réparer de façon indépendante. Par exemple, la suppression d'un barrage entraîne le retour à un régime historique d'inondations. Dans des circonstances plus complexes, la restauration peut aussi amener à la réintroduction délibérée d'espèces natives qui ont disparues et à l'élimination ou le contrôle d'espèces exotiques nuisibles, invasives dans la mesure du possible. Souvent, la dégradation ou la transformation d'un écosystème ont des sources multiples, étendues dans le temps et les composantes historiques d'un écosystème sont substantiellement perdues. Parfois, la trajectoire d'évolution d'un écosystème dégradé est complètement bloquée et son autoréparation par des processus

naturels semble retardée indéfiniment. Cependant, dans tous ces cas, la restauration écologique vise à initier ou faciliter la reprise de ces processus qui permettront le retour de l'écosystème vers sa trajectoire attendue.

Quand la trajectoire désirée est réalisée, l'écosystème manipulé ne requiert plus d'assistance extérieure pour assurer sa santé et son intégrité futures ; dans ce cas, la restauration peut-être considérée comme achevée. Cependant, l'écosystème restauré nécessite souvent une gestion continue pour éviter les invasions d'espèces opportunistes, les impacts des activités humaines variées, le changement climatique, et les autres événements imprévisibles. A cet égard, un écosystème restauré n'est pas différent d'un écosystème de même type non-endommagé, et les deux nécessitent d'être gérés. Bien que la restauration et la gestion d'écosystème forment un continuum et emploient souvent des types d'interventions similaires, la restauration écologique vise à assister ou initier l'autoréparation, tandis que la gestion d'écosystème a pour but de garantir par la suite le bien-être continu de l'écosystème restauré.

Quelques écosystèmes, particulièrement dans les pays en voie de développement, sont encore gérés par des pratiques traditionnelles et culturelles durables. La réciprocité existe dans ces écosystèmes culturels entre les activités culturelles et les processus écologiques, de telle sorte que les actions humaines renforcent la santé et la durabilité de l'écosystème. De nombreux écosystèmes culturels ont souffert de la croissance démographique et de diverses pressions extérieures et ont besoin d'être restaurés. La restauration de tels écosystèmes comporte normalement le rétablissement concomitant de pratiques de gestion écologiques indigènes, ce qui inclue l'aide pour la survie culturelle des peuples indigènes et de leurs langages comme bibliothèque vivante du savoir écologique traditionnel. La restauration écologique encourage et pourrait en effet être dépendante de la participation à long-terme des populations locales. Les conditions culturelles des cultures traditionnelles sont actuellement en train de subir un profond changement sans précédent. Afin de s'accommoder à ce changement, la restauration écologique pourrait accepter et même encourager de nouvelles pratiques culturelles appropriées et durables qui prennent en compte les conditions et les contraintes actuelles. Ainsi, le Nord Américain va se fixer sur la restauration de paysages originels, ce qui a peu de sens dans des régions telles que l'Europe où les paysages culturels sont une norme, ou dans une large partie de l'Afrique, de l'Asie ou de l'Amérique latine, où la restauration écologique n'est pas défendable à moins qu'elle soutienne de façon manifeste les bases écologiques pour la survie humaine.

Ce qui stimule particulièrement la restauration écologique c'est que les pratiques culturelles et les processus écologiques peuvent se renforcer mutuellement. Par conséquent, ce n'est pas surprenant que l'intérêt porté à la restauration écologique se soit rapidement accru à travers le monde et que, dans la plupart des cas, les croyances et les pratiques culturelles ont permis d'aider à déterminer et à mettre en forme ce qui sera accompli sous la rubrique restauration.

La définition présentée ci-dessous, la seule officiellement approuvée par la Société Internationale pour la Restauration Ecologique, est suffisamment générale pour permettre une large gamme d'approches de la restauration, bien qu'elle donne une importance historique au concept d'« autoréparation ».

Section 2 : Définition de la Restauration Ecologique

La restauration écologique est le processus qui assiste l'autoréparation d'un écosystème qui a été dégradé, endommagé ou détruit.

Section 3 : Attributs des Ecosystèmes Restaurés

Cette section répond à la question de la signification de l'« autoréparation » en restauration écologique. Un écosystème s'est régénéré - et est restauré - lorsqu'il contient suffisamment de ressources biotiques et abiotiques pour continuer son développement sans assistance ni subvention. Il se maintiendra lui-même structurellement et fonctionnellement. Il sera résilient face à des niveaux normaux de stress et de perturbations environnementaux. Il interagira avec les écosystèmes contigus en termes de flux biotiques et abiotiques et d'interactions culturelles.

Les neuf attributs listés ci-dessous fournissent une base pour déterminer si la restauration a été réalisée. L'ensemble de tous ces attributs n'est pas nécessaire pour décrire la restauration. Ces attributs doivent plutôt décrire une trajectoire appropriée du développement de l'écosystème vers les buts et les références souhaitées. Certains attributs sont facilement mesurables. D'autres doivent être évalués indirectement, ce qui inclut la plupart des fonctions des écosystèmes qui ne peuvent être établies sans des efforts de recherche dépassant les capacités et les budgets de la plupart des projets de restauration.

