



PRINCIPES ET NORMES INTERNATIONAUX POUR LA PRATIQUE DE LA RESTAURATION ÉCOLOGIQUE

DEUXIÈME ÉDITION: *Novembre 2019*

George D. Gann, Tein McDonald, Bethanie Walder, James Aronson, Cara R. Nelson, Justin Jonson, James G. Hallett, Cristina Eisenberg, Manuel R. Guariguata, Junguo Liu, Fangyuan Hua, Cristian Echeverría, Emily Gonzales, Nancy Shaw, Kris Decler, and Kingsley W. Dixon

ORGANISATEURS



INSTITUTIONS PARTICIPANTES



AVEC L'APPROBATION DE



© 2019 Society for Ecological Restoration. Le format de ce document et l'utilisation des images diffèrent, mais le contenu est identique à : Gann GD, McDonald T, Walder B, Aronson J, Nelson CR, Jonson J, Hallett JG, Eisenberg C, Guariguata MR, Liu J, Hua F, Echeverría C, Gonzales E, Shaw N, Declerck K, Dixon KW (2019) International principles and standards for the practice of ecological restoration. Second edition. *Restoration Ecology* 27 (S1) : S1 – S46.

La revue *Restoration Ecology* est publiée par la société Wiley Periodicals au nom de la Société pour la restauration écologique. Il s'agit ici d'un article en libre accès selon les termes de la licence Creative Commons Attribution – Pas d'Utilisation Commerciale, qui permet l'utilisation, la distribution et la reproduction sous tous formats, à condition que l'œuvre originale soit correctement citée et ne soit pas utilisée à des fins commerciales.

AUTEURS

George D. Gann

The Institute for Regional Conservation, Delray Beach, FL 33483, U.S.A.; Society for Ecological Restoration, Washington, D.C. 20005, U.S.A.

Tein McDonald

Society for Ecological Restoration Australasia, 10 East St, Cooma, NSW 2630, Australia

Bethanie Walder

Society for Ecological Restoration, Washington, DC 20005, U.S.A.

James Aronson

Center for Conservation and Sustainable Development, Missouri Botanical Garden, St Louis, MO 63166, U.S.A.

Cara R. Nelson

Department of Ecosystem and Conservation Sciences, Franke College of Forestry and Conservation, University of MT, Missoula, MT 59812, U.S.A.; Ecosystem Restoration Thematic Group, Commission on Ecosystem Management, International Union for Conservation of Nature, 1196 Gland, Switzerland

Justin Jonson

Threshold Environmental, PO Box 1124, Albany, WA 6331, Australia

James G. Hallett

Society for Ecological Restoration, Washington, DC 20005, U.S.A.

Cristina Eisenberg

Oregon State University, College of Forestry, Department of Forest Ecosystems and Society, Corvallis, OR 97331, U.S.A.

Manuel R. Guariguata

Center for International Forestry Research, Av. La Molina 1895, Lima, Peru

AUTEURS

Junguo Liu

School of Environmental Science and Engineering, Southern University of Science and Technology, Shenzhen, 518055, China; Society for Ecological Rehabilitation of Beijing, Beijing, China

Fangyuan Hua

Institute of Ecology, Peking University, Haidian Road, Beijing, China 100871; Department of Zoology, University of Cambridge, Cambridge, CB2 3EJ, United Kingdom

Cristian Echeverría

Laboratory of Landscape Ecology, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Concepción, Concepción, Chile

Emily Gonzales

Parks Canada, 300-300 West Georgia St, Vancouver, BC V6B 6B4, Canada

Nancy Shaw

Grassland, Shrubland and Desert Ecosystem Research, USFS Rocky Mountain Research Station, 322 E. Front Street, Suite 401, Boise, ID 83702, U.S.A.

Kris Decler

Research Institute for Nature and Forest, Herman Teirlinckgebouw, Havenlaan 88 bus 73, 1000 Brussels, Belgium
Society for Ecological Restoration - Europe

Kingsley W. Dixon

ARC Centre for Mine Site Restoration, School of Molecular and Life Sciences, Curtin University, Bentley, WA 6102, Australia

Contributions des auteurs

GDG, TM et BW ont coordonné la production du document et ont sollicité les revues de la première édition et des versions préliminaires ultérieures. GDG, TM, BW, JA, CRN, JJ, JGH, CE, MRG, JL, FH, CE, EG, et KWD ont rédigé des sections du texte. JGH a édité et révisé le document. NS et KD ont épuré des sections du texte.

SOMMAIRE

Auteurs	3
À propos de la Society for Ecological Restoration	7
Genèse du document	8
Synthèse	13
Section 1: Introduction	16
Section 2: Huit principes qui étayent la restauration écologique	22
Principe 1: La restauration écologique engage les parties prenantes	23
Principe 2: La restauration écologique s'appuie sur plusieurs types de connaissances	28
Principe 3: La pratique de la restauration écologique est guidée par des écosystèmes de référence indigènes, tout en tenant compte des changements environnementaux	32
Principe 4: La restauration écologique soutient les processus de régénération naturelle	38
Principe 5: Le rétablissement écosystémique est évalué par rapport à des buts et objectifs clairs en se servant d'indicateurs mesurables	40
Principe 6: La restauration écologique cherche le plus haut niveau possible de rétablissement	47
Principe 7: La restauration écologique gagne de la valeur cumulative une fois appliquée à grande échelle	54
Principe 8: La restauration écologique fait partie d'un continuum d'activités restauratrices	57
Section 3: Normes de pratique pour la planification et la mise en œuvre de projets de restauration écologique	64
1. Planification et conception	64
2. Mise en œuvre	70
3. Suivi, documentation, évaluation, compte rendu	71
4. Entretien après mise en œuvre	74
Section 4: Bonnes pratiques	75
Partie 1: Développer des modèles de référence pour la restauration écologique	75
Partie 2: Identifier les approches appropriées à la restauration écologique	78
Partie 3: Le rôle de la restauration écologique parmi les initiatives mondiales de restauration	83
Section 5: Glossaire des termes	89

Littérature citée	100
Annexe 1 : La sélection de graines et autres propagules pour la restauration	106
Annexe 2 : Modèles d'évaluation de projet vierges (à l'usage des praticiens)	115

À PROPOS DE LA SOCIETY FOR ECOLOGICAL RESTORATION



À PROPOS DE L'ORGANISATION

La Society for Ecological Restoration (SER) est une organisation internationale à but non lucratif comptant des membres dans 70 pays. La SER fait avancer la science, la pratique et la politique en matière de restauration écologique pour soutenir la biodiversité, améliorer la résilience dans un contexte de climat en évolution et rétablir une relation écologiquement saine entre la nature et la culture. La SER est un réseau mondial dynamique qui relie les chercheurs, les praticiens, les gestionnaires fonciers, les dirigeants et décideurs communautaires pour restaurer les écosystèmes et les communautés humaines qui en dépendent. Par le biais de ses membres, publications, conférences, travaux politiques et programmes de sensibilisation, la SER définit et offre un niveau d'excellence dans le domaine de la restauration écologique.

COORDONNÉES

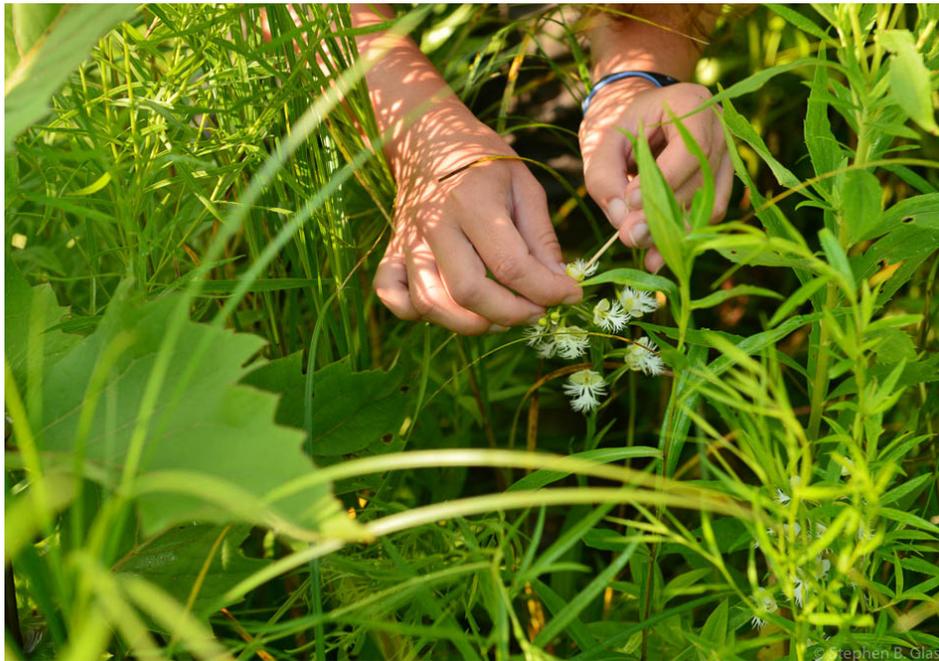
Society for Ecological Restoration
1133 15th St. NW, Suite 300
Washington, DC 20005, USA
info@ser.org

www.SER.org

GENÈSE DU DOCUMENT

Les « Principes et normes internationaux pour la pratique de la restauration écologique » (les Normes) ont été élaborés en consultation avec des professionnels de la SER ainsi que leurs pairs au sein des communautés mondiales de la science et de la conservation. La première édition a été lancée en 2016 lors de la Conférence des Nations Unies sur la biodiversité à Cancún, au Mexique. Cet événement a rassemblé des parties prenantes clés provenant de l'arène politique internationale, dont beaucoup avaient joué un rôle déterminant dans le pilotage des initiatives mondiales pour la mise en œuvre

de programmes de restauration environnementale à grande échelle. Étant donné que les Normes ont été rédigées en tant que document pouvant évoluer pour permettre sa modification et son élargissement via sa consultation et son utilisation par les parties prenantes, leur lancement a compris une invitation ouverte à la contribution des parties prenantes pour améliorer le document, mais aussi pour promouvoir et élargir son usage. Par la suite, au cours d'une période de consultation pluriannuelle, la



*Flore et faune, Wisconsin, U.S.A.
Photo prise par Stephen Glass*

SER a sollicité de recevoir des commentaires et des critiques provenant d'un large éventail de personnes et d'organisations contribuant à la restauration écologique. Les principales parties prenantes contactées pour proposer des commentaires incluaient les secrétariats de la Convention sur la diversité biologique (CDB), de la Convention des Nations Unies sur la lutte contre la désertification (CNULD), y compris son Interface science-politique, le Fonds pour l'environnement mondial, la Banque mondiale et les membres du Partenariat mondial sur la restauration des paysages forestiers (GPFLR). En 2017, la SER a établi

un partenariat avec la Commission de l'IUCN, responsable de la gestion des écosystèmes, pour organiser un Forum sur la biodiversité et la restauration des forêts mondiales (accessible sur invitation) au cours duquel les Normes SER ont été revues (SER et UICN-CEM 2018). La SER a également organisé un symposium sur les Normes SER ainsi qu'un Café des Connaissances à la Conférence mondiale 2017 sur la restauration écologique de la SER. Des contributions supplémentaires ont été reçues lors d'autres événements, notamment au cours de la 9^{ème} conférence mondiale du Partenariat pour les services écosystémiques à Shenzhen, en Chine, en 2017. Pour saisir les perspectives de la communauté SER, la SER a reçu des retours d'expériences en ligne via son site web et a envoyé un sondage en ligne aux membres, affiliés et parties prenantes de la SER. La SER a également pris en compte et répondu aux commentaires des critiques publiées dans sa revue, *Restoration Ecology*.

Tous les commentaires reçus pendant le processus d'examen consultatif ont été pris en compte dans le processus de révision. La deuxième édition des Normes a été approuvée par le Comité scientifique et politique de la SER et par le Conseil d'administration de la SER le 18 juin 2019. Comme pour la première édition, cette version sera révisée et améliorée à mesure que la discipline évolue grâce à la science, à la pratique et à la gestion adaptative.

Les Normes sont compatibles et approfondissent les Normes ouvertes pour la pratique de la conservation (*Conservation Measures Partnership* 2013) et elles complètent les Standards sociaux et environnementaux REDD + (REDD + SES 2012), ainsi que d'autres normes et directives de conservation.

CONTRIBUTEURS

Levi Wickwire a collaboré à l'élaboration du document. Karen Keenleyside a contribué au contenu de la version originale. L'inspiration et les idées d'Andre Clewell ont conduit à la liste des attributs et au design de la roue (Figure 4, Annexe 2), Kayri Havens a contribué à l'adaptation de l'Annexe 1 sur la sélection des graines et autres propagules, et Craig Beatty a contribué à la Section 4 partie 3

concernant les initiatives mondiales de restauration. Nous remercions les traducteurs de la première édition : Claudia Concha, Marcela Bustamante et Cristian Echeverría (Espagnol) ; Ricardo Cesar (Portugais) ; Narayana Bhat (Arabe) ; Jaeyong Choi (Coréen) ; Junguo Liu (Chinois) ; et, Jean-François Alignan, Julie Braschi, Élise Buisson, Jacqueline Buisson, Manon Hess, Renaud Jaunatre, Maxime Le Roy, Sandra Malaval, ainsi que Réseau d'échanges et de valorisation en écologie de la restauration (REVER) (Français). Merci à Little Gecko Media (Australie), à Peter de Albuquerque (Brésil) pour le graphisme et à Samara Group (États Unis) pour le graphisme et la mise en page.

REVIEWERS

De nombreux experts internationaux ont fourni des suggestions pour l'élaboration de la deuxième édition. Nous sommes reconnaissants ici à beaucoup d'entre eux, mais il se peut que nous ayons involontairement omis certaines personnes. Les opinions exprimées ici sont celles des auteurs et pas nécessairement celles des reviewers. Sasha Alexander, Mariam Akhtar-Schuster, Craig Beatty, Consuelo Bonfil, Karma Bouazza, Elise Buisson, Andre Clewell, Jordi Cortina, Donald Falk, Marco Fioratti, Scott Hemmerling, Richard Hobbs, Karen Holl, Berit Köhler, Nik Lopoukhine, Graciela Metternicht, Luiz Fernando Moraes, Stephen Murphy, Michael Perring, David Polster, Karel Prach, Anne Tolvanen, Alan Unwin, Ramesh Venkataraman, Steve Whisenant, Andrew Whitley, et Shira Yoffe ont fourni des comptes rendus critiques. Jena Santoro a contribué au sommaire. Le manuscrit publié a grandement bénéficié de la revue par les pairs Karel Prach, Vicky Temperton et Joy Zedler. Leur aide, leur dévouement et leur rapidité à revoir le manuscrit ont été inégalés.

Les participants au **Forum sur la biodiversité et la restauration mondiale des forêts reçu par la SER et l'UICN-CGE**, Iguassu Falls, Brésil, 2017, ont aidé à clarifier la portée et le contexte des Normes SER : Angela Andrade, James Aronson, Rafael Avila, Brigitte Baptiste, Rubens de Miranda Benini, Rachel Biderman, Blaise Bodin, Consuelo Bonfil, Magda Bou Dagher Kharrat, MiHee Cho, Youngtae Choi, Jordi Cortina, Kingsley Dixon, Giselda Durigan, Cristian Echeverría, Steve Edwards, George Gann, Manuel R. Guariguata, Yoly Gutierrez, James Hallett, Ric Hauer, Karen Holl, Fangyuan Hua, Paola Isaacs, Justin

Jonson, Won-Seok Kang, Agnieszka Latawiec, Harvey Locke, James McBreen, Tein McDonald, Paula Meli, Jean Paul Metzger, Miguel A. Moraes, Ciro Moura, Cara Nelson, Margaret O'Connell, Aurelio Padovezi, Hernán Saavedra, Catalina Santamaria, Gerardo Segura Warnholtz, Kirsty Shaw, Nancy Shaw, Bernardo Strassburg, Evert Thomas, José Marcelo, Alan Unwin, Liette Vasseur, Joseph Veldman, Bethanie Walder, et Jorge Watanabe.

Les participants au **Café des Connaissances portant sur les Normes internationales, à la Conférence mondiale 2017 sur la restauration écologique de la SER, Iguassu Falls, Brésil**, ont inclus Mitch Aide, Rafael Carlos Ávila-Santa Cruz, Suresh Babu, Blaise Bodin, Craig Beatty, Steve Edwards, George Gann, Angelita Gómez, Emily Gonzales, Justin Jonson, Marion Karmann, Tein McDonald, Cara Nelson, Antonio Ordorica, Claudia Padilla, Liliane Parany, David Polster, Catalina Santamaria, Bethanie Walder, Andrew Whitley, Paddy Woodworth, et Gustavo Zuleta.

TRADUCTION

La version francophone de ce document a été traduite par Alice Dubuisson, avec les contributions de Julien Lassauque et de Stéphane Rivière.

COMMENTAIRES SUR LA PREMIÈRE ÉDITION PUBLIÉE

De précieux commentaires ont été reçus de Constance Bersok, Kris Boody, Zoe Brocklehurst, Elise Buisson, Peter Cale, David Carr, Michael Rawson Clark, Andre Clewell, Adam Cross, Maria del Sugeyrol Villa Ramirez, Rory Denovan, Giselda Durigan, Rolf Gersonde, Emily Gonzales, Diane Haase, Ismael Hernández Valencia, Eric Higgs, Sean King, Beatriz Maruri-Aguilar, Rob Monico, Michael Morrison, Stephen Murphy, Tom Nedland, J.T. Netherland, Samira Omar, David Ostergren, Glenn Palmgren, Jim Palus, Aviva Patel, David Polster, Jack Putz, Danielle Romiti, George H. Russell, David Sabaj-Stahl, Raj Shekhar Singh, Nicky Strahl, Tobe Query, Edith Tobe, Michael Toohill, Daniel Vallauri, Jorge Watanabe, Jeff Weiss, William Zawacki, et Paul Zedler. Cassandra Rosa a compilé des notes

détaillées et a revu les commentaires de plus de 100 personnes interrogées au sondage SER sur les Normes.

SOUTIEN FINANCIER

MRG remercie le soutien financier du programme CGIAR sur les forêts, les arbres et l'agroforesterie. JL remercie le soutien de la Fondation nationale des sciences naturelles de Chine (41625001) et du Programme de recherche prioritaire stratégique de l'Académie chinoise des sciences (bourse n ° XDA20060402). KWD a reçu des fonds venant du gouvernement australien par le biais du Centre de formation à la transformation industrielle du Conseil australien de la recherche pour la restauration des sites miniers (numéro de projet ICI150100041). La SER a reçu un soutien financier de *Temper of the Times Foundation* pour le design et le développement graphique.

SYNTHÈSE

La restauration écologique, lorsqu'elle est mise en œuvre de manière efficace et durable, contribue à protéger la biodiversité ; à améliorer la santé et le bien-être humain ; à accroître la sécurité alimentaire et hydrique ; à fournir des biens, des services et contribuer à la prospérité économique ; et à soutenir l'atténuation du changement climatique, ainsi que la résilience et l'adaptation à ses effets. Il s'agit d'une approche basée sur des solutions qui engage les communautés, les scientifiques, les décideurs et les gestionnaires fonciers dans la réparation des dommages écologiques et dans la reconstruction d'une relation plus saine entre les hommes et la nature. Lorsqu'elle est combinée avec la conservation et l'utilisation durable, la restauration écologique est le lien nécessaire pour faire passer les conditions environnementales locales, régionales et mondiales d'un état de dégradation continue à celui d'une amélioration nette positive. La deuxième édition des « Principes et normes internationaux pour la pratique de la restauration écologique » (les Normes) présente un cadre solide pour les projets de restauration pour atteindre les objectifs visés, tout en relevant les défis liés à l'efficacité du design et de la mise en œuvre, à la prise en compte des dynamiques écosystémiques complexes (en particulier dans le contexte du changement climatique) et à la négociation de compromis associés aux priorités et aux prises de décisions en matière de gestion des terres.

Les Normes établissent huit principes qui étayent la restauration écologique. Les principes 1 et 2 énoncent des fondements importants qui guident la restauration écologique : mobiliser efficacement un large éventail de parties prenantes et utiliser pleinement toutes les connaissances disponibles, qu'elles soient scientifiques, traditionnelles ou locales. Les principes 3 et 4 résument l'approche centrale de la restauration écologique, en mettant en évidence les écosystèmes de référence écologiquement appropriés comme la cible de la restauration, et en clarifiant l'impératif des activités de restauration pour soutenir les processus de régénération naturelle. Le principe 5 souligne l'utilisation d'indicateurs mesurables pour évaluer la progression des objectifs de restauration. Le principe 6 définit la mission de la restauration écologique qui est celle d'aspirer au rétablissement le

plus élevé possible. Des outils sont fournis pour identifier les niveaux de rétablissement souhaités et pour en suivre la progression. Le principe 7 met en évidence l'importance de la restauration à grande



*La restauration en action, Afrique du Sud.
Photo prise par Kelvin Trautman*

échelle spatiale pour des gains cumulatifs. Enfin, la restauration écologique est l'une des nombreuses approches qui traitent les dommages causés aux écosystèmes, et le principe 8 clarifie sa relation avec ces approches associées sur un « continuum restaurateur ».

Les Normes soulignent le rôle de la restauration écologique dans le cadre de sa relation avec des objectifs sociaux, communautaires, de productivité et de durabilité. Les

Normes préconisent également des mesures de performance quant aux activités restauratrices à l'intention des industries, des collectivités et des gouvernements. De plus, les Normes augmentent la liste des pratiques et des actions qui guident les praticiens quant aux activités de planification, de mise en œuvre et de suivi. Les bonnes pratiques et les lignes directrices comprennent une prise de décision basée sur les approches appropriées pour l'évaluation des sites et l'identification des écosystèmes de référence, sur les différentes approches de restauration, y compris la régénération naturelle, sur la prise en compte de la diversité génétique dans un contexte de changement climatique, et sur le rôle de la restauration écologique dans les initiatives mondiales de restauration. Cette édition comprend également un glossaire étendu de la terminologie de la restauration.

La SER et ses partenaires internationaux ont produit les Normes pour que les communautés, les industries, les gouvernements, les éducateurs et les gestionnaires fonciers se les approprient afin d'améliorer les pratiques en restauration écologique à travers tous les secteurs et pour tous les écosystèmes terrestres et aquatiques. Les Normes soutiennent l'élaboration de plans de restauration écologique, de contrats, de conditions de consentement et de critères de suivi et

d'audit. De nature générique, le cadre des Normes peut être adapté à des écosystèmes, des biomes ou des paysages particuliers ; des pays individuels ; ou à des cultures traditionnelles. Les Normes sont ambitieuses et fournissent des outils destinés à améliorer les résultats, à promouvoir les bonnes pratiques et à livrer des bénéfices mondiaux nets sur les plans environnementaux et sociaux. Alors que le monde entre dans la Décennie des Nations Unies pour la restauration des écosystèmes (2021-2030), les Normes fournissent un plan pour assurer que la restauration écologique réalise son plein potentiel quant à la délivrance d'équité sociale et environnementale et, à terme, de bénéfices et de résultats économiques.

1 SECTION 1 – INTRODUCTION

Les « Principes et normes pour la pratique de la restauration écologique » (les Normes) fournissent un guide aux praticiens, au personnel opérateur, aux étudiants, aux planificateurs, aux gestionnaires, aux régulateurs, aux législateurs, aux bailleurs de fonds, et aux organismes de mise en œuvre impliqués dans la restauration des écosystèmes dégradés à travers le monde - qu'ils soient terrestres, d'eau douce, côtiers, ou marins. Ils placent la restauration écologique dans un contexte mondial, y compris son rôle à rétablir la biodiversité et à améliorer le **bien-être**¹ humain en période de changement mondial accéléré.

LA RESTAURATION ÉCOLOGIQUE COMME MOYEN POUR AMÉLIORER LA BIODIVERSITÉ ET LE BIEN-ÊTRE HUMAIN ET SON RÔLE PARMI LES INITIATIVES MONDIALES PLUS LARGES

L'humanité reconnaît que les **écosystèmes indigènes** de la planète ont une valeur écologique, sociétale et économique irremplaçable. En sus de leurs **valeurs intrinsèques**, telle que la **biodiversité** et l'importance spirituelle ou esthétique, les écosystèmes indigènes sains assurent le flux des **services écosystémiques**. Ces services comprennent : l'approvisionnement en eau potable et en air pur, en sols sains, en objets d'importance culturelle, ainsi qu'en nourriture, en fibres, en carburants, et en médicaments qui sont essentiels pour la santé de l'Homme, son bien-être, et ses moyens de subsistance. Les écosystèmes indigènes peuvent également réduire les effets des catastrophes naturelles, et peuvent atténuer l'accélération du changement

climatique. La dégradation, l'endommagement et la destruction des écosystèmes (ci-après désignés collectivement comme **dégradation**) appauvrissent la biodiversité, la fonctionnalité, et la **résilience** des écosystèmes, ce qui nuit ensuite à la résilience et la durabilité des **systèmes socio-écologiques**. Bien que la protection des écosystèmes indigènes restants soit essentielle pour la préservation du patrimoine naturel et culturel mondial, cette protection à elle seule est insuffisante, compte tenu de la dégradation passée et de celle en cours. Pour répondre aux défis environnementaux mondiaux d'aujourd'hui et maintenir le flux des services et biens écosystémiques essentiels au bien-être humain, **la société mondiale doit garantir un gain net dans l'étendue et la fonctionnalité des écosystèmes indigènes en investissant non seulement dans la protection de l'environnement, mais aussi dans la réparation de celui-ci, dont la restauration écologique**. Cette réparation doit être mise en œuvre à plusieurs échelles pour obtenir des effets mesurables dans le monde entier.

La prise de conscience de la nécessité de réparer l'environnement s'accroît, entraînant une escalade mondiale de la restauration écologique et des efforts associés (voir également la Section 4 partie 3). Par exemple, les Objectifs de développement durable (ODD) des Nations Unies (ONU) à l'horizon 2030 appellent à la restauration des écosystèmes marins et côtiers (objectif 14) et des écosystèmes terrestres (objectif 15) qui ont été dégradés pour « préserver et restaurer les écosystèmes terrestres, en veillant à les exploiter de façon durable, gérer durablement les forêts, lutter contre la désertification, enrayer et inverser le processus de dégradation

1 — Les termes en gras sont définis dans le Glossaire (Section 5).

des sols et mettre fin à l'appauvrissement de la biodiversité ». La Convention sur la diversité biologique (2016) appelle à « la restauration des écosystèmes naturels et semi-naturels dégradés, y compris en milieu urbain, comme contribution pour inverser l'appauvrissement de la biodiversité, retrouver la connectivité, renforcer la résilience des écosystèmes, améliorer l'approvisionnement des services écosystémiques, atténuer les effets du changement climatique et s'adapter à celui-ci, lutter contre la désertification et la dégradation des terres, et améliorer le bien-être humain tout en réduisant les risques environnementaux et les pénuries de ressources ». Par ailleurs, l'Assemblée générale des Nations Unies a proclamé 2021-2030 la « Décennie pour la restauration des écosystèmes ». Dans bon nombre de ces initiatives et accords, le concept de la restauration est très vaste et comprend plusieurs approches pour **la gestion des écosystèmes et les solutions fondées sur la nature**, lesquelles sont toutes de grande valeur. Les Normes traitent de la relation entre la restauration écologique et les autres approches de gestion des écosystèmes et de solutions fondées sur la nature, et clarifient le rôle spécifique de la restauration écologique pour contribuer aux objectifs de conservation de la biodiversité et d'amélioration du bien-être humain dans le monde entier.

LE BESOIN DE PRINCIPES ET DE NORMES

La réparation des écosystèmes dégradés est une tâche complexe nécessitant beaucoup de temps, de ressources et de connaissances. La restauration écologique contribue de manière considérable à la protection de la biodiversité et du bien-être humain, mais de nombreux projets et programmes de restauration, aussi bien intentionnés soient-ils, n'ont pas atteint leurs objectifs. Les Normes reconnaissent qu'un design approprié ; qu'une bonne planification et mise en œuvre ; que des connaissances, compétences, efforts et ressources suffisants ; qu'une

compréhension de la spécificité des contextes et risques sociaux ; qu'une implication appropriée des parties prenantes ; et qu'un suivi adéquat pour une gestion adaptative contribueront à une amélioration des résultats. L'application de principes et de normes peut accroître l'efficacité des efforts exercés par la restauration écologique en établissant des critères de mise en œuvre technique pour différents types d'écosystèmes. Ils fournissent également un cadre qui implique les parties prenantes et qui respecte les réalités et les besoins socioculturels, pouvant être appliqués à la fois à la restauration obligatoire (c'est-à-dire requise dans le cadre de conditions contractuelles) et non obligatoire (à savoir la réparation volontaire de dommages). Ces critères peuvent améliorer les résultats de la restauration écologique, qu'ils soient utilisés pour guider les agences, les entreprises ou les individus engagés dans la planification, la mise en œuvre et le suivi ; guider les régulateurs dans l'élaboration d'accords de restauration obligatoire et évaluer si ces accords ont été respectés ; ou pour guider les décideurs dans le design, le soutien, le financement et l'évaluation des projets de restauration à toute échelle. Ainsi, l'utilisation de principes et de normes clairs et soigneusement réfléchis étayant la restauration écologique peut réduire le risque de dommage involontaire aux écosystèmes et à la biodiversité indigène, et peut aider au développement de projets et de programmes de haute qualité pouvant faire l'objet d'un suivi et d'une évaluation.

CONTEXTE

Ce document complète et rejoint la collection des documents fondateurs de la SER, dont « L'ABCdaire sur la restauration écologique de la SER internationale » (SER 2004), « *Guidelines for Developing and Managing Restoration Projects* » (Clewell *et al.* 2005), « *Ecological Restoration—a Means of Conserving Biodiversity and Sustaining Livelihoods* » (Gann & Lamb 2006), et « La restauration écologique pour les aires protégées : principes,

lignes directrices et bonnes pratiques » (Keenleyside et al. 2012). Il utilise également « Code of Ethics » (SER 2013) de la SER et s'appuie spécifiquement sur le matériel et les modèles des deux éditions des « National Standards for the Practice of Ecological Restoration in Australia » (McDonald et al. 2016a ; McDonald et al. 2018).



Chapitre SER Ontario, Canada.
Photo prise par Nigel Finney

Plusieurs livres ont joué un rôle prépondérant notamment « *Restoration Ecology : The New Frontier* » (Van Andel & Aronson 2012), « La restauration écologique : principes, valeurs et structure d'une profession émergente » (Clewel & Aronson 2013), « *Foundations of Restoration Ecology* » (Palmer et al. 2016), « *Routledge Handbook of Ecological and Environmental Restoration* » (Allison & Murphy 2017), et « *Management of Ecological Rehabilitation Projects* » (Liu & Clewell 2017). Nous avons tiré du contenu de l'éditorial « *Ecosystem Restoration is Now a Global Priority* » (Aronson & Alexander 2013), ainsi que des documents législatifs « Restauration des écosystèmes : plan d'action à court terme » (Convention sur la diversité

biologique 2016), « *Partnering with Nature : The Case for Natural Regeneration in Forest and Landscape Restoration* » (Chazdon et al. 2017), et « Restauration des paysages forestiers : la clé d'un avenir durable » du Partenariat mondial pour la restauration des paysages forestiers (GPFLR ; Besseau et al. 2018). Les travaux publiés dans la revue

Restoration Ecology de la SER, dans la série de livres *The Science and Practice of Ecological Restoration* (Island Press), et au sein de la *Restoration Resource Center*, ainsi que nombre d'autres documents ont façonné le développement de cette édition. Alors que les Sections 1 à 3 sont pour la plupart exemptes de références pour des raisons de brièveté, la Section 4 (Bonnes pratiques), l'Annexe 1 et le **Supplément S1** contiennent quant à eux des citations.

QU'Y A-T-IL DE NOUVEAU DANS CETTE VERSION ?

Pour mieux répondre aux divers rôles que jouent les individus dans la restauration et comment les objectifs des groupes indigènes s'intègrent dans l'ensemble de la restauration écologique, nous avons réorganisé les Principes pour mieux intégrer les facteurs socio-économiques et culturels qui peuvent grandement affecter les résultats de la restauration. Le Principe 1 s'étend sur les objectifs sociaux et comprend un outil intitulé « Roue des avantages sociaux » (*Social Benefits Wheel*) pour aider à transmettre les cibles et les objectifs sociaux d'un projet. Les Principes et les Concepts clés ont été fusionnés en une seule section portant sur les Principes. Une compilation des documents his-

toriques ayant servi à synthétiser les Principes est fournie dans le **Supplément S1**. L'expansion de la restauration écologique ainsi que le lien entre celle-ci et les activités associées inclus dans la Section 4 de la première édition sont incorporés dans les Principes 7 et 8 de cette version. Les thèmes clés liés aux modèles de référence et aux approches de restauration sont inclus dans une nouvelle section intitulée « Bonnes pratiques » (Section 4), qui aborde également l'intégration de la restauration écologique au sein des initiatives mondiales de restauration. Nous avons ajouté une annexe technique sur l'approvisionnement en graines et autres propagules pour la restauration.

DÉFINITIONS ET TERMES CLÉS

La SER définit la **restauration écologique** comme un procédé qui accompagne le rétablissement d'un écosystème dégradé, endommagé ou détruit. Elle se distingue de l'**écologie de la restauration**, la science qui soutient la pratique de la restauration écologique, et d'autres formes de réparation de l'environnement en ce qu'elle cherche à aider le rétablissement des écosystèmes indigènes et de l'**intégrité écosystémique**. La restauration écologique vise à diriger un écosystème dégradé vers une trajectoire de rétablissement qui permet l'adaptation aux changements locaux et mondiaux, ainsi que la persistance et l'évolution des espèces qui le composent.

La restauration écologique est habituellement utilisée pour décrire à la fois le procédé et le résultat recherché pour un écosystème, mais les Normes réservent le terme **restauration** à l'activité entreprise et **rétablissement** au résultat recherché ou atteint. Les Normes définissent la restauration écologique comme toute **activité** ayant pour objectif de réaliser un rétablissement notable de l'écosystème par rapport à un **modèle de référence** approprié, quel que soit le temps nécessaire pour réaliser ce rétablissement. Les **modèles**

de référence utilisés pour les projets de restauration écologique s'appuient sur les **écosystèmes indigènes**, y compris de nombreux **écosystèmes culturels traditionnels** (voir Principe 3).

Les projets ou programmes de restauration écologique comprennent une ou plusieurs **cibles** qui identifient l'écosystème indigène à restaurer (selon le modèle de référence) ainsi que des objectifs de projet qui établissent le niveau de rétablissement recherché. Un **rétablissement complet** est défini comme l'état ou la condition selon laquelle, à la suite de la restauration, tous les **attributs écosystémiques clés** correspondent étroitement à ceux du modèle de référence. Ces attributs comprennent l'absence de menaces, la composition spécifique, la structure communautaire, les conditions physiques, les fonctions écosystémiques, et les échanges externes. Lorsqu'un niveau de rétablissement inférieur est prévu ou se produit en raison de contraintes de ressource, techniques, environnementales ou sociales, le rétablissement est appelé **rétablissement partiel**. Un programme ou un **projet de restauration écologique** devrait aspirer à une **restauration substantielle** du biote indigène et des fonctions écosystémiques (contrairement au terme **réhabilitation** ci-dessous). Lorsque l'objectif est un rétablissement complet, un repère important est lorsque l'écosystème fait preuve d'**auto-organisation**. À ce stade, si des **obstacles** inattendus ou l'absence d'une espèce ou d'un processus particulier déroutent le cours du rétablissement, des mesures de restauration supplémentaires peuvent être nécessaires pour garantir que la trajectoire se poursuive en définitive vers un rétablissement complet. Une fois l'écosystème entièrement rétabli, toutes les activités se poursuivant (comme la maintenance **des régimes de perturbation** par exemple) seraient considérées comme gestion ou **maintenance de l'écosystème**. Des activités spécifiques, telles que le brûlage dirigé ou la lutte contre les espèces envahissantes, peuvent être

utilisées à la fois en phase de restauration et en phase d'entretien d'un projet.

L'objectif des projets de **réhabilitation** n'est pas le rétablissement des écosystèmes indigènes, mais plutôt le rétablissement d'un niveau de fonctionnalité écosystémique pour un approvisionnement renouvelé et continu de services écosystémiques, qui peuvent aussi éventuellement provenir d'écosystèmes non-indigènes. La réhabilitation est l'une des nombreuses **activités restauratrices** alignées sur un continuum qui comprend la restauration écologique et ses activités associées et complémentaires, contribuant toutes à améliorer l'**intégrité écosystémique** et la **résilience socio-écologique** (voir Principe 8).

HYPOTHÈSES SOUS-JACENTES

Les Normes sont étayées par certaines hypothèses concernant le rôle de la restauration écologique. Tout d'abord, la restauration de la plupart des écosystèmes indigènes est un processus difficile, et une restauration substantielle nécessite généralement de longues durées. Par conséquent, de nombreux projets de restauration écologique sont encore loin d'atteindre les niveaux de biodiversité, de fonctionnalité écosystémique, et de prestation de services comparables aux écosystèmes intacts. Ainsi, alors qu'une compensation peut être imposée à la suite de perte ou de dégradation de l'écosystème, **la potentialité d'un rétablissement écologique ne devrait jamais être invoquée pour justifier la destruction ou l'endommagement des écosys-**



*Sempre-viva Chuveirinho (Actinocephalus clausenianus) Chapada dos Veadeiros National Park, Goias, Brazil.
Droits d'auteur à Marcel Huijser*

tèmes indigènes existants, ou pour une utilisation non durable de ces écosystèmes. De même, toute éventualité de translocation d'espèces rares ne devrait pas être utilisée pour justifier la destruction de l'habitat intact existant. Cependant, lorsque la compensation est imposée, le niveau de compensation doit être bien supérieur à la perte ou à la dégradation estimée de l'écosystème, et il faut veiller à ce que les compensations n'entraînent pas de dégradation supplémentaire.

Deuxièmement, les Normes clarifient l'utilisation d'un écosystème de référence indigène comme modèle pour l'écosystème en cours de restauration. Le modèle de référence, dérivé de multiples sources d'information, vise à caractériser l'état de l'écosystème tel qu'il serait s'il n'avait pas été dégradé, ajusté au besoin pour tenir compte des changements, ou prévision de changement, des conditions biotiques ou environnementales (comme le changement climatique, par exemple). Par ailleurs, les Normes indiquent clairement que les modèles de référence appropriés pour la restauration écologique ne sont pas basés sur l'immobilisation d'une communauté écologique à un moment donné dans le passé, mais plutôt sur l'accroissement du potentiel des communautés et espèces indigènes à se rétablir et de continuer à se rassembler, à s'adapter et à évoluer.

Pour terminer, la restauration écologique fait partie d'un ensemble plus large de pratiques de gestion des écosystèmes conçues pour conserver et, le cas échéant, utiliser les écosystèmes indigènes de façon durable. Ces pratiques vont de l'agriculture, la pêche, et la foresterie régénératives jusqu'à l'ingénierie écologique, y compris celles invoquées dans la Convention sur la diversité biologique, dans les Objectifs de développement durable des Nations Unies à l'horizon 2030 et dans les projets de Restauration des paysages forestiers (RPF), ainsi que dans une multitude de programmes locaux et régionaux. En tant que telle, la restauration écologique com-

plète d'autres activités de conservation et solutions fondées sur la nature et vice versa.

SECTION 2 – HUIT PRINCIPES QUI ÉTAYENT LA RESTAURATION ÉCOLOGIQUE

Les Principes suivants fournissent un cadre permettant d'expliquer, de définir, de guider et de mesurer les activités et les résultats ressortissants de la pratique de la restauration écologique (Figure 1). Ils représentent un condensé des principes et concepts présentés dans les documents fondateurs de la SER, dans la littérature scientifique et issus de l'expérience des praticiens ([Supplément S1](#)).



Figure 1. 8 principes pour la restauration écologique. Chaque principe est entièrement développé dans le document ; (1) Engage les parties prenantes ; (2) S'appuie sur plusieurs types de connaissances ; (3) Est guidée par des écosystèmes de référence indigènes, tout en tenant compte des changements environnementaux ; (4) Soutient les processus de régénération naturelle ; (5) Est évaluée par rapport à des buts et objectifs clairs à l'aide d'indicateurs mesurables ; (6) Vise le plus haut niveau possible de rétablissement ; (7) Gagne de la valeur cumulative lorsqu'elle est appliquée à grande échelle ; (8) Fait partie d'un continuum d'activités restauratrices.

PRINCIPE 1.