1. L'écosystème restauré contient un ensemble caractéristique d'espèces de l'écosystème de référence qui procure une structure communautaire appropriée.
2. L'écosystème restauré est constitué pour la plupart d'espèces indigènes. Dans les écosystèmes culturels restaurés, des concessions peuvent être faites pour des espèces exotiques domestiquées et pour des espèces rudérales et ségétales non invasives ayant vraisemblablement coévolué avec elles. Les rudérales sont des plantes qui colonisent les sites perturbés tandis que les ségétales poussent typiquement en association avec des cultures.
3. Tous les groupes fonctionnels nécessaires à l'évolution continue et/ou à la stabilité de l'écosystème restauré sont représentés ou, s'ils ne le sont pas, les groupes manquants ont la capacité à le coloniser naturellement.
4. L'environnement physique de l'écosystème restauré est capable de maintenir des populations reproductrices d'espèces nécessaires à sa stabilité ou à son évolution continue le long de la trajectoire désirée.
5. L'écosystème restauré fonctionne en apparence normalement lors de sa phase écologique de développement et les signes de dysfonctionnement sont absents.
6. L'écosystème restauré est intégré comme il convient dans une matrice écologique plus large ou un paysage, avec qui il interagit par des flux et des échanges biotiques et abiotiques.
7. Les menaces potentielles du paysage alentour sur la santé et l'intégrité de l'écosystème restauré ont été éliminées ou réduites autant que possible.

8. L'écosystème restauré est suffisamment résilient pour faire face à des événements normaux de stress périodiques de l'environnement local, ce qui sert à maintenir l'intégrité de l'écosystème.
9. L'écosystème restauré se maintient lui-même au même degré que son écosystème de référence et a la capacité à persister indéfiniment sous les conditions environnementales existantes. Cependant, les aspects de sa biodiversité, de sa structure et de son fonctionnement peuvent changer au cours de l'évolution normale d'un écosystème et peuvent fluctuer en réponse à des événements normaux de stress périodiques et à des perturbations occasionnelles de plus grande importance. Comme dans n'importe quel écosystème intact, la composition spécifique ainsi que les autres attributs d'un écosystème restauré peuvent évoluer si les conditions environnementales changent.

D'autres attributs sont pertinents et devraient être ajoutés à cette liste s'ils sont identifiés comme étant des objectifs d'un projet de restauration. Par exemple, un des buts de la restauration pourrait être de fournir durablement des biens et services naturels spécifiques pour un intérêt social. A cet effet, l'écosystème restauré sert de capital nature pour le compte de ces biens et services. Un autre but de l'écosystème restauré pourrait être de procurer un habitat pour des espèces rares ou d'abriter un pool génétique varié d'espèces sélectionnées. Un autre but possible de la restauration pourrait inclure le financement d'équipements esthétiques ou d'hébergement pour des activités sociales, comme le renforcement d'une communauté à travers la participation des individus à un projet de restauration.

Section 4 : Explications de Termes

Des termes techniques variés sont introduits par le biais de ce document. Certains pourraient ne pas être familiers pour les lecteurs qui ne sont pas écologues, alors que d'autres ont de multiples connotations à des usages différents. Pour réduire le risque d'une mauvaise interprétation, les termes clés sont expliqués dans le sens où ils sont employés dans ce document.

Un **écosystème** consiste en un **biote** (plantes, animaux, microorganismes) au sein d'une aire donnée, un **environnement** qui le maintient, et leurs **interactions** entre eux. Les populations d'espèces formant le biote sont identifiées collectivement comme **communauté biotique**. Cette communauté est fréquemment séparée sur la base d'un statut **taxonomique** (ex. la communauté des insectes) ou de **forme de vie** (ex. la communauté des arbres). Les regroupements des organismes peuvent aussi être définis par leurs rôles fonctionnels dans l'écosystème (ex. producteurs primaires, herbivores, carnivores, décomposeurs, fixateurs d'azote, pollinisateurs), dans ce cas ils sont reconnus comme **groupes fonctionnels**. L'**environnement physique** ou **abiotique** qui maintient le biote d'un écosystème comprend le sol ou substrat, le milieu atmosphérique ou aqueux, l'hydrologie, le temps et le climat, le relief et l'aspect topographique, le régime en nutriments et le régime salin. L'habitat fait référence au lieu d'habitation d'un organisme ou d'une communauté fournissant les conditions requises pour leurs processus vitaux.