LA RESTAURATION ÉCOLOGIQUE ENGAGE LES PARTIES PRENANTES



La restauration écologique est entreprise pour de nombreuses raisons, notamment pour rétablir **l'intégrité écosystémique** et pour satisfaire des valeurs personnelles, culturelles, socio-économiques et écologiques. Cette combinaison de bénéfices écologiques et sociaux peut conduire à une **résilience socio-écologique** améliorée. La qualité de vie de l'Homme s'accroît suite à un engagement plus proche et réciproque avec la nature. Participer à des projets de restauration peut être transformateur, par exemple, lorsque les enfants impliqués dans des projets de restauration développent une appartenance personnelle avec les sites de restauration, ou lorsque des bénévoles d'une communauté recherchent de nouvelles vocations ou de nouveaux parcours professionnels dans la pratique de la restauration ou dans son aspect scientifique. Les communautés situées à l'intérieur ou en proximité d'écosystèmes dégradés peuvent bénéficier d'avantages liés, entre autres, au domaine de la santé à la suite d'une restauration qui améliore la qualité de l'air, des sols, de l'eau et des habitats des espèces indigènes. Les peuples indigènes et les communautés locales (rurales et urbaines) bénéficient d'une meilleure qualité de vie quand la restauration renforce les cultures, les pratiques et les moyens de subsistance basés sur la nature (par exemple, la pêche de subsistance, la chasse et la cueillette). En outre, la restauration peut offrir des opportunités d'emploi à court et à long terme aux **parties prenantes** locales, créant des boucles de rétroaction écologiques et économiques positives.

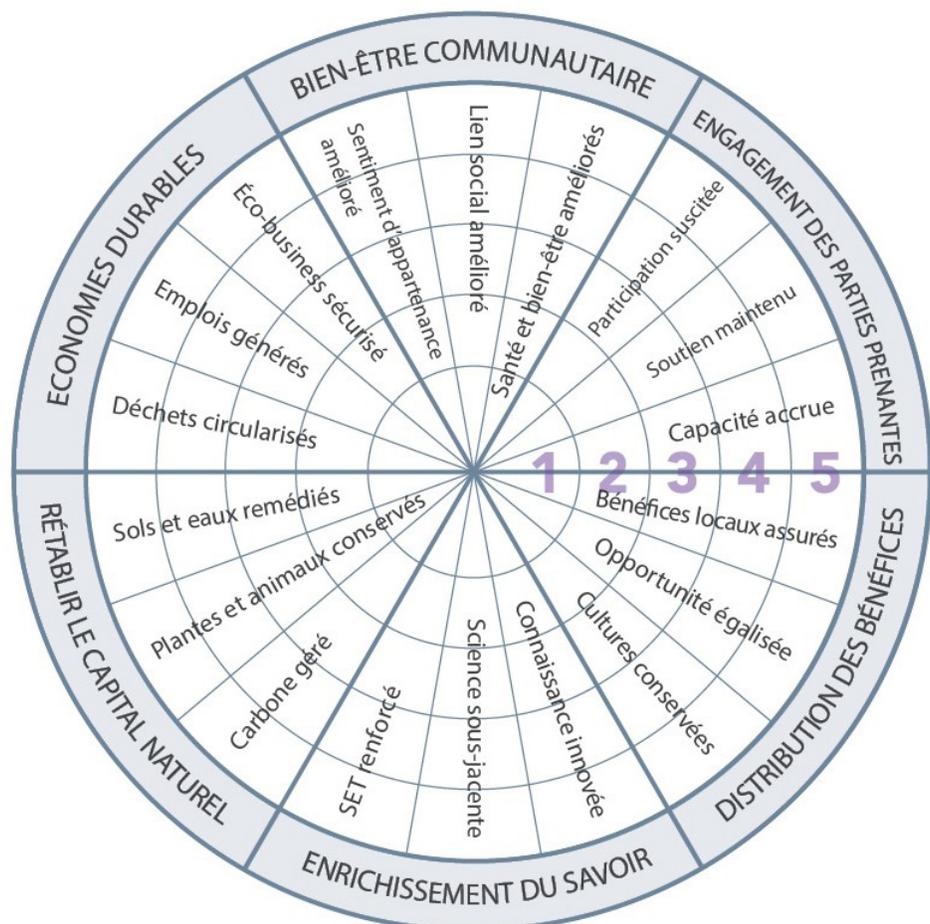
Les parties prenantes peuvent faire ou défaire un projet. Reconnaître les attentes et les intérêts des parties prenantes ainsi que les impliquer directement est essentiel pour garantir que la nature et la société tirent des bénéfices mutuels. Les parties prenantes peuvent aider à hiérarchiser la distribution des actions de restauration à travers le paysage, à fixer des objectifs de projet (y compris le niveau de rétablissement souhaité), à apporter des connaissances sur les conditions écologiques et les modèles de succession afin d'améliorer le développement de modèles de référence, ainsi que s'engager dans un **suivi participatif**. De plus, les parties prenantes peuvent fournir un soutien politique et financier pour la durabilité à long terme du projet, ainsi que modérer les conflits ou désaccords qui peuvent survenir. La reconnaissance des diverses formes de propriété et de gestion du régime foncier (gouvernementales, privées, communautaires), ainsi que celles relatives à l'organisation sociale, est essentielle pour atteindre ces objectifs. Les chefs de projets de restauration doivent donc s'engager véritablement et activement avec ceux qui vivent ou qui travaillent à l'intérieur ou à proximité des sites de restauration, et avec ceux qui ont un intérêt lié aux valeurs écologiques et au **capital naturel** du projet (dont les services écosystémiques). Idéalement, cet engagement devrait naître pendant la phase conceptuelle du projet ou bien avant son lancement, afin que les parties prenantes puissent contribuer à définir la vision, les cibles, les buts, les objectifs et les méthodes de mise en œuvre et de suivi. L'engagement devrait se poursuivre tout au long du projet pour aider à

répondre aux attentes sociales, à renforcer les capacités et le sentiment d'appartenance, et à maintenir le soutien et les contributions. Le renforcement collaboratif du dialogue et de la confiance entre toutes les parties prenantes favorise le respect de différents points de vue et de types de connaissances, et maintient l'intérêt et l'engagement à travers toutes les phases du projet. Une telle collaboration peut conduire à des prises de décision locales plus rapides et efficaces, notamment lorsque des approches de suivi participatif ou collaboratif sont mises en œuvre.

Développer des plans de restauration en collaboration avec les communautés locales, dont les peuples indigènes, les associations à but non lucratif de la société civile et la science participative, peut augmenter l'implication communautaire dans la restauration. Les jeunes et les femmes, notamment dans les communautés défavorisées, peuvent devenir de

Figure 2.

Exemple d'une Roue des avantages sociaux pour aider au suivi du degré auquel un projet ou programme de restauration écologique atteint ses cibles et buts de développement social. Cet exemple, ainsi que le Tableau 1, peuvent être adaptés pour répondre aux cibles et aux buts spécifiques de tout projet ou programme de restauration écologique. Cet exemple complète la Roue de rétablissement écologique, introduite dans le Principe 6, utilisée pour évaluer la progression du rétablissement écologique par rapport au modèle de référence du projet. Pour garder une symétrie au niveau du design, six attributs et trois sous-attributs sont utilisés dans cet exemple, mais leur nombre peut varier selon le projet.



puissants ambassadeurs. Un tel engagement communautaire peut apporter des éléments de justice sociale et d'écologie humaine à un projet et peut aider à mobiliser des fonds.

Les objectifs de **bien-être** social et humain, y compris ceux qui rétablissent ou renforcent les services écosystémiques, doivent être identifiés parallèlement aux objectifs écologiques pendant la phase de planification d'un projet de restauration (voir Principe 5, Principe 7, et Section 4 partie 3). Des lignes directrices pour l'identification d'objectifs appropriés permettant une amélioration des résultats sociaux et environnementaux au sein des systèmes socio-écologiques sont expliquées dans une série de documents (tels que Lynam *et al.* 2007 ; Keenleyside *et al.* 2012 ; REDD+ SES 2012 ; *Conservation Measures Partnership* 2013). Des exemples de modèles permettant de communiquer la progression envers les objectifs sociaux sont détaillés dans la Figure 2 et dans le Tableau 1. Ces modèles peuvent être adaptés pour répondre aux objectifs sociaux de n'importe quel projet.

Tableau 1.

Échantillon d'un système social à cinq étoiles pour évaluer la progression des objectifs sociaux dans un projet ou programme de restauration. Les objectifs sociaux seront nombreux et variés. Tous les éléments de ce tableau ne seront pas forcément pertinents pour tous les projets. La Roue des avantages sociaux peut être appliquée aux projets de petite ou grande échelle, l'échelle étant utilisée comme multiplicateur des résultats, plutôt que d'être elle-même un attribut.

ATTRIBUTS	★	★★	★★★	★★★★	★★★★★
Engagement des parties prenantes	Les parties prenantes ont été identifiées et informées du projet et de sa justification. Une stratégie de communication continue a été préparée.	Les principales parties prenantes soutiennent et participent à la phase de planification du projet.	Le nombre, le soutien et l'implication des parties prenantes s'accroissent au début de la phase de mise en œuvre.	Le nombre, le soutien et l'implication des parties prenantes se consolident tout au long de la phase de mise en œuvre.	Le nombre, le soutien et l'implication des parties prenantes sont optimaux, et des accords d'autogestion et de succession sont en place.
Distribution des bénéfices	Les avantages pour les communautés locales ont été négociés, garantissant l'égalité des chances et un renforcement des relations culturelles traditionnelles au site.	Les avantages pour les communautés locales commencent à voir le jour et l'égalité des chances est maintenue. Les éléments culturels traditionnels sont intégrés, le cas échéant, dans la planification du projet.	Les avantages pour les locaux atteignent un niveau intermédiaire et l'égalité des chances est maintenue. Tout élément culturel traditionnel est bien sécurisé dans la mise en œuvre du projet.	Les avantages pour les locaux atteignent un niveau élevé et l'égalité des chances est maintenue. Tous les éléments culturels traditionnels sont substantiellement intégrés, augmentant des perspectives de réconciliation.	Les avantages pour les habitants et l'égalité des chances sont très élevés, avec une intégration optimale de tous les éléments culturels traditionnels, contribuant substantiellement à la réconciliation et la justice sociale.
Economies durables	Des modèles d'entreprises et d'emplois durables (applicables au projet ou aux entreprises annexes) sont prévus.	Les modèles d'entreprises et d'emplois durables prennent forme.	Les modèles d'entreprises et d'emplois durables sont en période d'essai.	Les essais de modèles d'entreprises et d'emplois durables se montrent prospères.	Les essais de modèles d'entreprises et d'emplois durables démontrent un fort niveau de réussite.

Tableau 1. (suite)

Échantillon d'un système social à cinq étoiles pour évaluer la progression des objectifs sociaux dans un projet ou programme de restauration. Les objectifs sociaux seront nombreux et variés. Tous les éléments de ce tableau ne seront pas forcément pertinents pour tous les projets. La Roue des avantages sociaux peut être appliquée aux projets de petite ou grande échelle, l'échelle étant utilisée comme multiplicateur des résultats, plutôt que d'être elle-même un attribut.

ATTRIBUTS	★	★★	★★★	★★★★	★★★★★
Enrichissement du savoir	Des sources pertinentes de connaissances existantes sont identifiées et des mécanismes pour générer de nouvelles connaissances ont été sélectionnés.	Les sources pertinentes de connaissances existantes (et le potentiel de nouvelles connaissances) éclairent la planification du projet et le design du suivi.	La phase de mise en œuvre utilise toutes connaissances pertinentes, tous retours des parties prenantes ainsi que les premiers résultats du projet.	La mise en œuvre est enrichie de toutes les connaissances pertinentes ainsi que des essais-erreurs découlant du projet lui-même. Les résultats sont analysés et rapportés.	La mise en œuvre est enrichie par toutes les connaissances pertinentes, et les résultats du projet se sont largement diffusés, y compris à d'autres avec des projets similaires.
Capital naturel	Des systèmes de gestion des terres et des masses d'eau pour réduire la surexploitation et pour restaurer et conserver le capital naturel sont mis en place sur le site.	Les systèmes de gestion des terres et des masses d'eau entraînent un léger niveau de rétablissement et de conservation du capital naturel du site.	Les systèmes de gestion des terres et des masses d'eau entraînent un niveau intermédiaire de rétablissement et de conservation du capital naturel (y compris une amélioration du bilan carbone).	Les systèmes de gestion des terres et des masses d'eau entraînent un niveau élevé de rétablissement et de conservation du capital naturel (y compris un statut neutre en carbone).	Les systèmes de gestion des terres et des masses d'eau entraînent un niveau très élevé de rétablissement et de conservation du capital naturel (y compris un statut positif en carbone).
Bien-être communautaire	Les principaux participants se sont identifiés comme gardiens, avec une amélioration probable des liens sociaux et du sentiment d'appartenance.	Tous les participants identifient et bénéficient d'une amélioration probable des liens sociaux et du sentiment d'appartenance.	De nombreuses parties prenantes bénéficient d'une amélioration probable des liens sociaux, du sentiment d'appartenance et d'un retour des services écosystémiques, y compris les loisirs.	La plupart des parties prenantes bénéficient d'un accroissement probable du lien social, du sentiment d'appartenance et d'un retour des services écosystémiques, y compris les loisirs.	Reconnaissance publique que le site a bénéficié de la participation locale et d'un retour des services écosystémiques, y compris les loisirs.

PRINCIPE 2.

LA RESTAURATION ÉCOLOGIQUE S'APPUIE SUR PLUSIEURS TYPES DE CONNAISSANCES



La pratique de la restauration écologique demande un niveau élevé en connaissances écologiques qui peut être tiré de l'expérience des **praticiens**, des **Savoirs écologiques traditionnels (SET)**, des **Savoirs Locaux** (Encadré 1) et des **découvertes scientifiques**. Ces formes de connaissances proviennent de l'observation, de l'expérimentation et des essais-erreurs, qu'ils soient formels ou informels. Les meilleures connaissances disponibles devraient éclairer le design et la mise en œuvre de la restauration écologique, et contribuer à une **gestion adaptative** (Principe 5), selon laquelle les résultats des traitements de restauration peuvent indiquer la nécessité de modifier les approches de gestion.

Les connaissances des praticiens sont dérivées de l'expérience dans la réparation des écosystèmes et d'informations provenant d'un éventail de disci-

plines (notamment l'écologie de la restauration, l'agronomie et la production de semences, la foresterie, l'horticulture, la botanique, les sciences de la faune, la zoologie, l'hydrologie, la pédologie, l'ingénierie, l'aménagement paysager, la biologie de la conservation et la gestion des ressources naturelles). Par ailleurs, les experts en Savoir Local et SET, qui sont généralement membres d'une communauté locale, peuvent fournir des informations approfondies et détaillées concernant les sites et les écosystèmes, tirées de leurs relations et connexions sur le long terme avec ces sites. Lorsqu'elles sont intégrées dans des projets de restauration, ces multiples formes de connaissances offrent des opportunités d'améliorer les résultats de la restauration pour des bénéfices écologiques, sociaux et culturels.



Graphic Harvesting Board à la Conférence 2018 du Chapitre SER Nord-Ouest à Spokane, WA, U.S.A.
Dessin par Samara Group (Katelyn Hale, Olivia Guethling)

Encadré 1

LE SAVOIR ÉCOLOGIQUE TRADITIONNEL (SET) ET SON INTÉRÊT POUR LA RESTAURATION ÉCOLOGIQUE

Le Savoir écologique traditionnel (SET) est défini comme les connaissances et les pratiques transmises de génération en génération et qui sont guidées par de forts souvenirs culturels, par une sensibilité au changement et par des valeurs qui incluent la réciprocité. Des exemples de SET d'entretien des terres comprennent l'utilisation de brûlages dirigés et d'inondations saisonnières pour modifier la végétation, et la conservation des espèces-ingénieurs (telles que les castors et les éléphants) ou des prédateurs apex (comme les loups et les lions) pour améliorer l'habitat d'autres espèces et, ensuite, les ressources alimentaires pour les hommes. Ces processus fonctionnent en accord avec la plage de variabilité naturelle d'un écosystème. Les peuples indigènes ont utilisé ces pratiques au cours de millénaires pour augmenter la productivité écosystémique en nourriture, en matières premières pour les médicaments et pour des objets de cérémonie. Le SET implique la réciprocité – le partage et la retenue soutenus par des croyances spirituelles qui considèrent que les plantes et les animaux sont reliés à la famille humaine. Les pratiques SET augmentent la biodiversité et améliorent la résilience écologique en créant des mosaïques de paysages complexes. Les observations SET sont qualitatives et basées sur le long terme. Les observateurs sont souvent des personnes engagées dans des pratiques de subsistance telles que la chasse, la pêche et la cueillette. Leur survie est liée à la santé de la terre. Plus important encore, le SET est indissociable du tissu spirituel et social d'une culture. Dans la philosophie du monde indigène, il faut tout ce que signifie être un Homme - corps, pensée, cœur et esprit - pour comprendre quelque chose d'un point de vue écologique. Par conséquent, le SET offre d'importantes perspectives écologiques, mais également un réseau de connaissances comprenant des valeurs qui peuvent aider à restaurer les écosystèmes.

Les Savoirs Locaux sont définis comme des connaissances locales et territoriales du paysage, et des processus appliqués par l'Homme pour créer des terres plus productives et des écosystèmes plus sains, pour augmenter la biodiversité et améliorer la résilience écologique. Les Savoirs Locaux prévalent dans les endroits où les peuples indigènes ne sont pas présents et où la connaissance des pratiques indigènes a été perdue. Largement répandus en Europe, par exemple, les Savoirs Locaux comprennent l'agriculture préindustrielle, la gestion de l'eau et les pratiques de chasse de subsistance. Dans certains endroits, les Savoirs Locaux et les SET peuvent fonctionner ensemble, bien qu'ils puissent provenir de paradigmes culturels différents.

En incorporant les SET ou les Savoirs Locaux dans la restauration écologique, les praticiens peuvent rapidement identifier et évaluer les espèces ainsi que leur pertinence, les processus et stades de succession et les interactions des espèces clés. De plus, les SET et les Savoirs Locaux peuvent aider à définir des écosystèmes de référence indigènes et catalyser la restauration en permettant l'application de pratiques culturelles telles que le brûlage dirigé, le pâturage en rotation et la gestion de l'eau. Les stratégies de restauration qui intègrent la science formelle, les SET et les Savoirs Locaux peuvent être particulièrement efficaces pour réparer les écosystèmes dégradés.

Les connaissances scientifiques sont générées par le processus de mesure systématique et de test d'hypothèses. Les connaissances scientifiques propres à la restauration proviennent de la recherche, fondamentale et appliquée, portée sur un large éventail de disciplines allant de l'économie aux sciences sociales, physiques et biologiques, y compris les sous-disciplines de l'écologie de la restauration, de la biologie de la conservation, de la génétique de la conservation et de l'écologie du paysage. Bien que ces connaissances fournissent des informations essentielles au design et à la mise en œuvre de projets de restauration écologique, il existe des lacunes importantes dans la compréhension de l'efficacité (la mesure dans laquelle les buts et objectifs sont atteints) et des effets (réponses biotiques et abiotiques aux traitements de gestion) de nombreuses activités de restauration, dans les réponses écologiques au changement climatique et dans le renforcement de **la préparation au changement climatique** (voir également le Principe 3 et l'Annexe 1). La recherche scientifique peut contribuer à combler ces lacunes. De plus, les évaluations scientifiques des pratiques en restauration écologique peuvent aborder des questions écologiques essentielles, telles que la façon dont les écosystèmes s'assemblent et fonctionnent, ainsi que des questions socio-écologiques. La génération de nouvelles connaissances scientifiques n'est peut-être pas nécessaire ou réaliste pour chaque projet de restauration écologique, mais doit toujours être envisagée, en particulier lorsque l'on sait peu de choses sur l'efficacité du traitement ou lorsque les interventions de restauration sont extrêmes ou très risquées (par exemple, la reconstruction d'un écosystème après exploitation minière).

Les collaborations praticien(s)-chercheur(s) peuvent rehausser les efforts scientifiques en permettant des designs expérimentaux efficaces et une meilleure capacité à faire des déductions à partir d'estimations. Ces recherches peuvent stimuler l'innovation

et fournir des orientations supplémentaires pour la gestion. Des recherches ciblées peuvent aider les praticiens à surmonter des problèmes autrement insolubles (par exemple, des conditions de substrat difficiles, de faibles taux de reproduction, et un approvisionnement et une qualité inadéquats de matériel génétique ; voir l'Annexe 1). Par ailleurs, les résultats peuvent être partagés et permettre de réduire les coûts d'autres projets. Les praticiens et les experts en Savoir Local peuvent jouer un rôle important dans les projets de recherche à grande échelle en donnant accès aux projets, en identifiant les blocages de capacité et les lacunes d'information, et en apportant une expertise logistique.

Le partage des connaissances pratiques et scientifiques est essentiel pour une mise en œuvre efficiente et effective de la restauration, ainsi qu'à sa réalisation à grande échelle. Une démarche importante pour faire progresser la science et la pratique de la restauration écologique à grande échelle est de développer et de promouvoir la coopération bilatérale et multilatérale entre et au sein des pays (voir également la Section 4 partie 3). Le partage d'expériences et d'expertise, le cofinancement et le codéveloppement de nouvelles connaissances pour des politiques et des pratiques plus efficaces devraient être encouragés entre les régions, et la **coopération Sud-Sud** est particulièrement importante pour le partage de connaissances dans les pays en voie de développement et les pays nouvellement industrialisés.