Un écosystème peut être défini dans une unité spatiale de n'importe quelle taille, du microsite contenant seulement peu d'individus à une aire montrant un degré d'homogénéité structurelle

et taxonomique, tels qu'à petite échelle une « zone humide », basée sur des communautés, ou à grande échelle une « forêt tropicale humide », basée sur des biomes. La restauration écologique peut être conduite à des échelles très variées, mais en pratique toutes les restaurations d'écosystème doivent être approchées par une perspective paysagère spatialement bien définie, dans le but de garantir la pertinence des flux, des interactions et des échanges avec les écosystèmes adjacents. Un **paysage** consiste en une mosaïque de deux ou plusieurs écosystèmes qui échangent des organismes, de l'énergie, de l'eau et des nutriments. Un objectif légitime et important en effet dans la plupart des restaurations écologiques est la réintégration d'écosystèmes et de paysages fragmentés, plutôt que d'un simple écosystème.

Un **paysage** ou un **écosystème naturel** s'est développé grâce à des processus naturels et il s'auto-organise et s'auto-maintient. Un **paysage** ou un **écosystème culturel** s'est développé sous l'influence jointe de processus naturels et d'organisations apportées par l'homme. De nombreuses prairies et savanes sont maintenues en large partie par les activités humaines comme les brûlis réguliers pour la chasse, la récolte et l'élevage. En Europe, de nombreuses prairies riches en espèces sont des écosystèmes culturels qui sont apparus après la disparition des forêts à l'Age de Bronze et qui ont été maintenus par l'intermédiaire des fauchages et des pâtures saisonnières par le bétail. La réparation d'une prairie dégradée est qualifiée de restauration écologique, même si l'écosystème que représente la prairie choisie comme écosystème de référence provient des activités humaines. Dans un autre exemple, une forêt dense de conifères occupe actuellement une large partie de l'ouest Nord-Américain. Au 19^{ème} siècle, une grande partie de cette forêt était ouverte, semblable à un parc, avec un abondant couvert herbacé, conséquence de l'usage fréquent du feu et de l'utilisation d'espèces de plantes par les populations tribales indigènes. Ce bois semblait naturel et sa condition a été maintenue sous le régime tribal de l'usage des terres. Le retour de cet écosystème à un bois éclairci semblable à un parc, occupé et utilisé dans la tradition tribale, est qualifié de restauration écologique. Les **pratiques culturelles durables** sont des utilisations traditionnelles des terres par l'homme qui maintiennent la biodiversité et la productivité. Dans ce contexte, le biote est estimé autant pour son importance dans la stabilité de l'écosystème que pour sa valeur à court-terme en tant que matière première. Tous les écosystèmes naturels sont peut-être influencés culturellement pour au moins une petite partie et cette réalité mérite d'être reconnue pour la conduite de la restauration.

Les termes de dégradation, de dommage, de destruction et de transformation représentent tous des déviations de l'état normal ou désiré d'un écosystème intact. Les significations de ces termes se recouvrent et leur application n'est pas toujours très claire. La **dégradation** se rapporte à des changements subtils ou graduels qui réduisent l'intégrité et la santé écologique. Le **dommage** fait référence à des changements importants et manifestes dans un écosystème. Un écosystème est **détruit** lorsque la dégradation ou le dommage supprime toute vie macroscopique, et généralement abîme l'environnement physique. La **transformation** est la conversion d'un écosystème vers un type différent d'écosystème ou d'utilisation des terres.

Un **écosystème de référence** peut servir de modèle pour planifier un projet de restauration et servir plus tard dans l'évaluation de ce projet. Dans les cas où l'objet de la restauration consiste en deux ou plusieurs sortes d'écosystèmes, la référence peut être appelée **paysage de référence** ou, si seulement une partie du paysage local doit être restauré, l'**unité paysagère de référence**. L'écosystème, le paysage ou l'unité désigné peut simplement être appelé la **référence**. Typiquement, la référence représente un point d'évolution avancé qui se situe quelque part le long de la trajectoire de restauration attendue. En d'autres mots, l'écosystème restauré est supposé finalement imiter les attributs de la référence et les buts et stratégies du

projet sont développés dans ce sens. La référence peut consister en un ou plusieurs sites spécifiques qui contiennent des écosystèmes modèles, une description écrite ou une combinaison des deux. Les informations collectées sur la référence incluent à la fois des composantes biotiques et abiotiques. Une description plus complète de l'écosystème de référence se trouve dans la Section 5.

Une **trajectoire écologique** est celle qui décrit le chemin évolutif d'un écosystème au cours du temps. En restauration, la trajectoire commence avec l'écosystème non-restauré et progresse vers l'état attendu d'autoréparation souhaité dans les buts du projet de restauration et exprimé dans l'écosystème de référence. La trajectoire englobe tous les attributs écologiques – biotiques et abiotiques – d'un écosystème, et en théorie peut être suivie par la mesure séquentielle de suites cohérentes de paramètres écologiques. Aucune trajectoire n'est restreinte ou spécifique. En effet, une trajectoire englobe une gamme générale encore réduite d'expressions écologiques potentielles à travers le temps, qui pourrait être décrite mathématiquement par la théorie du chaos ou prédite par des modèles écologiques variés. Une description totalement empirique d'une trajectoire n'est pas conseillée pour deux raisons. Premièrement, le nombre de traits des écosystèmes pouvant être mesurés excèdent largement ceux que l'on peut suivre et la description d'une trajectoire au cours du temps est nécessairement incomplète. Deuxièmement, les données du suivi se prêtent à une représentation graphique des trajectoires pour les paramètres individuels mais leur combinaison en une simple trajectoire représentant l'ensemble de l'écosystème requiert une analyse multivariée hautement complexe qui doit être développée. Cela représente un challenge de recherche crucial pour le futur.