La disponibilité des données scientifiques portant sur l'efficacité et les effets des traitements de restauration doit être déterminée au stade de la proposition de projet. Lorsque des problèmes techniques surviennent lors d'un projet de **restauration obligatoire**, des recherches ciblées devraient être entreprises pour identifier des interventions de restauration alternatives dans des délais raisonnables. Si de telles recherches ne parvenaient toujours

pas à fournir des solutions, des approches alternatives devraient être envisagées pour satisfaire aux exigences légales.

Une absence de progrès vis-à-vis des objectifs de restauration ne signifie pas que la restauration n'est pas réalisable techniquement, matériellement ou économiquement à l'avenir. Un manque de connaissances et de compétences techniques peut être surmonté grâce à une gestion adaptative, liée à un suivi ciblé et axé sur les résultats. Cependant, dans le cas de la restauration obligatoire (dans le secteur minier, par exemple), les connaissances et les capacités doivent être acquises avant le projet pour garantir que les obligations légales pourront être respectées.

PRINCIPE 3.

LA PRATIQUE DE LA RESTAURATION ÉCOLOGIQUE EST GUIDÉE PAR DES ÉCOSYSTÈMES DE RÉFÉRENCE INDIGÈNES, TOUT EN TENANT COMPTE DES CHANGEMENTS ENVIRONNEMENTAUX



La restauration écologique nécessite l'identification de l'**écosystème indigène** à restaurer ainsi que l'élaboration de **modèles de référence** pour la planification et la communication d'une vision commune sur les **cibles** et les objectifs du projet. Les modèles de référence doivent être basés sur des écosystèmes spécifiques qui sont la cible des travaux de conservation et de restauration (par exemple, forêt boréale, marais d'eau douce, récif corallien). De manière optimale, le modèle de référence décrit la condition approximative dans laquelle le site se trouverait si aucune dégradation ne s'était produite. Cette condition n'est pas nécessairement la même que celle de l'état historique, compte tenu de la capacité inhérente des écosystèmes à changer en réponse aux évolutions environnementales. Dans certains cas, les impacts des changements environnementaux rapides et la capacité d'adaptation à ces derniers peuvent justifier l'étude de modèles ajustés ou alternatifs (voir également les Encadrés 2 et 3 et la Section 4 partie 1).

Les modèles de référence sont développés à l'aide de plusieurs sources d'information. La bonne pratique consiste à développer des modèles empiriques basés sur des recherches d'attributs écosystémiques spécifiques obtenus à partir de plusieurs sites analogues actuels ou **sites de référence**. Ces sites sont similaires à celui du projet sur le plan environnemental et écologique, mais, idéalement, ont

enduré une dégradation faible ou minimale (cependant voir Encadré 4). Des informations sur les conditions passées et actuelles du site ainsi que la consultation des parties prenantes peuvent aider à développer des modèles de référence, surtout lorsque des sites de référence locaux non-dégradés ne sont pas disponibles. Ces informations sont généralement rassemblées pendant la phase d'évaluation ou **d'inventaire initial** du projet (Principe 5).

Les sites de référence peuvent être rares dans les régions avec peu d'aires protégées. Dans ce cas de figure, des sites précédemment endommagés qui ont eu des périodes variables de rétablissement naturel (comme de nouvelles aires protégées, des sites archéologiques, des sites militaires clôturés ou des zones démilitarisées) peuvent indiquer la trajectoire de rétablissement de l'écosystème à la suite d'un type de dommage déterminé. Il se peut que les conditions de référence doivent être déduites des parties les moins perturbées du site, et associée à des modèles de succession, à des données historiques et à des modèles de changements futurs.

Il est important de noter que les modèles de référence doivent être basés sur les attributs écosystémiques spécifiques à rétablir, et doivent tenir compte à la fois de la complexité écologique et des changements temporels (c'est-à-dire les dynamiques

de succession ou d'équilibre écosystémique ; voir la Section 4 partie 1 pour une précision sur ces concepts). Six **attributs écosystémiques clés** (Tableau 2) peuvent être utilisés pour décrire l'écosystème de référence. Conjointement, ces six attributs contribuent à l'intégrité d'ensemble de l'écosystème, qui découle des propriétés de diversité, de complexité et de résilience inhérentes aux écosystèmes indigènes fonctionnels. Compte tenu du large éventail de types d'écosystèmes pour lesquels une restauration écologique est nécessaire, ces catégories d'attributs sont de nature générale plutôt que normative.

Les modèles de référence ne doivent pas être utilisés pour figer un écosystème à un moment précis. Une propriété inhérente des écosystèmes est qu'ils changent au fil du temps en raison de facteurs

internes (tels qu'un basculement du taux de croissance d'une population) et externes (tels que des perturbations physiques). Les modèles de référence devraient être développés en mettant l'accent sur la compréhension de la dynamique temporelle afin de concevoir des designs de restauration réalisables et pertinents qui permettent aux espèces locales de se régénérer, de s'adapter, d'évoluer et de se reconstituer en assemblages.

Plusieurs modèles de référence peuvent être nécessaires pour un projet de restauration. D'une part, les sites de projets à grande échelle ou ceux dont la topographie est variée sont susceptibles d'inclure une mosaïque d'écosystèmes et leurs écotones. D'autre part, des références multiples ou séquentielles peuvent être nécessaires pour refléter les dynamiques écosystémiques ou les changements

Tableau 2.

Description des attributs écosystémiques clés utilisés pour caractériser l'écosystème de référence et évaluer l'état initial, pour fixer les objectifs du projet et pour suivre le degré de rétablissement d'un site de restauration. Ces attributs sont adaptés au suivi (Principe 5) et au système à cinq étoiles (Principe 6).

ATTRIBUT	DESCRIPTION
Absence de menaces	Les menaces directes pour l'écosystème telles que la surutilisation, la contamination ou les espèces envahissantes sont absentes.
Conditions physiques	Les conditions environnementales (y compris les conditions physiques et chimiques du sol et de l'eau, et la topographie) requises pour maintenir l'écosystème cible sont présentes.
Composition spécifique	Des espèces indigènes caractéristiques de l'écosystème de référence approprié sont présentes, tandis que les espèces indésirables sont absentes.
Diversité structurelle	Une diversité appropriée des principaux éléments structurels, y compris les stades démographiques, les niveaux trophiques, les strates de végétation et la diversité de l'habitat spatial, est présente.
Fonctions écosystémiques	Les niveaux de croissance et de productivité, de cycle des nutriments, de décomposition, d'interactions des espèces et de taux de perturbation sont appropriés.
Échanges externes	L'écosystème est intégré de manière appropriée dans son paysage d'ensemble ou dans son contexte aquatique par le biais de flux et d'échanges abiotiques et biotiques.

anticipés au fil du temps. Les sites localisés dans des écosystèmes en succession peuvent être dans leurs premières phases de développement successif immédiatement après traitement et avancer plus tard vers d'autres stades de succession. Pour les écosystèmes à équilibre dynamique complexe, plusieurs voies de succession peuvent exister et plusieurs modèles peuvent être nécessaires pour tenter de décrire les différents aboutissements possibles d'une restauration. De tels états alternatifs peuvent résulter de changements en densité des populations ou de facteurs environnementaux ou les deux en concomitance. Par ailleurs, les modèles de référence peuvent nécessiter un ajustement au fil du temps en fonction des résultats du suivi du projet.

LES ÉCOSYSTÈMES CULTURELS TRADITIONNELS

La plupart des écosystèmes dans le monde ont été façonnés par l'Homme, pour fournir de la nourriture, des fibres, des médicaments ou des objets d'importance culturelle (tels que des totems ou des outils à haute valeur spirituelle). Le concept d'**écosystèmes culturels traditionnels** reconnaît que les écosystèmes ne sont pas seulement des assemblages d'organismes, mais reflètent une coévolution des plantes, des animaux et des hommes en réponse aux conditions environnementales passées. La mesure dans laquelle les écosystèmes indigènes sont le résultat de modifications humaines est variable et souvent floue ; mais il est bien compris que des modifications importantes se sont produites et ont été maintenues par des pratiques traditionnelles qui sont similaires aux perturbations naturelles. Par exemple, l'existence de clairières que l'on trouve en forêt est souvent attribuée au brûlis par les peuples indigènes. Lorsque les écosystèmes des prairies gérés par l'Homme présentent des espèces et des caractéristiques biophysiques similaires à celles qui se produisent dans les savanes et les prairies entretenues par le feu naturel, ces zones utilisées

par l'Homme devraient être considérées comme des écosystèmes indigènes. Dans ces zones propices à une biodiversité indigène, les pratiques de gestion traditionnelle devraient être encouragées en tant qu'élément nécessaire pour l'intégrité écosystémique. D'ailleurs, dans certains écosystèmes, le manque de gestion traditionnelle (comme le manque de brûlis traditionnel, de pâturage, de récolte, de plantation, d'inondations saisonnières) entraîne une dégradation. De même, un bon nombre d'anciennes forêts de taillis européennes et de prairies de fauche oligotrophes riches en espèces, ainsi que d'autres écosystèmes anciens modifiés par l'Homme dans la région méditerranéenne et au Sahel sont des exemples d'écosystèmes indigènes et de modèles de référence appropriés pour la restauration écologique. Dans le contexte juridique de l'Union Européenne, ceux-ci sont appelés **écosystèmes semi-naturels** (et non pas écosystèmes culturels), et comprennent les prairies calcaires, les landes humides et sèches, les pâturages boisés, les pâturages saisonniers de montagne, les marais salés pâturés, les marais et les dehesas méditerranéens, et les étangs mésotrophes riches en poissons.

En raison d'antériorités socio-écologiques complexes parmi les écosystèmes culturels traditionnels, de multiples écosystèmes complémentaires peuvent fonctionner comme des références pour la restauration écologique. Dans certains cas, la cible de restauration peut être un stade de succession initial d'un écosystème, qui sera maintenu par une gestion traditionnelle. Les écosystèmes culturels anciens ou modernes qui sont composés principalement d'espèces non-indigènes, qui utilisent des intrants artificiels (tels que des engrais), ou qui sont structurellement ou fonctionnellement distincts des écosystèmes indigènes régionaux (par exemple, les jardins botaniques officiels) ne sont pas des modèles de référence appropriés pour la restauration écologique tels qu'ils sont définis ici.

Encadré 2

LES ÉCOSYSTÈMES DE RÉFÉRENCE ET LE CHANGEMENT CLIMATIQUE

Le changement continu du climat au cours des millénaires, des siècles et des décennies est une caractéristique importante de notre planète. Bien que cette tendance de changement environnemental soit constante, les changements climatiques d'origine anthropique ont accéléré le rythme des changements dans de nombreux écosystèmes à travers le monde entier. Alors que ces changements sont généralement reconnus comme indésirables et nécessitent une action urgente de la société, il est prévu que les effets anticipés sont susceptibles d'être irréversibles dans l'avenir. Cela signifie qu'en plus d'œuvrer pour l'amélioration du potentiel de la restauration et d'autres actions pour ralentir le changement climatique, ce dernier doit être reconnu comme partie intégrante des conditions environnementales actuelles auxquelles de nombreuses espèces devront s'adapter ou bien disparaîtront.

Le changement climatique nécessite l'établissement de cibles éclairées par la recherche en cours portant sur les effets connexes anticipés sur les espèces et les écosystèmes. Bien qu'il existe une incertitude, nous savons que le taux de renouvellement des espèces ainsi que le réassemblage des communautés en période de changement climatique entraîneront de grandes transformations d'écosystèmes entiers dans de nombreuses zones géographiques (notamment de nombreuses communautés marines, côtières, alpines et tempérées-fraîches), quoique les changements puissent être minimales dans certains écosystèmes climatiquement tamponnés. À mesure que le climat change, les **enveloppes climatiques** des espèces individuelles se déplaceront spatialement. Cela signifie que pour un écosystème donné, certaines espèces disparaîtront, tandis que d'autres survivront en raison de leur plasticité ou de leur capacité à s'adapter aux changements de conditions environnementales, et d'autres espèces apparaîtront.

La dégradation des sols, notamment la fragmentation, exacerbe les effets du changement climatique sur de nombreuses espèces et communautés écologiques, à la fois en isolant les populations, ce qui affecte négativement la diversité génétique ainsi que le potentiel d'adaptation, et en limitant les possibilités pour les espèces de se disperser ou de migrer vers des habitats au climat adapté. À ce titre, il existe un besoin de régimes d'interventions qui optimisent la diversité génétique et le potentiel d'adaptation des populations, qui empêchent la disparition des zones d'habitat actuelles et qui favorisent la migration vers de nouvelles zones. Les options incluent le maintien et le **rehaussement** des populations génétiquement diverses d'espèces florales et fauniques indigènes existantes, et la garantie que ces populations existent dans des configurations qui accroissent les liens et améliorent le **flux génétique**, le cas échéant, pour stimuler l'adaptabilité aux conditions modifiées. (Voir Annexe 1)

Encadré 3

QU'EN EST-IL DES CAS OÙ IL Y A EU DES CHANGEMENTS ENVIRONNEMENTAUX IRRÉVERSIBLES ?

Les chefs de projet peuvent adopter des écosystèmes indigènes alternatifs comme cibles pour les zones affectées par des changements environnementaux substantiels et irréversibles. La formation d'écosystèmes alternatifs serait prévisible en raison de changements de conditions. Les exemples de conversion comprennent des sites où : (1) l'hydrologie est passée irréversiblement de l'eau salée à l'eau douce (en raison de l'évolution des débits par exemple), de l'eau douce à l'eau salée (en raison de l'élévation du niveau de la mer notamment), ou de mésique à aride (en raison d'abaissement des nappes phréatiques ou d'assèchement complet des rivières ou des lacs) ; (2) les eaux pluviales ont produit des ruisseaux intermittents ; et (3) des nutriments ont été ajoutés aux sols et ne peuvent pas être éliminés sans efforts ou ressources extrêmes.

Décider quand un écosystème de référence alternatif est approprié dépend des conditions locales et de la notion d'irréversibilité, et nécessite un jugement écologique qualifié (Figure 3). Plus d'un écosystème de référence alternatif peut être approprié, comme dans les zones urbaines et les zones agricoles fortement modifiées, et une sélection rigoureuse est nécessaire pour correspondre à la situation socio-écologique locale. De plus, l'apparence d'un site peut ne pas être un indicateur fiable du potentiel de restauration. Dans de nombreux cas où la restauration était considérée comme impossible par certains, le rétablissement a été obtenu après l'application d'approches compétentes et instruites. Lorsque la potentialité de rétablissement est mise en doute, mais que le rétablissement est hautement souhaitable, une approche standard consiste à effectuer des tests sur une petite zone pendant une période suffisante pour en déterminer l'efficacité. Les tests sont mieux conçus lorsqu'une collaboration entre scientifiques et praticiens a lieu, et peuvent aider à guider le choix approprié d'écosystème servant de base pour développer le modèle de référence.

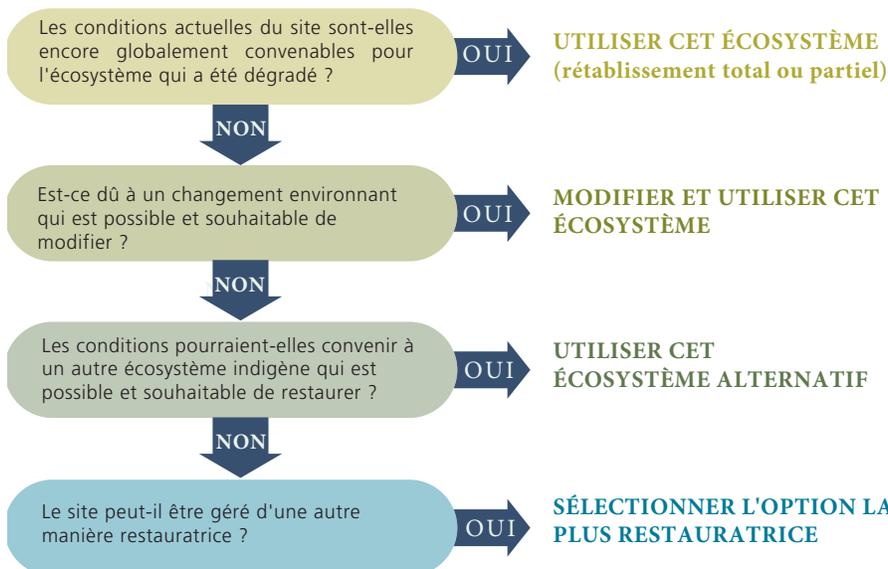


Figure 3. Arbre de décision pour guider la sélection des écosystèmes de référence indigènes appropriés pour les projets de restauration.

L'IMPORTANCE DE L'ÉTAT INITIAL

En restauration écologique, le terme 'état initial' est utilisé de deux manières très différentes. Dans les Normes, l'état initial fait référence à l'état d'un site avant sa restauration. Dans d'autres contextes, l'état initial décrit un écosystème avant sa dégradation (tel qu'utilisé par la Convention sur la diversité biologique). Cette dernière utilisation s'applique également au concept des déplacements des états initiaux (ou en déclin) qui montrent comment certains écosystèmes peuvent être plus dégradés qu'on ne le pensait auparavant, ou lorsque les observateurs actuels considèrent les écosystèmes comme non dégradés alors que les observateurs précédents les considéreraient comme dégradés. L'idée de déplacements des états initiaux a été particulièrement bien étudiée dans les écosystèmes marins et pour la pêche. Dans le contexte des Normes, le concept de déplacement des états initiaux doit être pris en compte lors de l'utilisation de sites de référence pour le développement de modèles de référence dans le cadre de la restauration écologique, car un site de référence peut être perçu comme non dégradé ou peu dégradé, or il peut y manquer des espèces ou des fonctions importantes. Oublier de considérer que les sites de référence peuvent être eux-mêmes détériorés pourrait mener à établir des modèles de référence moins pertinents.

De plus, ce problème est important pour les programmes de restauration obligatoires, car les agences peuvent viser des normes plus basses basées sur des idées erronées de ce qui constitue un écosystème non dégradé. Cela peut être important pour les programmes de compensation de la biodiversité qui, s'ils sont mal conçus, peuvent contribuer à la dégradation et à l'appauvrissement continu de la biodiversité. Par ailleurs, il a été démontré que même si le rétablissement complet d'un écosystème est possible, les pertes nettes de biodiversité et de fonctionnalité écosystémique peuvent se poursuivre sur de longues périodes jusqu'à ce qu'un rétablissement complet puisse être atteint. Par conséquent, les programmes de restauration écologique, qu'ils soient obligatoires ou volontaires, devraient s'efforcer de faire plus que ce qui semble nécessaire pour garantir des gains d'ensemble nets en biodiversité et en services écosystémiques.

PRINCIPE 4.

LA RESTAURATION ÉCOLOGIQUE SOUTIENT LES PROCESSUS DE RÉGÉNÉRATION NATURELLE



Les travaux entrepris par la restauration écologique sont conçus pour soutenir les processus naturels de **rétablissement** qui sont, en définitive, menés par les effets du temps sur les processus physiques et par les réponses et interactions des organismes vivants tout au long de leur cycle de vie. Les activités de restauration se concentrent sur le rétablissement des éléments et des conditions favorables à la reprise de ces processus et soutiennent le rétablissement des attributs écosystémiques, notamment la capacité d'auto-organisation et de **résilience écosystémique** face aux stress futurs. La planification et la mise en œuvre de ces activités sont fondées sur le modèle de référence (Principe 3) et sur les cibles, buts et objectifs convenus pour le projet (Principe 5).

Le moyen le plus fiable et le plus rentable de relancer la restauration est de cultiver la potentialité des espèces restantes (telles que les plantes, les animaux, les micro-organismes) à se régénérer (c'est-à-dire à coloniser ou se développer à partir d'éléments *in situ*). Cependant les écosystèmes dégradés nécessitent souvent une intervention substantielle pour compenser la perte en **aptitude de régénération naturelle** (voir également la Section 4 partie 2). Une évaluation est nécessaire avant de planifier les traitements appropriés pour déterminer : (1) l'aptitude de régénération après élimination des causes de dégradation et (2) la nécessité de rétablir les éléments biotiques et abiotiques manquants. Cette évaluation doit être éclairée par la connaissance des **caractéristiques**

fonctionnelles (notamment les mécanismes de régénération) des espèces individuelles susceptibles d'apparaître sur le site ou de le coloniser, ainsi que par les flux et les stocks de propagules qui auront été prévus. Lorsqu'il existe des lacunes dans les connaissances, il est utile de tester la réponse de rétablissement dans des zones plus petites avant de l'appliquer à des zones plus grandes. Les interventions de restauration axées sur les zones à fort potentiel de régénération naturelle pourraient être traitées en priorité afin de libérer en temps voulu des ressources pour les zones nécessitant des actions plus intensives (voir Section 4 partie 2).