La **biodiversité** fait référence au biote en termes de diversité taxonomique et génétique, aux variétés de formes de vie présentes et à la structure communautaire ainsi formée, ainsi qu'aux rôles écologiques joués. Le **biote** est organisé hiérarchiquement du génome aux individus, espèces, populations et communautés. Deux aspects liés de la biodiversité sont la **composition spécifique**, c'est-à-dire la collection taxonomique des espèces présentes, et la richesse spécifique, c'est-à-dire le nombre d'espèces différentes présentes. L'importance d'une large autoréparation de la composition spécifique ne peut pas être exagérée en restauration. Tous les groupes fonctionnels d'espèces doivent être représentés afin que l'écosystème restauré s'auto-entretienne. L'**abondance spécifique**, c'est-à-dire la présence de multiples espèces jouant un rôle dans la dynamique de l'écosystème, offre l'assurance que la santé de l'écosystème se maintient en réponse au stress, aux perturbations et autres changements environnementaux.

Afin qu'un écosystème soit bien adapté aux conditions locales du site et fasse preuve de résilience en réponse à un environnement stressant et changeant, les populations d'espèces le composant doivent posséder une **fitness génétique**. Un écosystème comprenant des populations génétiquement aptes est celui qui non seulement est adapté au régime environnemental actuel, mais aussi possède quelques « redondances génétiques », par lesquelles le pool génétique contient une diversité d'allèles qui pourraient être sélectionnés en réponse au changement environnemental. En conditions normales, la réintroduction d'**écotypes locaux** est suffisante pour maintenir la fitness génétique. Cependant, dans des sites ayant souffert de dommages importants et d'altérations consécutives de leur environnement physique, l'introduction d'un **stock génétique divers** pourrait être la stratégie préférentielle permettant la recombinaison et le développement éventuel de nouveaux écotypes plus adaptés.

Par **structure de la communauté**, on sous-entend la physionomie ou l'architecture de la communauté considérant la densité, la stratification horizontale, la fréquence de distribution des populations et les tailles et formes de vie des organismes que comprennent ces communautés.

Les **processus écologiques** ou **fonctions des écosystèmes** sont les attributs dynamiques des écosystèmes, incluant les interactions entre les organismes et entre les organismes et leur environnement. Les processus écologiques sont la base de l'auto-maintien d'un écosystème. Certains écologues de la restauration limitent l'emploi du terme « fonctions des écosystème » aux attributs dynamiques qui affectent directement le métabolisme, principalement la séquestration et la transformation d'énergie, de nutriments, et d'humidité. Par exemple, la fixation de carbone par la photosynthèse, les interactions trophiques, la décomposition et le cycle des nutriments minéraux. Quand les fonctions des écosystèmes sont strictement définies de cette façon, les autres attributs dynamiques se distinguent comme « processus écosystémiques » tels que la stabilisation du substrat, le contrôle microclimatique, la différenciation des habitats pour les espèces spécialisées, la pollinisation et la dispersion des graines. Le fonctionnement à plus large échelle spatiale est généralement conçu en termes plus généraux, comme la rétention à long terme des nutriments et de l'humidité et le maintien de tout l'écosystème.

Les fonctions et processus des écosystèmes, comme la reproduction et la croissance des organismes, sont ce qui permettent à un écosystème d'être auto-régénérant ou **autogénique**. Un but commun pour la restauration d'un écosystème naturel est l'autoréparation des processus autogéniques jusqu'à ce que l'assistance des restaurateurs ne soit plus nécessaire. A cet effet, le rôle central d'un restaurateur est d'initier les processus autogéniques. Les restaurateurs admettent généralement que les processus autogéniques débutent une fois que la composition et la structure des espèces appropriées ont été rétablies. Ce n'est pas une hypothèse toujours valide mais un point de départ raisonnable pour la restauration d'un écosystème.

Certains processus dynamiques sont d'origine externe, comme les feux, les inondations, les vents violents, les chocs salins des marées et des tempêtes, les gelées et les sécheresses. Ces processus externes stressent le biote et sont parfois désignés comme des **stresseurs**. Le biote d'un écosystème donné doit être résistant ou résilient aux événements normaux de stress qui se déroulent périodiquement dans l'environnement local. Ces événements servent au maintien de l'intégrité des écosystèmes, en empêchant l'établissement d'autres espèces qui ne sont pas adaptées à ces conditions de stress. Par exemple, l'influx tidal de l'eau saline est essentiel pour maintenir un écosystème marécageux salé et prévenir sa conversion en un écosystème d'eau douce. Dans les écosystèmes culturels, les activités dont l'homme sert d'intermédiaire, comme le brûlage ou le pâturage, sont qualifiées de stresseurs. Les termes « disturbance » ou perturbation sont parfois utilisés à la place de « stresseur » ou « événement stressant ». Cependant, le terme « disturbance » est restreint aux impacts sur les écosystèmes qui sont plus sévères ou critiques que les événements normaux de stress.

La **résistance** est le terme décrivant la capacité d'un écosystème à maintenir ses attributs structuraux et fonctionnels face au stress et aux perturbations. La **résilience** est la capacité d'un écosystème à récupérer les attributs structuraux et fonctionnels ayant subi des dommages causés par un stress ou une perturbation. La **stabilité d'un écosystème** est la capacité d'un écosystème à maintenir sa trajectoire donnée malgré un stress ; cela dénote un équilibre

dynamique. La stabilité est atteinte sur la base de la capacité d'un écosystème à être résistant ou résilient.

Les termes d'intégrité d'un écosystème et de santé d'un écosystème sont communément employés pour décrire l'état attendu d'un écosystème restauré. Malgré le fait que certains auteurs utilisent alternativement l'un ou l'autre de ces termes, ils ont des sens différents. **L'intégrité d'un écosystème** est l'état ou la condition d'un écosystème qui montre des caractéristiques de biodiversité de la référence, telles que la composition spécifique et la structure communautaire, et qui est entièrement capable de maintenir le fonctionnement normal de l'écosystème.

La santé d'un écosystème est l'état ou la condition d'un écosystème dans lequel ses attributs dynamiques se manifestent pour une gamme « normale » d'activité relative à son stade écologique de développement. La santé d'un écosystème restauré se manifeste s'il fonctionne normalement par rapport à l'écosystème de référence ou à une série appropriée d'attributs d'écosystème restauré comme ceux qui sont listés ci-dessus en Section 3. Un état d'intégrité de l'écosystème suggère, mais ne confirme pas nécessairement, à la fois un état de santé de l'écosystème et un environnement abiotique adapté.

Section 5 : Les Ecosystèmes de Référence

Un écosystème de référence ou référence sert de modèle pour la planification d'un projet de restauration et ensuite pour son évaluation. Dans sa forme la plus simple, la référence est un site réel, sa description écrite ou les deux. Le problème avec une référence simple est qu'elle représente le seul état ou expression des attributs d'un écosystème. La référence qui est sélectionnée peut être quel état potentiel de la gamme historique des variations de cet écosystème. La référence reflète une combinaison particulière d'événements stochastiques qui se sont déroulés pendant le développement de l'écosystème.

De la même manière, un écosystème qui subit la restauration peut évoluer en une large gamme d'états. Chaque état exprimé convient pour la restauration, pourvu qu'il soit comparable à un état potentiel dans lequel sa référence pourrait se développer. Ainsi, une référence simple n'exprime pas suffisamment la multitude d'états potentiels et la gamme historique de variations exprimées par l'écosystème restauré. Par conséquent, une référence est meilleure lorsqu'elle est représentée par une multitude de sites de référence et, si nécessaire, par d'autres sources. Cette description composite permet de donner une base plus réaliste à la planification de la restauration.

Les sources d'information qui peuvent être utilisées dans la description de la référence comprennent :

- les descriptions écologiques, les listes d'espèces et les cartes du site du projet antérieures aux dégradations ;
- les photographies aériennes anciennes et récentes et celles au niveau du sol ;
- les vestiges du site qui restent à restaurer, indiquant les conditions physiques et le biote antérieurs ;
- les descriptions écologiques et les listes d'espèces d'écosystèmes similaires intacts ;
- les spécimens des herbiers et les musées ;

- les comptes rendus historiques et les histoires orales par des personnes familières avec le site du projet antérieur aux dégradations ;
- les données paléo-écologiques, comme les pollens de fossiles, les charbons, l'histoire des cernes des arbres, les fumiers de rongeurs ;

La valeur de la référence augmente avec la quantité d'information qu'elle contient, mais chaque inventaire est limité par le temps ou les fonds. Imperceptiblement, un inventaire basé sur les données écologiques décrit les attributs saillants de l'environnement abiotique et les aspects importants de la biodiversité comme la composition spécifique et la structure des communautés. De plus, il identifie les événements communs de stress périodique qui maintiennent l'intégrité de l'écosystème. Les descriptions de référence pour les écosystèmes culturels doivent identifier les pratiques culturelles nécessaires à la restauration et ensuite à la gestion de l'écosystème.