La restauration peut mener à des résultats inattendus. Les praticiens doivent être prêts à entreprendre des traitements supplémentaires ou à mener des recherches pour surmonter les obstacles ou limitations à la régénération naturelle. Les travaux de restauration conçus pour stimuler le rétablissement des espèces indigènes peuvent, par exemple, également stimuler une réponse de la part d'espèces indésirables présentes dans la banque de **propagules**, nécessitant souvent de multiples interventions de suivi pour atteindre les objectifs du projet.



*Avant et après les activités de restauration, Massachusetts, USA.
Photo prise par Alex Hackman*

PRINCIPE 5.

LE RÉTABLISSEMENT ÉCOSYSTÉMIQUE EST ÉVALUÉ PAR RAPPORT À DES BUTS ET OBJECTIFS CLAIRS EN SE SERVANT D'INDICATEURS MESURABLES



Dans la phase de planification des projets de restauration, la portée, la vision, les cibles, les buts et les objectifs du projet sont identifiés, ainsi que les indicateurs spécifiques pour en mesurer la progression. Les attributs écologiques et sociaux du projet doivent tous deux être inclus (Encadré 5). Les indicateurs peuvent ensuite être utilisés pour suivre la progression au fil du temps, en appliquant des approches de **gestion adaptative** (Encadré 6). Des ressources adéquates pour le suivi doivent être attribuées pour assurer un suivi efficace.

Les cibles, buts et objectifs écologiques seront étayés de façon robuste par une évaluation du site ou un inventaire initial. Cette évaluation décrit l'état du site dégradé et précise à la fois l'identification du modèle de référence (Principe 3) et le degré de rétablissement requis pour se rapprocher de la condition de référence. L'inventaire initial décrit les éléments biotiques et abiotiques actuels du site, y compris ses attributs compositionnels, structurels et fonctionnels, ainsi que ses menaces et apports externes. Le processus d'inventaire est une première étape clé pour comprendre ce qui est souhaitable et possible de réaliser pour un site dégradé en termes de cibles, de buts, d'objectifs et d'indicateurs de restauration. L'inventaire est utilisé par la suite pour détecter les changements au fil du temps par rapport à l'état initial.

Les évaluations de progression vers la cible écologique devraient inclure des indicateurs pour chacun des six attributs écologiques clés de l'écosystème de référence (Encadré 7). Les objectifs écologiques du projet doivent traiter du degré de rétablissement recherché pour chaque attribut, accompagnés d'indicateurs spécifiques et mesurables pour évaluer l'état du site avant le démarrage du projet. Les mêmes indicateurs sont également suivis après la mise en œuvre du projet pour évaluer si les travaux de restauration répondent aux buts et aux objectifs écologiques du projet. Pour évaluer les progrès, chaque objectif de restauration doit clairement articuler : (1) les indicateurs qui seront mesurés (ex : le pourcentage de couvert végétal des plantes indigènes) ; (2) le résultat souhaité (ex : augmenter, diminuer, maintenir) ; (3) l'amplitude de l'effet souhaité (ex : augmentation de 40%) ; et (4) le délai (ex : 5 ans). Pour les projets où un rétablissement complet est possible et souhaitable, la cible écologique s'alignera sur le modèle de référence. Cependant, lorsque seulement un rétablissement partiel est prévu, la cible et le modèle de référence ne s'aligneront pas complètement. Par exemple, l'écosystème cible peut manquer de certaines espèces ou inclure des substituts non-indigènes ou des espèces envahissantes, ou les cibles écologiques peuvent être modifiées pour atteindre des objectifs sociaux.

Les objectifs sociaux varient considérablement d'un projet à l'autre et découlent de diverses considérations sociales (voir Principe 1). Après consultation formelle avec les parties prenantes, les objectifs sociaux doivent être identifiés dans le plan du projet, y compris la justification de tout compromis entre les coûts et les avantages écologiques et sociaux. Les rapports du projet peuvent ensuite reconnaître et mettre en évidence les avantages pour la société et pour les écosystèmes qui peuvent découler du projet.

Encadré 5

HIÉRARCHIE DES TERMES COMMUNÉMENT UTILISÉS DANS LA PLANIFICATION D'UN PROJET¹

- La **Portée** est l'axe géographique ou thématique d'un projet.
- La **Vision** est un résumé général de la condition souhaitée que l'on essaie de réaliser à travers le travail du projet. Une bonne vision est relativement générale, visionnaire (inspirante) et brève.
- Les **Cibles** identifient les écosystèmes indigènes à restaurer sur un site en fonction du modèle de référence, ainsi que les débouchés sociaux ou les contraintes attendues du projet.
- Les **Buts** sont des aspirations officielles de la condition écologique ou sociale souhaitée à moyen et à long terme, y compris le niveau de rétablissement recherché. Les buts doivent être clairement liés aux cibles, et être mesurables, limités dans le temps, et spécifiques.
- Les **Objectifs** sont des déclarations formelles d'aboutissements intermédiaires le long de la trajectoire de rétablissement. Les objectifs doivent être clairement liés aux cibles et aux buts, et être mesurables, limités dans le temps, et spécifiques.
- Les **Indicateurs** sont des mesures d'attributs spécifiques et quantifiables qui relient directement les objectifs à plus long terme et les objectifs à plus court terme. Les indicateurs écologiques sont des variables qui sont mesurées pour évaluer les évolutions au niveau des attributs de l'écosystème physique (ex : les unités de turbidité), chimique (ex : la concentration en nutriments) ou biotique (ex : l'abondance des espèces), conformément au modèle de référence. Les indicateurs socio-écologiques ou culturels mesurent les évolutions dans le bien-être humain tels que la participation aux pratiques traditionnelles, la gouvernance, la langue et l'éducation.

1 — Avec quelques adaptations, les termes utilisés ici sont basés sur ceux invoqués dans les « Normes ouvertes pour la pratique de la conservation » (*Conservation Measures Partnership* 2013).

Le suivi des projets de restauration est essentiel pour chacun des objectifs suivants :

GÉNÉRER L'APPRENTISSAGE SOCIAL.

Le suivi participatif implique les parties prenantes dans la collecte et dans l'analyse des données recueillies lors des travaux de restauration. Cette approche de partenariat peut conduire à une bonification des prises de décision collaboratives, et renforcer la capacité et la responsabilisation des parties prenantes. Un suivi participatif réussi répond aux questions et aux besoins des parties prenantes en temps opportun. Les méthodes sont convenues collectivement, sont faciles à utiliser et encouragent l'apprentissage social tout en créant des réseaux d'apprentissage. Ainsi, le suivi participatif est souvent plus bénéfique lorsqu'il s'appuie sur des sources d'information et de méthodes d'évaluation de fiabilité qui sont pertinentes pour les parties prenantes, plutôt que sur des approches scientifiques conventionnelles.

RÉPONDRE À DES QUESTIONS SPÉCIFIQUES.

Le suivi peut être utilisé pour répondre à des questions spécifiques qui améliorent notre compréhension de la restauration écologique et pour garantir que des décisions de restauration avisées sont prises. Les deux nécessitent des données collectées de manière appropriée et un design expérimental efficace. Une approche consiste à comparer le site de restauration aux sites de référence présélectionnés. Une autre méthode consiste à effectuer des suivis avant et après traitement sur les sites à la fois témoins et traités (*Before-After-Control-Impact* ou design expérimental BACI). Ce design détermine si les traitements sont efficaces ou s'ils produisent des effets (relations de causalité). Un tel suivi formel peut résoudre des problèmes liés aux nouveaux traitements ou au retour d'organismes ou de processus lorsque les données sont collectées selon un design expérimental approprié. Un enregistrement rigoureux des traitements spécifiques de restauration et d'autres conditions susceptibles d'affecter les résultats est également nécessaire. La pratique courante dans ces cas de figure est pour l'initiateur de recherche de développer des partenariats entre les scientifiques, les praticiens et la communauté locale, afin de garantir que le projet reçoive un niveau approprié de conseils et de soutien scientifiques et pratiques pour optimiser son succès et sa pertinence.

APPLIQUER LA GESTION ADAPTATIVE.

Cette forme d'« apprentissage par la pratique » est une approche systématique pour améliorer la pratique de la restauration. La gestion adaptative n'est pas un exercice d'essai-erreur. Appliquée correctement, la gestion adaptative améliore notre compréhension en matière de restauration en :

- (1) explorant des routes alternatives pour atteindre les objectifs de restauration ;
- (2) prédisant les résultats de ces alternatives selon l'état actuel de nos connaissances ;
- (3) mettant en œuvre une ou plusieurs de ces alternatives ;
- (4) réalisant un suivi pour apprendre davantage sur les impacts des actions restauratrices ; et enfin en
- (5) utilisant ces résultats pour mettre à jour nos connaissances et pour ajuster les pratiques de restauration.

La gestion adaptative peut et devrait être l'approche de référence pour tout projet de restauration écologique, quel que soit le niveau de ressources de ce projet. La mise en œuvre complète d'une approche de gestion adaptative nécessite un suivi et une évaluation des résultats en temps voulu, ainsi qu'un financement pour une restauration continue.

Un processus fondamental et nécessaire permettant de déterminer si les interventions de restauration fonctionnent ou doivent être modifiées consiste à inspecter le site régulièrement et à enregistrer les observations des réponses des espèces (telles que les taux de croissance, la floraison, la régénération, et l'absence ou la présence de mauvaises herbes, de ravageurs et de maladies). L'échantillonnage officiel de la biodiversité peut impliquer une gamme de techniques d'échantillonnage du sol, de l'eau, de la végétation et des animaux. Le design des processus de suivi devrait avoir lieu au stade de la planification du projet pour garantir que les buts, les objectifs et les indicateurs sélectionnés pour le projet soient mesurables, que l'agencement et la planification du suivi s'alignent bien, et qu'il existe des déclencheurs d'action clairs dans le cas où les objectifs ne sont pas atteints. Si cela est souhaitable et approprié, des expériences formelles peuvent être conçues, en respectant les conventions d'échantillonnage, de réplication, ainsi que l'utilisation de contrôles non traités pour interpréter les résultats.

FOURNIR DES PREUVES AUX PARTIES PRENANTES.

Les séries photo fournissent aux parties prenantes et aux régulateurs des preuves visuelles que les objectifs sont atteints (c'est-à-dire sécuriser des images du site à partir des mêmes emplacements, avant et après traitement pour montrer les changements au fil du temps). Sur les petits sites, des points photo fixes peuvent être établis au sol, tandis que pour les sites plus grands, les images de télédétection peuvent être plus efficaces. Étant donné que ces images ne permettent de visualiser que les changements qui se produisent, les projets bien financés (en particulier ceux soumis à des contrôles réglementaires) sont généralement censés entreprendre un suivi quantitatif formel. Ceci est basé sur un plan de suivi qui identifie, entre autres, le design du suivi, les délais, la(les) personne(s) responsable(s), l'analyse prévue et les cadres de retours et de communication aux régulateurs, aux organismes de financement ou à d'autres parties prenantes.

Encadré 7

EXEMPLE DE PLANIFICATION HYPOTHÉTIQUE COMPRENANT DES OBJECTIFS ÉCOLOGIQUES ET SOCIAUX INTÉGRÉS

PORTÉE

Deux forêts de chênes de Garry de 5 hectares reliées par une prairie ouverte et un lac dans le sud des îles Gulf, Colombie-Britannique, Canada.

ÉTAT ACTUEL

Le pâturage et la fragmentation ont entraîné une diminution de la diversité des oiseaux de milieu boisé dans deux vestiges de chênaies de Garry. Ces deux sites, reliés par une prairie sur-pâturée, contiennent 30% de couvert indigène et 50% de couvert non-indigène de plantes herbacées et ligneuses. Les 20% restants sont composés d'un sol nu. Le lac a un nombre élevé d'E. Coli provenant des lixiviats des sols pâturés. Les plantes aquatiques flottantes se multiplient à la suite de précipitations, ce qui entraîne la mort occasionnelle de poissons.

VISION

Le retour d'écosystèmes sains, pris en charge et appréciés par les habitants des îles, donnant lieu à une cohésion sociale renouvelée et une gestion durable des écosystèmes.

CIBLES ÉCOLOGIQUES

Les forêts de chênes de Garry sont non perturbées (boisées), et les prairies (semi-ouvertes) comprennent des chênes matures et sont tapissées de fleurs sauvages printanières. Avant l'arrivée des Européens, les Premières Nations gardaient les prairies dégagées de sous-bois pour cultiver le camassia. Les bulbes de cette fleur sauvage bleue constituent une source importante de nourriture. Le lac est l'habitat de la truite arc-en-ciel, de l'achigan à petite bouche et du crapet-soleil. Une zone humide sert de transition entre le lac et la rive. Les loutres de rivière nagent parmi les nénuphars jaunes et les merles à ailes rouges se balancent sur les massettes.

BUTS (écologiques et sociaux)

1. Réduction de la sédimentation active et du nombre d'E. Coli dans les cours d'eau pour permettre la natation dans un délai de 5 ans conformément aux normes du département de la santé ;
2. Réduction de l'eutrophisation, avec une population adulte de truite qui dépasse 20 individus par prise ; activités de pêche durables dans un délai de 5 ans ;

3. Le voisinage représente 80% des bénévoles dans un programme d'intendance dans un délai de 5 ans ;
4. Deux espèces d'oiseaux, absentes pendant 10 ans avant le début du projet, retournent se reproduire sur le site dans un délai de 10 ans ;
5. Renouveau de la cohésion sociale au sein de la communauté, axé sur l'amélioration du sentiment d'appartenance par rapport aux niveaux de référence dans un délai de 10 ans ;
6. Une forêt de chênes de Garry avec > 90% des espèces végétales indigènes d'un site de référence dans un délai de 15 ans ; et,
7. Une matrice herbacée rétablie entre les vestiges avec 80% des espèces végétales indigènes caractéristiques d'une prairie de chêne de Garry dans un délai de 15 ans

OBJECTIFS (écologiques et sociaux) mesurés par des indicateurs spécifiques

1. Arrêt du pâturage du bétail dans un délai d'un an ;
2. Abondance des plantes non-indigènes réduite à <25% de couverture en 2 ans ;
3. Au moins 25 bénévoles se joignent à un programme d'intendance avec le voisinage représentant > 50% des membres dans un délai de 2 ans ;
4. Les taux de recrutement d'au moins deux espèces ligneuses indigènes augmentent de 10% en 5 ans dans les deux vestiges de bois ;
5. La densité des plantes ligneuses indigènes augmente à au moins 100 tiges / ha d'arbres et 100 tiges / ha d'arbustes en 3 ans ;
6. La richesse en espèces indigènes dans la prairie augmente pour atteindre au moins 6 espèces de graminées et 10 espèces de phorbes / 10 m² en 5 ans ; et
7. Les visites en classe verte par les écoliers locaux augmentent de 50% en 5 ans.

N.B. ces chiffres sont tous des exemples hypothétiques et non des lignes directrices.

PRINCIPE 6.

LA RESTAURATION ÉCOLOGIQUE CHERCHE LE PLUS HAUT NIVEAU POSSIBLE DE RÉTABLISSEMENT



Un projet de restauration écologique adopte l'objectif d'atteindre le plus haut niveau possible de rétablissement, par rapport aux six attributs de l'écosystème de référence. Le rétablissement, qu'il soit complet ou partiel, prend du temps et peut être lent. Ainsi, les chefs de projet devraient adopter une politique de progression continue guidée par un suivi solide. Une telle politique peut permettre aux chefs de projet de constamment mettre à niveau et poursuivre les buts du projet pour faire progresser le rétablissement initial vers des résultats progressivement plus élevés. Une approche pour concevoir un projet et le suivi de sa progression au fil du temps est l'utilisation du Système à cinq étoiles et de la Roue de rétablissement écologique (*Ecological Recovery Wheel*).

LA ROUE DE RÉTABLISSEMENT ÉCOLOGIQUE ET LE SYSTÈME À CINQ ÉTOILES – VISER HAUT

Le Système à cinq étoiles (Tableaux 3 et 4) et la Roue de rétablissement écologique (Figure 4) sont fournis comme outils pour aider les chefs de projet, les praticiens et les autorités réglementaires à établir, visualiser et communiquer le niveau de rétablissement souhaité, et à évaluer et suivre le degré de rétablissement des écosystèmes indigènes de façon progressive au fil du temps par rapport au modèle de référence. Ces outils fournissent également un moyen de signaler les évolutions par rapport à l'état initial et en fonction de l'écosystème de référence.

Il est important de noter que le Système à cinq étoiles se concentre sur les mesures écologiques plutôt que sociales ; il n'est pas conçu comme un outil pour évaluer l'avancement d'un projet de restauration par rapport à ses objectifs sociaux (voir Principe 1). Les chefs de projet sont plutôt encouragés à utiliser le Système à cinq étoiles et la Roue de rétablissement écologique pour illustrer les cibles et les objectifs écologiques de leur projet par rapport aux six attributs clés et pour fournir un cadre de suivi. L'idée est de viser haut et de démontrer les progrès dans le temps, même si le rétablissement complet n'est pas initialement possible ou si l'objectif de rétablissement vise un niveau en-deçà du rétablissement complet.

Tableau 3.

Résumé des normes génériques pour les niveaux de rétablissement de 1 à 5 étoiles. Chaque niveau est cumulatif. Les différents attributs peuvent avoir des niveaux différents en raison d'une variabilité des taux de réponse aux traitements et des objectifs du projet. Des normes génériques plus détaillées pour les six attributs écosystémiques clés sont données dans le Tableau 4. Ce système est applicable à tout niveau de rétablissement où un écosystème de référence est utilisé.

NOMBRE D'ÉTOILES	RÉSUMÉ DU BILAN DE RÉTABLISSEMENT
★	La détérioration continue a été évitée. Les substrats sont remédiés (physiquement et chimiquement). Il y a présence d'un certain niveau de biote indigène ; des niches de recrutement futur ne sont pas remises en cause par des caractéristiques biotiques ou abiotiques. Des améliorations futures sont prévues pour tous les attributs et la gestion future du site est sécurisée.
★★	Les menaces provenant des zones adjacentes commencent à être gérées ou atténuées. Le site présente un petit sous-ensemble d'espèces indigènes caractéristiques et une faible menace d'espèces indésirables sur le site. Une amélioration de la connectivité est convenue avec les propriétaires adjacents.
★★★	Les menaces adjacentes sont gérées ou atténuées, et la menace des espèces indésirables sur le site est très faible. Un sous-ensemble modéré d'espèces indigènes caractéristiques est établi et il y a preuve d'une reprise de la fonction écosystémique. Une connectivité améliorée à l'échelle du paysage est en évidence.
★★★★	Un sous-ensemble substantiel de biote caractéristique est présent (représentant tous les groupes d'espèces), faisant preuve de développement de la structure communautaire et des processus écosystémiques. Une connectivité améliorée est établie et les menaces environnantes sont gérées ou atténuées.
★★★★★	L'établissement d'un assemblage caractéristique de biote a atteint un point tel que la complexité structurelle et trophique sont susceptibles de se développer à un niveau de très haute similitude avec l'écosystème de référence, avec un recours minimal d'interventions de restauration supplémentaires. Les flux transfrontaliers appropriés sont relancés et reprennent cours, et la résilience est rétablie avec un retour de régimes de perturbation appropriés. La convention d'une gestion à long terme est en place.

Tableau 4.

Échantillon d'une échelle de rétablissement de 1 à 5 étoiles interprété dans le contexte des six attributs écosystémiques clés utilisés pour mesurer les progrès le long d'une trajectoire de rétablissement. Cette échelle à 5 étoiles représente un gradient de très faible à très haute similitude avec le modèle de référence. En tant que cadre générique, les utilisateurs doivent développer des indicateurs et des mesures de suivi spécifiques à l'écosystème et aux sous-attributs qu'ils identifient.