La description de la référence est compliquée par deux facteurs devant être conciliés pour assurer sa qualité et son utilité. Premièrement, le site de référence est normalement sélectionné pour sa forte biodiversité, alors qu'un site en cours de restauration présente typiquement un stade écologique antérieur. Dans un tel cas, la référence nécessite une interpolation vers une phase de développement antérieure pour les besoins de planification et d'évaluation du projet. La nécessité d'interprétation diminue lorsque le stade de développement du site du projet de restauration est suffisamment avancé pour une comparaison directe avec la référence. Deuxièmement, lorsque le but de la restauration est un écosystème naturel, presque toutes les références valables auront subi les impacts néfastes occasionnés par l'homme qui ne pourront être imitées. Par conséquent, la référence doit nécessiter une interprétation pour éliminer ces sources d'artifice. Pour ces raisons, la préparation de la description de la référence exige de l'expérience et un jugement écologique approfondi.

Les buts écrits des projets de restauration sont essentiels pour déterminer les renseignements nécessaires à la description de la référence. Pour une restauration à grande échelle ou à échelle du paysage pour laquelle seuls les buts globaux sont recommandés, la description de la référence peut également être globale. Dans ces circonstances, les photographies aériennes peuvent représenter la source la plus importante d'information pour la préparation de la référence. La restauration à une échelle plus petite nécessite des informations plus détaillées sur la référence, comme les données récoltées lors de relevés de terrain.

Section 6 : Les Espèces Exotiques

Une espèce exotique végétale ou animale est une espèce qui a été introduite dans une aire où elle n'avait jamais été présente auparavant, par le biais d'activités humaines relativement récentes. Depuis que la restauration écologique d'écosystèmes naturels tente de rétablir une authenticité historique autant que possible, la réduction ou l'élimination des espèces exotiques dans des sites de restauration est fortement souhaitable. Cependant, les contraintes financières et logistiques existent souvent et il est important d'être réaliste et pragmatique dans l'approche du contrôle des espèces exotiques. Dans les paysages culturels, les espèces exotiques font fréquemment partie intégrale de l'écosystème, en particulier pour les cultures et le bétail, ainsi que les espèces rudérales ou ségétales qui ont vraisemblablement coévolué avec ces espèces domestiques.

Dans les écosystèmes naturels, les espèces exotiques invasives sont généralement en compétition avec les espèces autochtones et les remplacent. Cependant, toutes les espèces exotiques ne sont pas nuisibles. En effet, certaines jouent même des rôles écologiques qu'avaient autrefois les espèces natives qui sont devenues rares ou qui ont été arrachées. Dans ces cas, les motivations pour leur suppression ne sont pas valables. Certaines espèces exotiques ont été introduites il y a des siècles par les hommes ou par d'autres facteurs et ont été naturalisées, de sorte que leur statut d'exotique peut être débattu. D'autres espèces ont migré dans ou hors d'une région en réponse aux fluctuations climatiques au cours de l'Holocène, et peuvent donc être à peine considérées comme exotiques. Même si toutes les espèces exotiques sont supprimées d'un site de restauration, la probabilité de ré-invasion reste élevée. Par conséquent, il est essentiel qu'une politique soit développée pour chaque espèce exotique présente, basée sur des réalités biologiques, économiques et logistiques. La priorité absolue est le contrôle et l'arrachage de ces espèces qui constituent le plus de menaces. Cela inclut les espèces de plantes invasives qui sont notamment mobiles et constituent une menace écologique à l'échelle du paysage ou de la région, et les animaux qui consomment ou font déplacer les espèces natives. Un soin tout particulier doit être pris pour causer le moins de perturbations possibles pour les espèces indigènes et les sols lors de la suppression des espèces exotiques.

Dans certains cas, des plantes non-indigènes sont utilisées pour une raison spécifique dans le projet de restauration, comme par exemple des cultures pour le couvert, des cultures en pépinière ou des fixatrices d'azote. Bien qu'elles soient des espèces à durée de vie relativement courte, non pérennes et qu'elles seront remplacées au cours de la succession, leur éventuelle suppression devrait être incluse dans les plans de restauration.

Section 7 : Suivi et Evaluation

Un projet de restauration bien planifié tente d'atteindre clairement les buts fixés qui reflètent les attributs importants de l'écosystème de référence. Les buts sont atteints en poursuivant des objectifs spécifiques. Les buts sont des idéaux et les objectifs des mesures concrètes prises pour atteindre ces buts. Deux questions fondamentales doivent se poser vis-à-vis de l'évaluation de l'écosystème restauré. Est-ce que les objectifs ont été accomplis ? Est-ce que les buts ont été atteints ? Les réponses à ses deux questions ne sont valides que si les buts et objectifs ont été fixés avant la réalisation des travaux du projet de restauration.

Les écosystèmes sont complexes, et pas deux écosystèmes intacts ne se ressemblent, même étudiés à une fine résolution. Pour cette raison, aucun écosystème restauré sur un site de projet ne peut être identique à une simple référence. Le nombre de variables écosystémiques qui peut être utilisé dans une évaluation est trop important pour qu'elles soient toutes mesurées dans une période de temps raisonnable. Choisir les variables à évaluer et celles à écarter demande du pragmatisme et un jugement de valeur de la part de l'évaluateur.