ATTRIBUT	★	★★	★★★	★★★★	★★★★★
Absence de menaces	Toute autre détérioration a été interrompue, le régime foncier du site ainsi que sa gestion sont sécurisés.	Les menaces provenant des zones adjacentes commencent à être gérées ou atténuées.	Toutes les menaces adjacentes sont gérées ou atténuées à un degré moindre.	Toutes les menaces adjacentes sont gérées ou atténuées à un degré intermédiaire.	Toutes les menaces adjacentes sont gérées ou atténuées à un degré élevé.
Conditions physiques	Les problèmes physiques et chimiques élémentaires sont remédiés (ex : excès d'azote, altération du pH, salinité élevée, contamination ou autres dommages au sol ou à l'eau).	Les propriétés chimiques et physiques du substrat sont en bonne voie.	Le substrat s'est stabilisé au sein de l'aire de répartition naturelle et favorise la croissance du biote indigène caractéristique.	Le substrat maintient en toute sécurité les conditions propices à la croissance et au recrutement continu du biote indigène caractéristique.	Le substrat présente des caractéristiques physiques et chimiques très similaires à celles de l'écosystème de référence, avec preuve qu'il peut soutenir indéfiniment des espèces et des processus.
Diversité structurelle	Une strate biologique ou moins est présente, aucune structuration spatiale ou complexité trophique communautaire par rapport à l'écosystème de référence.	Quelques strates sont présentes mais la structuration spatiale et la complexité trophique sont faibles par rapport à l'écosystème de référence.	La plupart des strates sont présentes, avec une certaine structuration spatiale et une certaine complexité trophique par rapport au site de référence.	Toutes les strates sont présentes. La structuration spatiale est évidente, et la complexité trophique se développe de façon substantielle par rapport à l'écosystème de référence.	Toutes les strates sont présentes, et la structuration spatiale ainsi que la complexité trophique sont élevées. La complexité et la structuration spatiale sont capables de s'auto-organiser pour ressembler fortement à l'écosystème de référence.

Tableau 4. (suite)

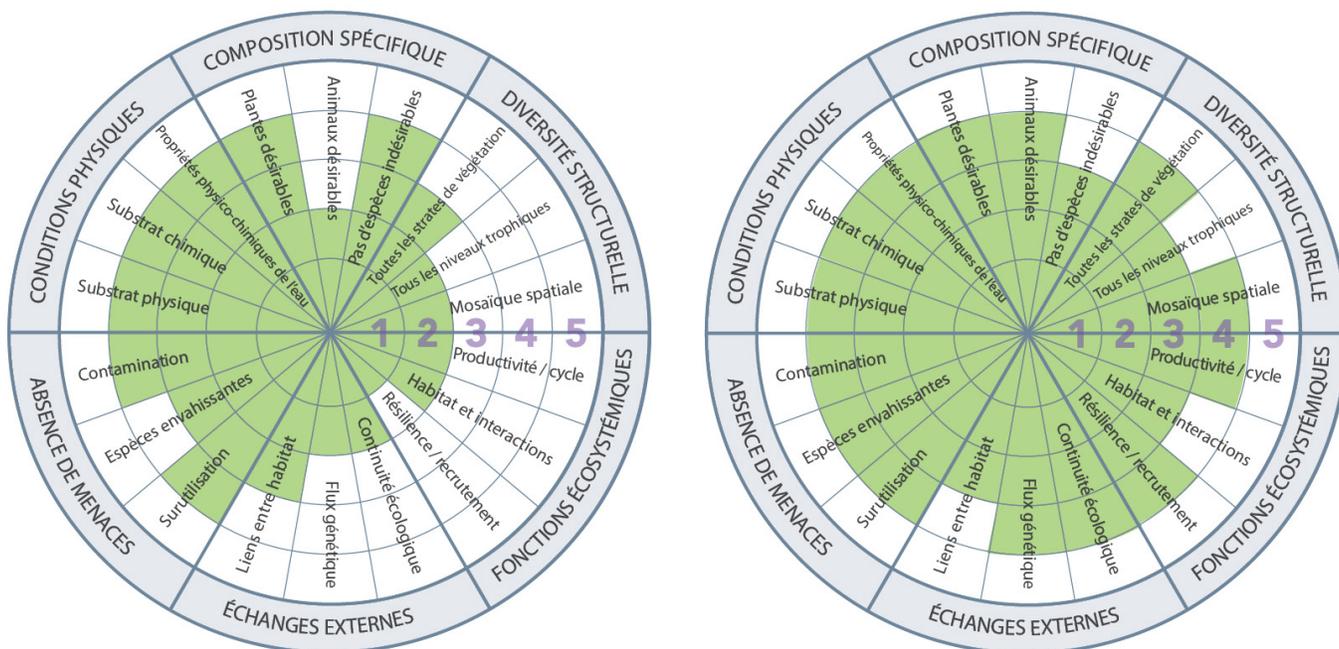
Échantillon d'une échelle de rétablissement de 1 à 5 étoiles interprété dans le contexte des six attributs écosystémiques clés utilisés pour mesurer les progrès le long d'une trajectoire de rétablissement. Cette échelle à 5 étoiles représente un gradient de très faible à très haute similitude avec le modèle de référence. En tant que cadre générique, les utilisateurs doivent développer des indicateurs et des mesures de suivi spécifiques à l'écosystème et aux sous-attributs qu'ils identifient.

ATTRIBUT	★	★★	★★★	★★★★	★★★★★
Composition spécifique	Certaines espèces indigènes colonisatrices sont présentes (ex : ~ 2% des espèces dans l'écosystème de référence). La menace causée par des espèces envahissantes non-indigènes ou indésirables sur le site est modérée. Des niches de régénération sont disponibles.	Un petit sous-ensemble d'espèces indigènes caractéristiques s'établit (ex : ~ 10% de la référence). La menace des espèces envahissantes non-indigènes ou indésirables sur le site est faible à modérée.	Un sous-ensemble d'espèces indigènes clés (ex : ~ 25% de la référence) s'établit sur des proportions substantielles du site. La menace des espèces envahissantes non-indigènes ou indésirables sur le site est très faible.	Une diversité substantielle du biote indigène caractéristique (ex : ~ 60% de la référence) est présente sur le site, et représente une large diversité de groupes d'espèces. La menace des espèces non-indigènes envahissantes ou indésirables sur le site est très faible.	Une grande diversité d'espèces indigènes caractéristiques est présente (ex : > 80% de la référence), avec une grande similitude par rapport à l'écosystème de référence ; amélioration du potentiel de colonisation d'espèces indigènes au fil du temps. Aucune menace provenant d'espèces indésirables n'est connue sur le site.
Fonctions écosystémiques	Les substrats et l'hydrologie sont à un stade de base seulement, et sont capables à l'avenir de développer des fonctions similaires à la référence.	Les substrats et l'hydrologie montrent un potentiel accru pour une gamme de fonctions plus large, y compris le cycle des nutriments et l'apport en habitats et en ressources pour d'autres espèces.	Preuve d'une reprise des fonctions (ex : cycle des nutriments, filtration de l'eau, et apport en habitats et en ressources pour une gamme d'espèces).	Preuve substantielle d'une reprise des fonctions et des processus clés, y compris la reproduction, la dispersion et le recrutement d'espèces indigènes.	Preuve notable que les fonctions et les processus sont sur une trajectoire sûre en direction de celle de référence, et preuve d'une résilience écosystémique, testée par le rétablissement de régimes de perturbation appropriés.

Tableau 4. (suite)

Échantillon d'une échelle de rétablissement de 1 à 5 étoiles interprété dans le contexte des six attributs écosystémiques clés utilisés pour mesurer les progrès le long d'une trajectoire de rétablissement. Cette échelle à 5 étoiles représente un gradient de très faible à très haute similitude avec le modèle de référence. En tant que cadre générique, les utilisateurs doivent développer des indicateurs et des mesures de suivi spécifiques à l'écosystème et aux sous-attributs qu'ils identifient.

ATTRIBUT	★	★★	★★★	★★★★	★★★★★
Échanges externes	Le potentiel d'échanges (d'espèces, de gènes, d'eau, de feu par exemple) avec le paysage ou environnement aquatique voisin est identifié.	La connectivité pour une amélioration des échanges positifs (et négatifs minimisés) est organisée en coopération avec les parties prenantes. Les liens sont rétablis.	Les échanges positifs entre le site et l'environnement extérieur deviennent évidents (ex : davantage d'espèces, de flux génétique, etc.).	Niveau élevé d'échanges positifs établi avec d'autres écosystèmes indigènes ; contrôle des espèces indésirables et des perturbations.	Les échanges externes sont manifestement très similaires à ceux de la référence, et les accords pour une gestion intégrée à long terme avec un paysage plus large sont en place et opérationnels.



L'état initial du projet

Après 10 ans

Figure 4. La Roue de rétablissement écologique est un outil permettant d'exprimer la progression du rétablissement des attributs écosystémiques par rapport à ceux d'un modèle de référence. Dans cet exemple, la première roue représente l'état de chaque attribut évalué à l'état initial du projet. La seconde roue représente un projet de restauration après 10 ans, où plus de la moitié des attributs ont atteint un état de 4 étoiles. Les praticiens familiers avec les buts, les objectifs, les indicateurs spécifiques au site et les niveaux de rétablissement atteints à ce jour peuvent remplir les segments pour chaque sous-attribut après une évaluation formelle ou informelle. Des modèles vierges pour le diagramme et le formulaire qui va de pair se trouvent dans l'Annexe 2. Des étiquettes de sous-attribut peuvent être ajoutées ou modifiées pour mieux représenter un projet particulier. Pour une symétrie au niveau du design, trois sous-attributs sont utilisés dans cet exemple, mais leur nombre peut varier selon le projet.

NOTES SUR L'INTERPRÉTATION DU SYSTÈME À CINQ ÉTOILES

Voici quelques réponses aux questions fréquemment posées :

- Depuis sa description par McDonald *et al.* (2016a), le Système à cinq étoiles ainsi que la Roue de rétablissement écologique qui va de pair ont été de plus en plus adaptés et utilisés par les praticiens et les scientifiques dans une grande variété d'écosystèmes à travers le monde (tels que les rivières au Royaume-Uni, les récifs

coralliens au Mexique, les forêts et les bois en Australie).

- L'évaluation à l'aide du Système à cinq étoiles doit être propre au site et à l'échelle du projet. Le Système à cinq étoiles a spécifiquement été développé pour être mis en œuvre à l'échelle d'un site, mais peut être appliqué à l'échelle d'un programme en évaluant chaque site séparément à l'aide du Système à cinq étoiles, puis en agrégeant les données de ces derniers

pour en afficher le degré de rétablissement (moyen, minimum, maximum).

- Les indicateurs décrits dans les Tableaux 3 et 4 sont génériques et devraient être interprétés avec plus de spécificité par les chefs de projet pour correspondre aux caractéristiques de leur écosystème ou projet, qu'il soit terrestre ou aquatique.
- Le Système à cinq étoiles peut être utilisé comme un encadrement pour interpréter un suivi tant bien quantitatif que qualitatif. Les étoiles peuvent être facilement quantifiées à l'aide de nombreux systèmes de suivi et d'approches statistiques, telles que les taux de réponses (rapport de la valeur moyenne d'une variable sur le site de restauration par rapport à celle du modèle de référence), qui sont communément utilisés par les scientifiques et les praticiens pour mesurer les résultats de la restauration. Qu'une approche qualitative ou quantitative soit utilisée, il est impératif de spécifier explicitement le niveau de détail et le degré de formalité du suivi, à partir desquels sont tirées les conclusions. Cela signifie que la Roue de rétablissement écologique ou qu'un tableau d'évaluation ne devraient pas être utilisés comme des indices de progression de la restauration sans également citer les données de suivi sur lesquelles celle-ci est basée.
- Chaque attribut d'un projet de restauration ne commence pas nécessairement au niveau zéro

ou 1 étoile. En effet, le classement est relatif à la similitude (ou aux différences) avec le modèle de référence, en ce qui concerne un ensemble d'indicateurs mesurables approprié aux sous-attributs. Les sites comprenant des biotes résiduels et des substrats non modifiés commenceront à des niveaux plus élevés, tandis que les sites avec des substrats altérés ou des biotes manquants commenceront à des niveaux inférieurs. Quel que soit le point de départ d'un projet, l'objectif est d'aider l'écosystème à progresser dans la mesure du possible le long de la trajectoire de rétablissement. Un score de zéro étoile serait noté comme tel dans les rapports écrits, ou comme la valeur « zéro » dans les feuilles de calcul, et serait représenté par une cellule vide dans la Roue de rétablissement écologique.

- En faisant usage de couleurs ou de motifs supplémentaires, ou en créant des Roues de rétablissement séquentielles, l'utilisateur peut montrer la condition initiale, la condition de fin proposée, et les conditions à plusieurs moments au cours du processus de rétablissement.
- Le Système à cinq étoiles n'est pas destiné à évaluer la performance individuelle des praticiens ou la valeur des projets. Certains projets, en raison des contraintes du site, ne peuvent prétendre à un score de cinq étoiles.

PRINCIPE 7.

LA RESTAURATION ÉCOLOGIQUE GAGNE DE LA VALEUR CUMULATIVE UNE FOIS APPLIQUÉE À GRANDE ÉCHELLE



Tout projet de restauration écologique peut avoir des résultats bénéfiques quelle que soit sa taille, tels que l'augmentation du nombre et de la taille des populations amoindries d'espèces, la réduction des populations d'espèces envahissantes et autres menaces, et l'amélioration des fonctions écosystémiques comme le cycle des nutriments. Cependant, de nombreux processus écologiques fonctionnent à l'échelle du paysage, du bassin versant, et à l'échelle régionale (tels que le flux génétique, la colonisation, la prédation, les perturbations écologiques). Une dégradation se produisant à grande échelle peut dépasser les efforts de restauration à une échelle plus petite. Par exemple, les espèces pour lesquelles la surface de l'habitat minimal est vaste ou qui nécessitent une plus grande complexité trophique peuvent ne pas trouver leur avantage dans des petits projets. Pour lutter contre le changement climatique, il est urgent d'augmenter considérablement le taux de **séquestration du carbone** par une production accrue de biomasse végétale et animale (y compris de la biomasse des sols). De même, la sécurité en matière d'eau (en termes de qualité, de quantité, et de flux) est plus efficacement assurée en travaillant à l'échelle du paysage et en reliant les systèmes terrestres et aquatiques. Ainsi, certains projets de restauration écologique doivent être menés à grande échelle (sur des centaines ou des milliers d'hectares par exemple) afin de fournir les avantages environnementaux et écologiques souhaités. Par ailleurs, la planification et la priorisation des travaux au niveau du site sont nécessaires dans le cadre des efforts de planification

intégrée dans le paysage entier (voir Section 4 partie 3). La planification à l'échelle du paysage peut aider à éviter des situations dans lesquelles les unités de production présentes dans un site de restauration écologique (tel que l'agriculture ou la foresterie) sont simplement déplacées vers d'autres zones, entraînant une dégradation supplémentaire. Planifier une restauration écologique à plus grande échelle doit garantir que les efforts de restauration écologique se traduisent par un changement positif net au niveau du paysage entier.

DÉFIS ET SOLUTIONS POTENTIELLES

Augmenter la portée de la restauration écologique peut permettre de faire des économies sur une échelle globale, mais peut également augmenter le risque de faire des grands écarts financiers, institutionnels et infrastructurels, en particulier lorsque les réponses écosystémiques aux traitements sont imprévisibles. Les défis sociaux comprennent l'identification de toutes les parties prenantes concernées et de leurs besoins et intérêts spécifiques, ainsi que l'obtention d'un accord entre les parties prenantes ayant des intérêts concurrents, notamment lorsque les institutions politiques sont faibles, ou lorsqu'il existe de fortes inégalités économiques et de pouvoir entre propriétaires fonciers. Un mécanisme tel que la planification participative de l'utilisation des terres doit être mis en place pour faire face à de tels désaccords. Pour les problèmes touchant aux questions d'échelle et de temps, les traitements sont généralement testés à petite échelle avant une

application plus large. Dans certains cas, investir dans des améliorations progressives à plus grande échelle (par exemple, pour contrôler les menaces telles que les espèces envahissantes ou les sources diffuses de pollution), peut donner de meilleurs résultats qu'un travail plus intense à plus petite échelle ou sur des périodes plus courtes. L'augmentation de l'échelle d'un projet de restauration ne confère un avantage que lorsqu'elle représente une augmentation de l'échelle à laquelle les bénéfices sont améliorés (tels qu'une abondance accrue des espèces indigènes, une abondance réduite des espèces envahissantes, ou une séquestration accrue de carbone).

Pour cette raison, et pour éviter de sous-évaluer les petits projets pouvant être d'une grande importance écologique (tels que la restauration de petites tourbières), l'échelle devrait uniquement être prise en compte que comme multiplicateur des autres val-

eurs obtenues. Une gamme de cobénéfices potentiels devrait être prise en compte pour prédire si un projet est susceptible de faire la différence à plus grandes échelles (Tableau 5). De plus, les fonctions de plus grande échelle peuvent être améliorées grâce à une connectivité bénéfique accrue (comme les corridors écologiques), y compris les liaisons aux sites adjacents faisant l'objet d'interventions restauratrices (Principe 8 ; Section 4 partie 3). Il est important de noter que la valeur cumulative ne peut être atteinte qu'à long terme, ce qui signifie que ceux qui investissent initialement dans la restauration peuvent ne pas directement en bénéficier.

Un mécanisme permettant d'étendre la restauration écologique est de veiller à ce que les projets soient stratégiquement intégrés dans des **programmes de restauration** plus vastes qui contiennent plusieurs projets impliquant non seulement la restauration, mais aussi d'autres activités restauratrices menées



Ibis blanc.
Droits d'auteur à Marcel Huijser

sur des unités paysagères différentes, avec divers partenaires changeant au fil du temps. Il peut s'agir de nombreux sites de restauration qui sont liés de manière fonctionnelle et physique. Un programme de restauration écologique à grande échelle est généralement coordonné par une coalition d'organismes gouvernementaux, d'organismes à but non lucratif, de jardins botaniques, et d'autres alliés, et implique des processus de planification vastes et complexes. Des exemples comprennent le *Comprehensive Everglades Restoration Plan* (CERP) aux

États-Unis, ainsi que le Pacte de restauration des forêts atlantiques au Brésil - deux coalitions d'agences gouvernementales, du secteur privé, d'ONG, et d'instituts de recherche. Les très grands sites et projets de restauration peuvent créer des défis pour la sélection des cibles et pour le développement de modèles de référence en raison du manque de sites de référence comparables (voir Section 4 partie 1) ou en raison de leur complexité, bien que de nouveaux outils tels que LiDAR puissent aider à les surmonter dans certains paysages.

Tableau 5.

Caractéristiques de projets contribuant au potentiel d'amélioration du rétablissement écosystémique, en particulier à grande échelle. Pour un succès optimal, le projet doit être basé sur des informations écologiques solides et doit être bien ancré au sein des cultures et des institutions locales.

CARACTÉRISTIQUE	EXEMPLES
Emplacement stratégique et promptitude	Les projets de restauration déploient des stratégies qui tirent le meilleur parti des ressources rares et des points de levier connus pour une restauration efficace. Les projets sont hiérarchisés en fonction des : (1) objectifs les plus urgents ou qui accélèrent la réalisation d'autres objectifs, et (2) zones à plus grand potentiel de rétablissement.
Réduction du risque d'extinction	Les projets ont une valeur ajoutée lorsqu'ils aident au rétablissement des populations, des espèces, ou des écosystèmes menacés. Ce travail est guidé par des listes officielles, en place dans de nombreux pays, généralement liées ou compatibles avec la liste rouge de l'UICN (Union internationale pour la conservation de la nature).
Omniprésence des menaces	Les projets qui s'attaquent aux menaces à grande échelle ou omniprésentes peuvent influencer des zones bien au-delà du site du projet. Par exemple, les projets qui permettent une séquestration substantielle du carbone, qui réduisent la contamination des cours d'eau, ou qui contrôlent les plantes ou les animaux nuisibles, améliorent les résultats localement et contribuent à de meilleurs résultats ailleurs.
Sécurisation du soutien institutionnel	Les projets de grande échelle nécessitent une sécurité à long terme pour garantir que les avantages résultant des ressources investies perdurent dans le temps. La protection formelle du site par le biais d'arrangements juridiques est idéale, tout comme la garantie que les engagements politiques et économiques à long terme sont pris par les principales institutions publiques et privées du site aux échelles locale, régionale ou nationale.

PRINCIPE 8.

LA RESTAURATION ÉCOLOGIQUE FAIT PARTIE D'UN CONTINUUM D'ACTIVITÉS RESTAURATRICES



Alors que la dégradation des écosystèmes se poursuit à l'échelle mondiale, de nombreux pays et de nombreuses communautés adoptent des politiques et des mesures conçues pour conserver la biodiversité, pour rétablir l'intégrité et la résilience écologique, pour améliorer la qualité et la quantité des services écosystémiques, et pour transformer la façon dont les sociétés interagissent avec la nature. La restauration écologique fait partie d'une gamme ou d'une famille **d'activités restauratrices** qui peuvent être conçues comme un continuum, dans lequel le degré de distinction entre les types d'activités est assez minime, mais de l'action la plus élémentaire à la plus avancée, la distinction est assez importante. Une activité restauratrice est une activité qui soutient ou atteint directement ou indirectement le rétablissement des attributs écosystémiques qui ont été perdus ou dégradés. D'un point de vue conceptuel, le **continuum restaurateur** (tel qu'il est présenté dans la Figure 5) offre une approche holistique de la réparation des écosystèmes mondiaux, permettant aux praticiens d'appliquer le traitement le plus approprié et le plus efficace compte tenu des conditions écologiques, sociales et financières (représentant à la fois des opportunités et des contraintes). Le continuum restaurateur fournit un contexte pour comprendre comment les différentes activités sont liées les unes aux autres, tout en aidant à identifier les pratiques les mieux adaptées à un contexte particulier. Le continuum comprend quatre grandes catégories de pratiques restauratrices :

- (1) la **réduction des impacts sociétaux** (c'est-à-dire les actions qui réduisent les impacts par le biais de moyens de consommation et d'utilisation des services écosystémiques moins dommageables dans tous les secteurs ; Encadré 8) ;
- (2) la **remédiation** (des sites pollués et contaminés) ;
- (3) la **réhabilitation** (de zones, et notamment de celles utilisées pour la production ou l'établissement de l'Homme ; Encadré 9) ; et
- (4) la **restauration écologique**.

Les pratiques de réduction des impacts sociétaux, de remédiation et de réhabilitation sont restauratrices dans la mesure où elles réduisent les causes et les effets continus de la dégradation, rehaussent le potentiel de rétablissement écosystémique, et favorisent une transition vers la durabilité. En tant que telles, elles sont également considérées comme des **activités associées** à la restauration écologique. Certains projets ou programmes peuvent couvrir plus d'une catégorie, en particulier ceux réalisés dans des cadres plus larges, tels que les solutions fondées sur la nature (l'**infrastructure verte** entre autres) et la **Restauration des paysages forestiers** (RPF). Ces cadres intègrent souvent une ou plusieurs activités associées parallèlement à la restauration écologique. Pour être considérés comme restaurateurs, les efforts à l'échelle du projet ou du paysage doivent aboutir à un résultat net positif sur les

conditions environnementales. Par exemple, les activités qui n'améliorent pas ou qui n'amélioreront pas les conditions environnementales actuelles, ou celles qui entraînent des dommages (tel que l'**afforestation** des prairies indigènes causant une perte nette pour la biodiversité) ne sont pas qualifiées de restauratrices.

La restauration écologique et les activités associées peuvent être considérées comme un ensemble intégré dans un large paradigme de durabilité (voir Section 4 partie 3), plutôt que des activités déconnectées ou concurrentes. Les activités restauratrices sont bénéfiques de façon cumulative, améliorant les résultats d'un niveau à l'autre. Les cadres conceptuels et les bonnes pratiques de la restauration

écologique véhiculés dans ces Normes peuvent inspirer et éclairer de nombreuses actions pouvant être déployées pour améliorer la santé et la résilience globale de l'environnement.

La conceptualisation des démarches de gestion au moyen de ce continuum (en plus d'une compréhension des principes et des normes de la restauration écologique) devrait aider les gouvernements, les industries, et les communautés à atteindre des améliorations intégrées à « gain net » dans des conditions qui accélèrent les changements positifs à plus grande échelle (Principe 7). Les recommandations en qualité de mesures de rendement pour les activités restauratrices dans un éventail de secteurs ou de con-

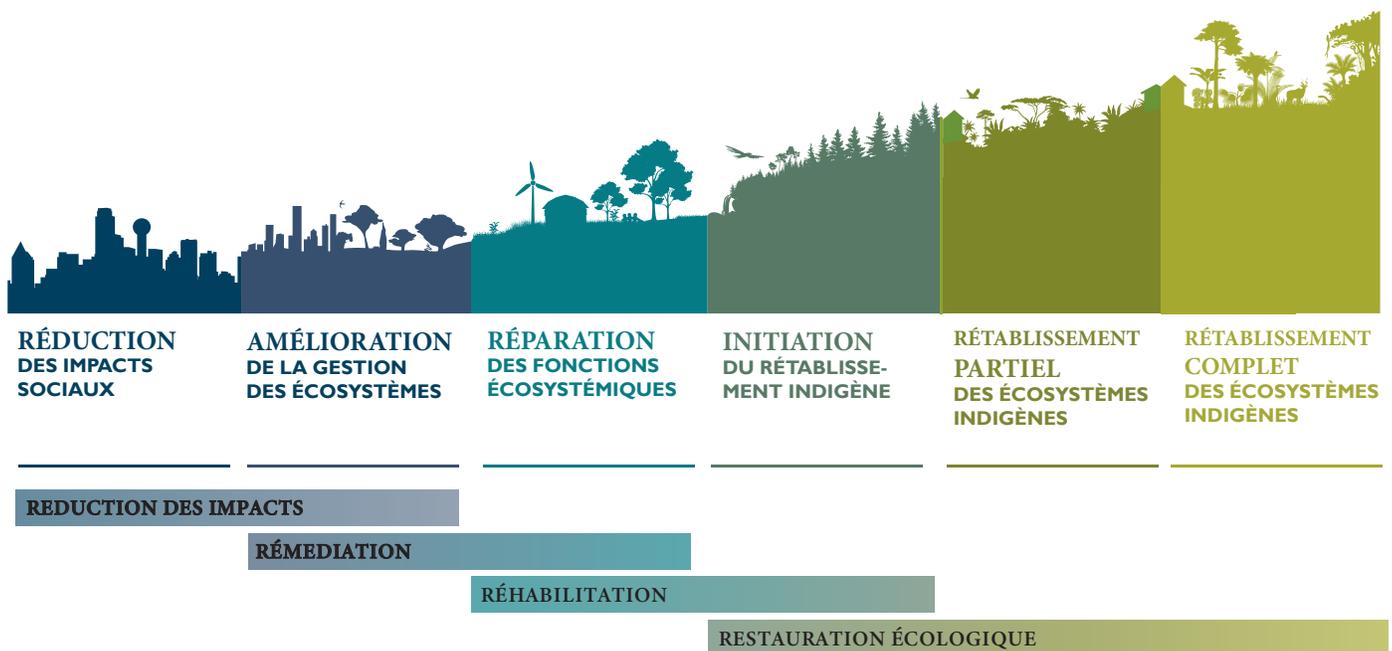


Figure 5. Le Continuum restaurateur comprend une gamme d'activités et d'interventions qui peuvent améliorer les conditions environnementales et inverser la dégradation écosystémique et la fragmentation des paysages. Le continuum met en évidence les interconnexions entre ces différentes activités et reconnaît que les caractéristiques spécifiques de la localité envisagée pour les actions restauratrices dictent les travaux les mieux adaptés aux différentes unités de paysage. À mesure que l'on se déplace de gauche à droite sur le continuum, les résultats sur la santé écologique et sur la biodiversité, ainsi que la qualité et la quantité des services écosystémiques augmentent. Notez que la restauration écologique peut se produire dans les paysages urbains, suburbains, agricoles et industriels.

textes industriels, gouvernementaux, et communautaires sont présentées dans le Tableau 6. Quel que soit le secteur ou le contexte, il est avantageux d'adopter des pratiques d'amélioration continue et de prioriser la mise en œuvre d'une restauration écologique comme l'activité restauratrice de choix, dans la mesure du possible. Lorsque la restauration écologique est inappropriée ou non viable (par exemple, lorsque la remédiation ou la réduction des impacts sociétaux est la seule option), les travaux restaurateurs doivent viser le plus haut niveau possible de rétablissement. Comme pour la restauration écologique, de petites améliorations continues peuvent être cumulatives à plus grande échelle pour les activités associées.

Encadré 8

RÉDUCTION D'IMPACTS

Dans le contexte de la dégradation mondiale de l'environnement, il est urgent de trouver des moyens pour réduire les impacts négatifs sur l'environnement qui proviennent de la façon dont les sociétés extraient, produisent, commercialisent, consomment, et éliminent les biens écosystémiques. Du côté de la production, une réglementation accrue dans de nombreuses régions du monde se traduit par des méthodologies agricoles, forestières, halieutiques, et minières plus respectueuses de l'environnement. Ces activités ont le potentiel de réduire les impacts négatifs de la pollution et la contamination, de la fragmentation des écosystèmes intacts, du défrichement des écosystèmes indigènes, de la surexploitation, et de la propagation des espèces envahissantes. Du côté de la consommation, une combinaison de réglementation et d'élévation des attentes sociales modifie certaines pratiques de fabrication et certains comportements sociaux, notamment dans les zones urbaines où plus de la moitié de la population mondiale consomme désormais des biens et des services à des taux croissants par habitant. Bien que des solutions puissent être évasives et que l'écoblanchiment soit une pratique répandue, les activités qui visent véritablement à atténuer ou à atteindre une réduction nette des impacts de l'Homme (et donc à améliorer le potentiel de rétablissement écosystémique) peuvent être considérées comme liées à la restauration écologique et faisant clairement partie du continuum restaurateur.

LA RÉHABILITATION

La réhabilitation est un terme générique utilisé pour les activités de réparation écologique qui visent à restaurer la fonctionnalité écosystémique plutôt que la biodiversité et l'intégrité d'un écosystème de référence indigène désigné. Les activités de réhabilitation conviennent à un large éventail de secteurs de gestion des terres et de l'eau où une restauration substantielle des écosystèmes indigènes n'est pas possible ou souhaitable en raison de besoins humains concurrents et légitimes. Lorsque la réhabilitation est utilisée pour des terrains miniers ou des sites post-industriels, elle est parfois appelée **remise en état**. Les progrès en matière de rétablissement écologique pour de nombreux projets de réhabilitation peuvent être suivis à l'aide du Système à cinq étoiles et de la Roue de rétablissement écologique, où les améliorations d'un ou plusieurs attributs écosystémiques peuvent être démontrées. Pour utiliser la Roue de rétablissement afin de démontrer une progression vers la réhabilitation, le périmètre extérieur de la roue ferait référence aux valeurs souhaitées pour les attributs clés de l'écosystème en question, plutôt qu'aux valeurs des attributs du modèle de référence de l'écosystème indigène. Dans le cadre du concept de la « progression continue » (voir Principe 6), les projets de réhabilitation aboutissant à certaines améliorations des conditions écologiques peuvent être ciblés plus tard pour viser la restauration écologique. Par exemple, lorsque la revégétalisation d'un pâturage dégradé ou d'un site post-minier, comportant un mélange d'espèces végétales indigènes et non-indigènes et de microsymbiotes indigènes, a amélioré la fonctionnalité du sol, alors des plans de restauration peuvent être élaborés avec notamment la récolte d'espèces non-indigènes et leur remplacement par des espèces indigènes, ainsi que la prise d'autres mesures permettant au système de retrouver l'état dans lequel il se serait trouvé si aucune dégradation ne s'était produite. Dans certains cas où le sol a été stabilisé avec des espèces non-indigènes, des espèces indigènes peuvent être ajoutées (ou aidées à se rétablir spontanément) et des espèces non-indigènes peuvent être retirées pour appuyer, en définitive, le rétablissement d'un écosystème indigène.

Tableau 6.

Mesures de performance préconisées pour les activités restauratrices dans un éventail de secteurs ou de contextes industriels, gouvernementaux, et communautaires. N.B. : Le score « étoile » fait référence au Système à cinq étoiles décrit dans le Principe 6. Sauf indication contraire, les scores étoiles dans ce tableau sont présumés être la moyenne des scores des 6 attributs.

SECTEUR OU CONTEXTE	ACTIVITÉ RESTAURATRICE ET NIVEAU DE PERFORMANCE PRÉCONISÉ
Gestion des aires protégées	<ul style="list-style-type: none"> • Écosystèmes indigènes ayant un potentiel de rétablissement complet : restauration écologique de niveau 5 étoiles. • Écosystèmes indigènes ayant un potentiel de rétablissement partiel seulement : restauration écologique de 4 étoiles dans l'idéal, mais au minimum de 3 étoiles. • Programmes ou activités de rétablissement d'une seule espèce : composantes importantes des programmes plus vastes qui devraient aspirer aux normes les plus élevées.
Aires de conservation urbaine et espaces verts	<ul style="list-style-type: none"> • Écosystèmes indigènes ayant un potentiel de rétablissement complet pour certains attributs : restauration écologique de niveau 5 étoiles dans la mesure du possible, ou au moins de niveau 4 étoiles. • Écosystèmes indigènes ou zones adjacentes aux écosystèmes indigènes ayant un potentiel de rétablissement partiel seulement : restauration écologique au niveau d'aspiration le plus élevé possible, mais au minimum de 3 étoiles pour les attributs biologiques. • Parcs et jardins convertis : réhabilitation au niveau minimum de 2 étoiles pour l'attribut de la fonction écosystémique ou au moins une utilisation durable sans effet néfaste sur les écosystèmes indigènes et, si possible, des dispositions pour des avantages écologiques supplémentaires.
Sylviculture	<ul style="list-style-type: none"> • Restauration des forêts indigènes pour la conservation de la biodiversité : restauration écologique de niveau 5 étoiles. • Sylviculture indigène : restauration écologique de niveau 4-5 étoiles (entre les cycles de coupe). • Reboisement adjacent aux écosystèmes indigènes : restauration écologique au plus haut niveau d'aspiration réalisable mais au moins de niveau 3 étoiles. • Reboisement principalement pour les services écosystémiques : réhabilitation de niveau 2-3 étoiles minimum pour l'attribut de la fonction écosystémique, ou au moins une utilisation durable (entre les cycles d'exploitation) sans effet néfaste sur les écosystèmes indigènes, de préférence avec des avantages écologiques supplémentaires.
Pêche	<ul style="list-style-type: none"> • Écosystèmes indigènes ayant un potentiel de rétablissement complet : restauration écologique de niveau 5 étoiles. • Écosystèmes indigènes ayant un potentiel de rétablissement partiel seulement : restauration écologique au plus haut niveau d'aspiration possible, mais au minimum de 3 étoiles. • Activités adjacentes aux écosystèmes indigènes : réhabilitation au niveau minimum de 2 étoiles pour l'attribut de la fonction écosystémique, ou au moins une utilisation durable sans effet néfaste sur l'écosystème indigène adjacent, de préférence avec des avantages écologiques supplémentaires.

Tableau 6. (suite)

Mesures de performance préconisées pour les activités restauratrices dans un éventail de secteurs ou de contextes industriels, gouvernementaux, et communautaires. N.B. : Le score « étoile » fait référence au Système à cinq étoiles décrit dans le Principe 6. Sauf indication contraire, les scores étoiles dans ce tableau sont présumés être la moyenne des scores des 6 attributs.

SECTEUR OU CONTEXTE	ACTIVITÉ RESTAURTRICE ET NIVEAU DE PERFORMANCE PRÉCONISÉ
Bandes de servitudes pour les réseaux publics	<ul style="list-style-type: none"> • Écosystèmes indigènes ayant un potentiel de rétablissement complet : restauration écologique de niveau 5 étoiles. • Écosystèmes indigènes ou aires adjacentes aux écosystèmes indigènes ayant un potentiel de rétablissement partiel seulement : restauration écologique au plus haut niveau d'aspiration possible, mais au moins de 3 étoiles pour les attributs biologiques. • Au sein des bandes de servitudes pour les réseaux publics (et non les écosystèmes indigènes) : réhabilitation au niveau minimum de 2 étoiles pour l'attribut de la fonction écosystémique, ou au moins une utilisation durable sans effet néfaste, de préférence avec des avantages écologiques supplémentaires pour les écosystèmes indigènes.
Agriculture et horticulture de production	<ul style="list-style-type: none"> • Écosystèmes indigènes avec un potentiel de rétablissement complet : restauration écologique de niveau 5 étoiles idéalement. • Rétablissement de la productivité agricole / agriculture écologique adjacente aux écosystèmes indigènes : restauration écologique au plus haut niveau d'aspiration possible mais au moins de niveau 3 étoiles. • Écosystèmes indigènes ayant un potentiel de rétablissement partiel seulement : restauration écologique au plus haut niveau d'aspiration possible, mais d'un niveau minimum de 2-3 étoiles pour les attributs biologiques au moins. • Rétablissement de la capacité agricole pour les services écosystémiques : réhabilitation au niveau minimum de 2 étoiles pour l'attribut de la fonction écosystémique ou au moins une utilisation durable sans effet néfaste sur les écosystèmes indigènes, de préférence avec des avantages écologiques supplémentaires.
Sites d'exploitation minière, de carrière, et de forage pétrolier et de gaz	<ul style="list-style-type: none"> • Lorsque des écosystèmes indigènes intacts ou quasi-intacts sont touchés (écosystèmes indigènes ayant un potentiel de rétablissement complet) : restauration écologique de niveau 5 étoiles. • Lorsque des écosystèmes indigènes dégradés sont touchés (écosystèmes indigènes avec un potentiel de rétablissement partiel seulement) : restauration écologique au niveau d'aspiration le plus élevé possible, c'est-à-dire au niveau 3 étoiles ou plus. • Impacts sur les unités paysagères déjà converties (réaffectées) à faible potentiel de rétablissement indigène : réhabilitation de 1-2 étoiles pour l'attribut de la fonction écosystémique ou au moins une utilisation durable sans effet néfaste sur les écosystèmes indigènes, de préférence avec des avantages écologiques supplémentaires.

SECTION 3 – NORMES DE PRATIQUE POUR LA PLANIFICATION ET LA MISE EN ŒUVRE DE PROJETS DE RESTAURATION ÉCOLOGIQUE

La liste suivante énumère les pratiques standards spécifiques pour : (1) la planification et le design, (2) la mise en œuvre, (3) le suivi et l'évaluation, et (4) le maintien des projets de restauration écologique après leur achèvement, notamment lorsque du personnel professionnel ou des prestataires professionnels sont engagés. Ces Normes de pratique intègrent pleinement « *Code of Ethics* » (SER 2013) de la SER. Elles s'adaptent à la taille, à la complexité, au degré de dégradation, au statut réglementaire et au budget de tout projet ; cela dit, les étapes ne seront pas toutes réalisables pour chaque projet. Les étapes décrites dans les Normes ne sont pas toujours séquentielles. Par exemple, les Normes incluent le suivi en aval de la mise en œuvre, car l'essentiel de l'effort de suivi peut se produire après le traitement ; cependant, les activités essentielles au suivi doivent être ébauchées avant le lancement du projet, en raison de la nécessité de concevoir des plans de suivi, d'élaborer des budgets et obtenir un financement, et de recueillir des données de prétraitement avant la mise en œuvre des traitements de restauration.



1. PLANIFICATION ET CONCEPTION

- 1.1 **Engagements des parties prenantes.** Un engagement significatif, éclairé et réciproque est entrepris de préférence au stade de la planification initiale d'un projet de restauration avec toutes les parties prenantes clés (y compris les propriétaires ou gestionnaires des terrains et des masses d'eau, les intérêts de l'industrie, le voisinage et les parties prenantes de la communauté locale et indigène) et se poursuit tout au long de la durée d'un projet. L'engagement comprend dans l'idéal la formation de la population locale permettant de fournir un suivi engagé et de long terme ainsi que l'élaboration et la diffusion d'une connaissance collaborative. Les étapes clés sont les suivantes :

- 1.1.1 Inclure un calendrier d'engagement des parties

prenantes tout au long de la durée de vie du projet. Si possible, une planification participative et la coconception du plan de restauration sont mises en œuvre, et le renforcement des capacités de la communauté locale ainsi que la formation de celle-ci sont inclus (**Voir outil : Les Normes ouvertes pour la pratique de la conservation**).