Les objectifs sont évalués sur la base de **Standards de performance**, aussi connus comme critères d'intention ou critères de succès. Ces standards ou critères sont conçus en large partie à partir de la compréhension de l'écosystème de référence. Les standards de performance offrent une base empirique pour déterminer si oui ou non les objectifs du projet ont été atteints. Les objectifs, les standards de performance et les protocoles pour le suivi et pour l'évaluation de données doivent être incorporés dans les plans de restauration avant le début du projet. Si l'interprétation des données collectées pendant le suivi montre que les standards

de performance sont là, il ne peut y avoir de doute que les objectifs du projet ont été atteints et l'écosystème restauré est suffisamment résilient pour ne requérir que peu ou plus d'assistance de la part des praticiens de la restauration.

Il est vrai que les buts du projet sont, ou seront vite, atteints une fois que les objectifs sont remplis. La validité de cette hypothèse n'est pas garantie lorsque les objectifs et les standards de performance qui ont été désignés se révèlent inadaptés, et les vicissitudes environnementales non anticipées peuvent faire dévier la trajectoire de la restauration. Pour cette raison, et puisque les buts sont idéaux et résistent à la dimension strictement empirique, un élément de jugement professionnel et de subjectivité devient incontournable dans l'évaluation des buts.

Trois stratégies existent pour mener une évaluation : *la comparaison directe*, *l'analyse des attributs* et *l'analyse de la trajectoire*. Dans **la comparaison directe**, les paramètres sélectionnés sont déterminés ou mesurés dans la référence et sur les sites de restauration. Si la description de la référence est minutieuse, 20 à 30 paramètres peuvent ainsi être comparés, incluant à la fois les aspects du biote et de l'environnement abiotique. Cela peut rendre l'interprétation ambiguë quand les résultats de certaines comparaisons sont proches et d'autres non. La question se pose – combien de paramètres doivent avoir les mêmes valeurs et à quel point ces valeurs doivent-elles être proches pour que les buts de la restauration soient atteints ? L'approche la plus satisfaisante serait de sélectionner soigneusement une suite cohérente de traits qui décrivent collectivement un écosystème complètement mais aussi succinctement.

Dans **l'analyse des attributs**, les attributs sont évalués selon la liste énoncée dans la Section 3. Dans cette stratégie, les données quantitatives et semi-quantitatives du suivi et d'autres inventaires sont utiles pour juger le degré selon lequel chaque but a été atteint.

L'analyse de la trajectoire est une stratégie prometteuse, encore peu développée, pour interpréter de nombreux jeux de données comparatives. Dans cette stratégie, les données collectées périodiquement sur le site de restauration sont analysées pour déterminer les tendances. Celles qui mènent vers la condition de référence confirment que la restauration suit sa trajectoire attendue

Les évaluations incluent celles de tous les buts et objectifs fixés se rapportant aux aspects culturel, économique ou social. Pour cela, les techniques d'évaluation doivent inclure celles des sciences sociales. L'évaluation des buts socio-économiques est importante pour les décideurs et par la suite pour les responsables politiques qui décident d'autoriser et de financer ou non les projets de restauration.

Section 8 : Planification de la Restauration

Les plans pour les projets de restauration comprennent, au minimum, les points suivants :

- un raisonnement clair sur pourquoi la restauration est nécessaire ;
- une description écologique du site désigné pour la restauration ;
- une énonciation des buts et objectifs du projet de restauration ;
- une désignation et une description de la référence ;

- une explication sur comment la restauration proposée va s'intégrer au paysage et à ses flux d'organismes et de matériaux ;
- des plans explicites, des calendriers et des budgets pour la préparation du site, les activités d'installation et de mise en route, incluant une stratégie pour faire de promptes corrections à mi-course ;
- des standards de performance bien développés et explicitement établis, avec des protocoles de suivi grâce auxquels le projet peut être évalué ;
- des stratégies pour une protection et un maintien à long-terme de l'écosystème restauré.

Lorsque cela est possible, au moins un point contrôle non traité doit être inclus sur le site du projet, pour pouvoir comparer avec l'écosystème restauré.

Section 9 : Relation entre Pratique de la Restauration et Ecologie de la Restauration

La restauration écologique est la pratique de restaurer les écosystèmes, faite par les opérateurs et gestionnaires des sites de projets spécifiques, tandis que l'écologie de la restauration est la science sur laquelle se base la pratique. L'écologie de la restauration fournit idéalement des concepts clairs, des modèles, des méthodologies et des règles pour les praticiens en support pour leur pratique. Parfois le praticien et l'écologue de la restauration sont une même personne – le lien entre la pratique et la théorie. Le domaine de l'écologie de la restauration ne se limite pas seulement à un service direct pour la pratique de la restauration. Les écologues de la restauration peuvent avancer une théorie écologique en utilisant des sites de projets de restauration comme aires expérimentales. Par exemple, les informations provenant des sites de projet peuvent être utiles pour résoudre des questions se rapportant aux habitudes de rassemblement des communautés biotiques. De plus, les écosystèmes restaurés peuvent servir de références pour définir des aires désignées pour la conservation de la nature.

Section 10 : Relation entre la Restauration et les Autres Activités

La restauration écologique est une des nombreuses activités qui s'efforcent de modifier le biote et les conditions physiques dans un site et qui sont fréquemment confondues avec la restauration. Ces activités comprennent la récupération, la réhabilitation, la mitigation, l'ingénierie écologique et différentes sortes de gestion des ressources, que sont la flore et la faune sauvage, la pêche et la gestion de l'habitat, l'agroforesterie et la foresterie. Toutes ces activités peuvent s'entrecroiser et sont parfois qualifiées de restauration écologique si elles satisfont tous les critères exprimés dans la Section 3 de ce document. Par rapport aux autres types d'activités, la restauration nécessite généralement plus d'assistance post-installation pour satisfaire tous ces critères.

La **réhabilitation**, tout comme la restauration, se sert des écosystèmes historiques ou préexistants comme modèles ou références, mais les deux activités diffèrent aux niveaux de leurs buts et de leurs stratégies. La réhabilitation insiste sur la réparation des processus, de la productivité et des services de l'écosystème, tandis que le but de la restauration vise aussi à rétablir l'intégrité biotique préexistante en termes de composition spécifique et de structure des communautés. Cependant, la restauration, comme largement conçue, englobe

probablement une large majorité de travaux précédemment identifiés comme faisant partie de la réhabilitation.

Le terme de **réclamation**, communément utilisé dans le contexte des paysages miniers en Amérique du Nord et en Grande-Bretagne, a une plus large application que la réhabilitation. Les principaux objectifs de la récupération comprennent la stabilisation du terrain, l'assurance de la sécurité publique, l'amélioration esthétique, et généralement un retour à un paysage considéré comme utile dans un contexte régional. La revégétalisation, qui est normalement une composante de la récupération, n'entraîne l'établissement que d'une ou de peu d'espèces. Les projets de récupération, qui sont plus basés sur l'écologie, peuvent être qualifiés de réhabilitation ou même de restauration.

La **mitigation** est une action qui tend à compenser les dommages subis par l'environnement. La mitigation est généralement exigée aux États-Unis lors de l'établissement de permis pour les projets de développement privés et de travaux publics qui causent des dommages dans les zones humides. Certains, mais peut-être relativement peu de projets de mitigation, satisfont les attributs des écosystèmes restaurés listés en Section 3, et sont ainsi qualifiés de restauration.

Le terme de **création** est employé depuis peu, notamment pour les projets conduits comme des mitigations sur des terrains dépourvus de végétation. Le terme alternatif de **fabrication** est parfois employé. Fréquemment, le processus de supprimer toute la végétation d'un site entraîne des changements importants de l'environnement et entraîne la mise en place d'un écosystème différent de l'historique. La création, menée comme ingénierie dirigée ou architecture du paysage, ne peut pas être qualifiée de restauration parce que la restauration promeut le développement d'un écosystème le long d'une trajectoire donnée, et ensuite permet aux processus autogéniques de mener au stade de développement ultérieur avec peu ou pas d'interférence humaine.

L'ingénierie écologique implique la manipulation de matériaux naturels, d'organismes vivants et de l'environnement physico-chimique pour atteindre les buts spécifiques des hommes et résoudre les problèmes techniques. Elle diffère ainsi de l'ingénierie civile, qui s'appuie sur les matériaux fabriqués par l'homme, comme l'acier ou le béton. La prévisibilité est une considération première dans toutes les conceptions de l'ingénierie, tandis que la restauration reconnaît et accepte un développement imprévisible et s'adresse à des buts qui dépassent le pragmatisme strict et qui englobent la biodiversité, l'intégrité et la santé de l'écosystème. Lorsque la prévisibilité n'est pas en jeu, les capacités de nombreux projets d'ingénierie écologique peuvent être étendues jusqu'à ce qu'ils soient qualifiés de restauration.

Section 11 : Intégration de la Restauration Ecologique dans un Programme plus Large

Parfois, la restauration écologique n'est seulement qu'un des nombreux éléments d'une plus large entreprise du secteur public ou privé, comme les projets de développement et les programmes pour la gestion des bassins versants, la gestion d'écosystème et la conservation de la nature. Les gestionnaires des projets de ces plus larges entreprises doivent être conscients des complexités et des coûts qu'entraînent la planification et la mise en œuvre de la restauration écologique. Des économies peuvent être réalisées grâce à une coordination consciencieuse entre les activités de restauration et d'autres aspects du programme plus large.

Pour cette raison, les gestionnaires de projets gagneront à reconnaître la restauration écologique comme une composante intégrale du programme. Si cela se fait, le restaurateur peut contribuer substantiellement à tous les aspects du programme touchant à la restauration. De plus, le restaurateur sera dans une position garantissant que toute la restauration écologique est bien conçue et entièrement réalisée. De cette façon, les biens publics en seront bénéficiaires.