- 1.1.2 Faire preuve des vérifications nécessaires pour garantir que les droits des parties prenantes, le régime foncier inclus, sont compris et respectés tout au long du processus de restauration.
- 1.2 **Évaluation du contexte.** Les plans et l'engagement des parties prenantes sont avisés par les buts et les priorités de conservation et de durabilité locaux et régionaux, par l'aménagement du territoire et :
 - 1.2.1 Incluent des diagrammes ou des cartes de projet par rapport à son paysage ou milieu aquatique environnant ;
 - 1.2.2 Identifient des moyens permettant d'améliorer la connectivité bénéfique entre les habitats du site de restauration, et d'augmenter les échanges bénéfiques écologiques externes avec d'autres écosystèmes natifs pour améliorer les flux et les processus d'échelle du paysage, y compris la colonisation et le flux génétique entre les sites ; et,
 - 1.2.3 Précisent les stratégies permettant d'assurer la continuité d'une gestion future pour l'alignement et l'intégration du projet avec la gestion des écosystèmes indigènes et des paysages productifs voisins.
- 1.3 **Évaluation de la sûreté du régime foncier du site et planification de l'entretien après-traitement.** L'assurance du potentiel pour une gestion à long terme de la conservation du site sont requis avant d'investir dans la restauration. Les plans de restauration devraient donc :
 - 1.3.1 Identifier les moyens de sécuriser le régime foncier du site pour permettre une restauration à long terme et pour permettre un accès continu approprié pour le suivi et la gestion ; et,
 - 1.3.2 Identifier un plan de maintenance du site après l'achèvement du projet pour s'assurer que le site ne régresse pas dans un état dégradé.
- 1.4 **Inventaire initial.** L'inventaire initial documente les causes, l'intensité et l'étendue de la dégradation, et décrit les effets de cette dégradation sur le biote et sur l'environnement physique par rapport aux six attributs écosystémiques. Par conséquent, les plans devraient :

- 1.4.1 Identifier les espèces indigènes, rudérales et non indigènes qui persistent sur le site, en particulier les espèces ou communautés menacées et les espèces envahissantes ;
- 1.4.2 Enregistrer l'état actuel des conditions abiotiques (au moyen de photographies ou autres), y compris les dimensions, la configuration et l'état physique et chimique des ruisseaux, des masses d'eau, de la colonne d'eau, des surfaces terrestres, des sols ou de tout autre élément matériel, par rapport aux conditions antérieures ou changeantes ;
- 1.4.3 Détecter le type et le degré des causes et des menaces ayant provoqué une dégradation sur le site ainsi que les moyens de les éliminer, de les atténuer ou de s'y adapter (pour une taxonomie courante de menaces, voir [la Classification des menaces publiée sur Open Standards](#)). Cela implique d'évaluer :
- Les impacts historiques, actuels et anticipés à l'intérieur et à l'extérieur du site (tels que la surutilisation, la sédimentation, la fragmentation, les plantes et animaux nuisibles, les impacts hydrologiques, la contamination, les régimes de perturbation modifiés) et les moyens de les gérer, de les supprimer ou de s'y adapter ;
 - La description des besoins de compléments en diversité génétique pour les espèces réduites à des populations non viables en raison de la fragmentation (voir Annexe 1) ; et,
 - Les effets actuels et anticipés du changement climatique (tels que la température, les précipitations, le niveau de la mer, l'acidité marine) sur les espèces et les génotypes en fonction de leur viabilité probable dans le futur.
- 1.4.4 Identifier la capacité relative du biote sur le site ou à l'extérieur du site de commencer et poursuivre un rétablissement assisté ou non. Cela comprend la réalisation d'un inventaire avec :
- Une liste d'espèces indigènes et non indigènes présumées absentes et potentiellement persistantes sous forme de propagules ou présentes à une distance de colonisation ; et,
 - Une carte des zones montrant des conditions distinctes, comprenant notamment les stades de

succession présents, les zones de rétablissement prioritaires et toutes les zones spatiales distinctes nécessitant des traitements différents.

1.5 **Écosystème(s) de référence indigène(s) et modèles de référence.**

Les plans identifient les écosystèmes de référence indigènes cibles et un modèle de référence approprié (Principe 3 ; Section 4 partie 1) basé sur les multiples indicateurs des six attributs écosystémiques clés (Tableau 2 ; Figure 4) à travers un nombre convenable de sites de référence. Dans certains cas, des descriptions d'écosystèmes intacts peuvent être disponibles à partir d'évaluations ou modèles antérieurs ou de directives d'agences environnementales. Plus précisément, les plans :

- 1.5.1 Documentent les caractéristiques du substrat (biotique ou abiotique, aquatique ou terrestre) ;
- 1.5.2 Énumèrent les principales espèces caractéristiques (représentant toutes les formes de croissance végétales et tous les groupes fonctionnels de la micro- et macro-faune, y compris les espèces pionnières et menacées) ;
- 1.5.3 Identifient les attributs fonctionnels de l'écosystème, tels que les cycles des nutriments, les régimes de perturbation et de flux caractéristiques, les successions écologiques, les interactions plantes-animaux, les échanges écosystémiques et toute dépendance à la perturbation des espèces constituantes ;
- 1.5.4 Notent toutes les mosaïques écologiques qui nécessitent l'utilisation de plusieurs écosystèmes de référence ;
- 1.5.5 Dans les cas où les écosystèmes existants sont perturbés puis restaurés, les écosystèmes intacts préexistants doivent être cartographiés en détail avant la perturbation du site ;
- 1.5.6 Évaluent les besoins en matière d'habitat du biote central (y compris toutes les aires de répartition faunique minimales et les réponses aux pressions de dégradation et aux traitements de restauration).

1.6 **Vision, cibles, buts et objectifs.** Des buts et des objectifs clairs et mesurables sont nécessaires pour identifier les actions les plus appropriées, pour s'assurer que tous les participants ont une compréhension commune du projet et pour mesurer les progrès (voir « Suivi » ci-dessous). Les plans doivent clairement indiquer :

- 1.6.1 La vision du projet et les objectifs écologiques et sociaux, y compris une description du site et de l'écosystème indigène à restaurer ;
- 1.6.2 Les buts écologiques et sociaux, y compris le niveau de

rétablissement écologique recherché (c'est à dire la condition ou l'état des attributs écosystémiques à atteindre). Dans le cas d'un rétablissement complet, les buts ci-dessus s'aligneront pleinement sur le modèle de référence, tandis que dans les cas de rétablissement partiel, les buts incluront des éléments qui s'écartent de la référence dans une certaine mesure. Les buts écologiques devraient quantifier, dans la mesure du possible, le degré des attributs écosystémiques de référence à atteindre. Les buts sociaux doivent être explicites et réalistes, compte tenu du délai et du capital social disponible dans la région ;

1.6.3 Les objectifs sont les changements et résultats immédiats qui sont nécessaires pour atteindre la cible et les buts relatifs à chaque zone spatiale distincte du site. Les objectifs sont énoncés en termes d'indicateurs mesurables et quantifiables pour déterminer si le projet atteint ou non ses objectifs dans les délais fixés. En plus des indicateurs, les objectifs doivent inclure des actions spécifiques, des quantités et des délais.

1.7 **Prescriptions des traitements de restauration.** Les plans contiennent des prescriptions de traitement clairement énoncées pour chaque zone de restauration distincte, décrivant quel traitement, où et par qui les traitements seront entrepris, ainsi que leur ordre ou priorité. Lorsque les connaissances ou l'expérience font défaut, une gestion adaptative ou des recherches ciblées éclairant les prescriptions appropriées seront nécessaires. En cas d'incertitude, le Principe de précaution doit être appliqué de manière à réduire les risques environnementaux. Les plans doivent :

1.7.1 Décrire les actions à entreprendre pour éliminer, atténuer, ou s'adapter aux causes des problèmes ; et,

1.7.2 Identifier et justifier les approches de restauration spécifiques, la description des traitements spécifiques pour chaque zone de restauration et la hiérarchisation des actions. Selon l'état du site, cela comprend l'identification de :

- Modifications de la forme, de la configuration, de la chimie ou d'autres conditions physiques des éléments abiotiques pour les rendre aptes au rétablissement du biote cible ainsi qu'au rétablissement de la structure et des fonctions écosystémiques ;
- Stratégies et techniques efficaces et écologiquement

ment appropriées pour contrôler les espèces indésirables afin de protéger les espèces désirables, leurs habitats et le site ;

- Méthodes écologiquement appropriées pour faciliter la régénération ou la réintroduction de toute espèce manquante ;
- Stratégies écologiquement appropriées pour faire face aux circonstances dans lesquelles les meilleures espèces ou le meilleur stock génétique ne sont pas immédiatement disponibles (par exemple, en laissant des espaces pour compléter les réintroductions au cours des saisons suivantes) ; et,
- Sélection appropriée des espèces, des ressources génétiques et de l'acquisition du biote à réintroduire (voir Annexe 1).

1.8 **Analyser la logistique.** Une analyse de la potentialité des ressources du projet et des risques probables est requise avant d'entreprendre un plan de restauration. Pour répondre aux contraintes et aux opportunités pratiques, les plans doivent :

- 1.8.1 Identifier le financement, la main-d'œuvre (y compris le niveau de compétence approprié) et les autres ressources qui permettront les traitements appropriés (y compris les traitements de suivi), jusqu'à l'atteinte d'un état stabilisé du site ;
- 1.8.2 Entreprendre une évaluation complète des risques du projet et identifier une stratégie de gestion des risques, notamment de dispositifs d'urgence en cas de changements imprévus des conditions environnementales, du financement ou des ressources humaines ;
- 1.8.3 Élaborer un échéancier de projet et une justification de la durée du projet (en utilisant un calendrier de planification graphique, par exemple) ;
- 1.8.4 Identifier des moyens permettant de maintenir l'engagement des cibles, buts et objectifs du projet sur la durée de vie de celui-ci, y compris le soutien politique et financier ; et,
- 1.8.5 Obtenir des autorisations et des permis, et répondre aux contraintes juridiques qui s'appliquent au site et au projet, y compris le régime foncier et les revendications de propriété.

1.9 **Établir un processus de vérification des projets.** Les plans comprennent un programme et un échéancier pour :

- 1.9.1 Mener à bien une évaluation par les parties prenantes et les pairs indépendants comme exigé ; et,
- 1.9.2 Appliquer les révisions du plan en vue des nouvelles connaissances, de l'évolution des conditions environnementales et des enseignements tirés.



2. MISE EN ŒUVRE

La phase de mise en œuvre peut être courte ou longue, selon le projet et les circonstances. Le suivi et la gestion adaptative peuvent dicter les interventions de restauration après l'achèvement d'un projet ou d'une étape initiale. Pendant la phase de mise en œuvre, les projets de restauration sont gérés pour :

- 2.1 **Protéger le site contre les dommages.** Aucun dommage supplémentaire ou durable n'est causé par les travaux de restauration sur les ressources naturelles ou sur les éléments de la zone terrestre ou aquatique touchés par le projet, y compris les dommages physiques (tel que le défrichage, l'enfouissement de la couche arable, le piétinement), la contamination chimique (telle que la fertilisation excessive, les déversements de pesticides) ou la contamination biologique (telle que l'introduction d'espèces envahissantes, y compris d'agents pathogènes indésirables).
- 2.2 **Engager les participants appropriés.** Les traitements sont interprétés et effectués de manière responsable, efficace et efficiente par ou sous la supervision de personnes dûment qualifiées, compétentes et expérimentées. Dans la mesure du possible, les parties prenantes et les membres de la communauté sont invités à participer à la mise en œuvre du projet. Dans la mesure du possible, l'utilisation de matériaux et de processus durables est intégrée dans les projets de restauration.
- 2.3 **Incorporer des processus naturels.** Tous les traitements sont entrepris d'une manière qui réponde aux processus naturels et qui favorise et protège le potentiel du rétablissement naturel et assisté. Les traitements primaires, y compris les corrections hydrologiques ou de substrat, la lutte contre les animaux et végétaux ravageurs, l'application d'activités de rétablissement spécifiques et de réintroductions biotiques, au besoin suivies de manière adéquate par des traitements secondaires. Étant donné que la période de rétablissement peut être longue (telle que pour la croissance d'une ripisylve), des traitements provisoires pour réduire les effets néfastes (tels que les apports de nutriments et de sédiments dans les cours d'eau) doivent être planifiés

et mis en œuvre. Un suivi approprié est apporté à toute plantation ou toute population animale.

- 2.4 Répondre aux changements survenus sur le site.** La gestion adaptative est appliquée, guidée par les résultats de suivi. Cela comprend si besoin à la fois les changements de direction correctifs pour s'adapter aux réponses inattendues de l'écosystème et les travaux supplémentaires. Dans certains cas, des recherches nouvelles ou supplémentaires peuvent être nécessaires pour surmonter des obstacles particuliers à la restauration.
- 2.5 Assurer la conformité.** Tous les projets respectent pleinement la législation sur le travail, sur la santé et sur la sécurité. Toutes les lois, réglementations et autorisations qui s'appliquent au projet sont en place, y compris celles liées au sol, à l'air, à l'eau, aux océans, au patrimoine, aux espèces et à la conservation des écosystèmes.
- 2.6 Communiquer avec les parties prenantes.** Tous les agents de projet communiquent régulièrement avec les principales parties prenantes (de préférence par le biais d'un plan de communication, intégré à tout engagement des parties prenantes et aux activités de science participative) pour les tenir informées des progrès et les impliquer de manière optimale. La communication doit également répondre aux exigences des organismes de financement.



3. SUIVI, DOCUMENTATION, ÉVALUATION, COMPTE RENDU

Les projets de restauration écologique adoptent les principes d'observation, d'enregistrement et de suivi des traitements et des réponses pour déterminer si un projet est en bonne voie pour atteindre les cibles, buts et objectifs, ou s'il doit être ajusté. Les projets sont régulièrement évalués et les progrès sont analysés pour si besoin ajuster les traitements (c'est à dire en utilisant un cadre de gestion adaptative). Des collaborations entre chercheurs, experts du Savoir Local, praticiens et citoyens-scientifiques sont promues, en particulier lorsque les traitements sont innovants ou appliqués à grande échelle. Les besoins de suivi sont réévalués tout au long du projet et les ressources réaffectées ou augmentées en conséquence.

- 3.1 Conceptualiser le suivi.** Le suivi permettant d'évaluer les résultats de la restauration commence au stade de la planification par l'élaboration d'un plan de suivi pour identifier l'efficacité du traitement (voir

également les Encadrés 5 et 6). Ce plan comprend des questions spécifiques à traiter au cours du suivi, de la conception de l'échantillonnage pour la collecte des données à l'état initial, à la mise en œuvre et à l'après-traitement, par l'ensemble des procédures de documentation et d'archivage des données collectées, par les plans d'analyse de données et par les plans de communication des résultats pour adapter les stratégies de gestion sur le site et informer les parties prenantes des enseignements tirés.

- 3.1.1 Le suivi est axé sur des cibles spécifiques et des buts et objectifs mesurables identifiés au début du projet. Une fois les indicateurs déterminés, des données de référence sont collectées et des jalons déterminés pour évaluer si le rythme de progression est en bonne voie. De plus, mettre en place des « seuils de déclenchement » le long du processus peut être utile ; si les données collectées atteignent le niveau d'un seuil de déclenchement, des actions correctives peuvent être nécessaires.
- 3.1.2 Les méthodes de suivi doivent être adaptées aux buts du projet. Dans la mesure du possible, celles-ci devraient être faciles à utiliser et à être mises en œuvre par le biais de processus participatifs. Lorsqu'un échantillonnage quantitatif formel est nécessaire, le plan d'échantillonnage doit inclure une taille d'échantillon suffisamment grande pour permettre des analyses et des inférences statistiques. Dans tous les cas, les méthodes devraient être suffisamment détaillées pour être reproductibles dans les années suivantes.
- 3.1.3 Les chefs de projet doivent être attentifs au fait que le suivi est essentiel pour déterminer si les buts sont atteints et également pour offrir des possibilités d'apprentissage. L'implication des parties prenantes dans la conception du projet et dans la collecte et l'analyse des données aide à améliorer la prise de décision collaborative, procure un sentiment d'appropriation et d'engagement, motive les parties prenantes à maintenir un intérêt à plus long terme et renforce la capacité et l'autonomisation des parties prenantes. Tout système de suivi doit avoir intégré des possibilités d'apprentissage et d'adaptation.

3.2 Tenir des registres. Des enregistrements adéquats et sécurisés de toutes les données du projet, y compris les documents liés à la planification, à la mise en œuvre, au suivi et aux comptes rendus, sont conservés pour guider la gestion adaptative et permettre une évaluation future

des réponses aux traitements. Toutes les données de traitement, y compris le détail des activités de restauration, la quantité et le coût des sessions travaillées, ainsi que tous les enregistrements de suivi et d'évaluation sont conservés pour référence future. Les données de provenance doivent inclure l'emplacement (de préférence dérivé d'un GPS) et la description des sites ou des populations donneurs et récepteurs. La documentation doit référencer les protocoles de collecte, la date d'acquisition, les procédures d'identification et le nom du collecteur / propagateur. De plus :

3.2.1 Il serait bien d'envisager le libre accès aux données, ou l'ajout des résultats aux référentiels d'accès libres tels que le Centre de ressources de restauration de la SER ou d'autres bases de données nationales ou internationales ; et,

3.2.2 Les gestionnaires devraient archiver les données en utilisant un stockage sécurisé. Des métadonnées décrivant le contenu de chaque ensemble de données devraient être incluses.

3.3 Évaluer les aboutissements. L'évaluation des résultats du travail est effectuée, avec la progression étant évaluée par rapport aux cibles, buts et objectifs du projet. Cela nécessite l'utilisation d'un outil d'évaluation (tel que le Système à cinq étoiles présenté dans ce document ; l'Outil d'audit des Normes ouvertes, entre autres, ou des méthodes conventionnelles d'évaluation écologique).

3.3.1 L'évaluation devrait jauger adéquatement les résultats du suivi ; et,

3.3.2 Les résultats devraient être utilisés pour aviser la gestion continue.

3.4 Fournir un compte rendu aux parties intéressées. Le compte rendu implique la préparation et diffusion des rapports de progression détaillant les résultats d'évaluation aux principales parties prenantes et aux groupes d'intérêt plus larges (dans des bulletins d'information et des revues scientifiques, par exemple) afin de transmettre les données de sortie et les aboutissements dès qu'ils sont disponibles.

3.4.1 Les comptes rendus devraient transmettre les informations de manière précise, accessible et adaptée au public ; et,

3.4.2 Les comptes rendus devraient préciser le niveau et le détail du suivi sur lesquels toute évaluation de progression a été fondée.



4. ENTRETIEN APRÈS MISE EN OEUVRE

4.1 Gestion continue. L'organisme de gestion est responsable de l'entretien continu afin d'éviter tout impact délétère et effectue un suivi après-achèvement pour éviter toute régression vers un état dégradé. Cette exigence doit être prise en compte dans les budgets avant la restauration. La comparaison avec un modèle de référence approprié doit être continue et comprend :

- Une vigilance périodique du site pour surveiller la réapparition d'une dégradation afin de protéger l'investissement de la restauration, impliquant idéalement les parties prenantes ;
- Des protocoles d'action intégrés aux opérations de l'organisme de gestion, travaillant en collaboration avec les parties prenantes comme exigé ; et,
- Une communication continue du projet aux nouvelles générations, pour assurer que le projet de restauration et les investissements passés continuent d'être valorisés, par exemple en :
 - poursuivant les activités culturelles qui perpétuent l'historique du projet et célèbrent ses réalisations ;
 - et,
 - renforçant les enseignements tirés, y compris la nécessité de réaliser des projets similaires ailleurs.

PARTIE 1.

DÉVELOPPER DES MODÈLES DE RÉFÉRENCE POUR LA RESTAURATION ÉCOLOGIQUE

La pratique de la restauration écologique consiste à éliminer ou à limiter les sources de dégradation et à aider l'écosystème à se rétablir, dans la mesure du possible, dans l'état où il se trouverait si la dégradation ne s'était pas produite, tout en tenant compte également des changements anticipés.

Cela nécessite un modèle pour prédire cette condition, appelé modèle de référence (Principe 3), qui est élaboré empiriquement à partir de plusieurs sites de référence et théoriquement basé sur les meilleures informations disponibles. Ce modèle devrait tenir compte des multiples attributs écosystémiques et leurs variations au sein de l'écosystème cible, ainsi que de la complexité et la dynamique écosystémiques d'ensemble (c'est-à-dire les changements au fil du temps).

Chacune de ces considérations est importante pour établir des buts de projet qui reflètent fidèlement l'écosystème cible approprié. Dans certains cas, il peut être nécessaire d'identifier plusieurs modèles de référence, tel que pour les écosystèmes indigènes qui ont une dynamique de non-équilibre (Suding & Gross 2006) ou des modèles de référence alternatifs lorsqu'un changement irréversible s'est produit ou est anticipé. En pratique, l'élaboration d'un modèle de référence et la fiabilité de celui-ci varieront en fonction à la fois des ressources du projet et de la disponibilité d'informations écologiques pertinentes. L'information peut être facilement disponible ou récupérable pour certains écosystèmes indigènes (telles que les zones boisées de l'ouest de l'Amérique du Nord où les données LiDAR permet-

tent la création de modèles de référence à l'échelle du paysage ; Wiggins *et al.* 2019), alors que pour d'autres les sites de référence et les données peuvent être rares (tels que les écosystèmes forestiers côtiers menacés du Chili pour lesquels il ne reste que quelques petites parcelles de forêt ; Echeverria *et al.* 2006). Dans la plupart des cas, les parties prenantes et les chefs de projet devront faire avec ces manques d'information et / ou ressources disponibles en utilisant un jugement professionnel. Dans tous les cas, les meilleures informations disponibles doivent être combinées à un travail d'investigation solide (Swetnam *et al.* 1999) pour développer des modèles optimaux permettant de prédire l'état du système en l'absence de dégradation.

Le développement de modèles de référence intègre idéalement un large éventail d'attributs écosystémiques, y compris l'absence de menaces, la composition spécifique, la structure des communautés, les conditions physiques, les fonctions écosystémiques et les échanges externes (Principe 3). Certains de ces attributs, tels que la structure de la communauté (c'est à dire l'architecture des strates de végétation, des niveaux trophiques et des modèles spatiaux) et la composition spécifique (c'est à dire les types d'espèces présentes) sont relativement simples à évaluer, tandis que d'autres, tels que les fonctions écosystémiques, sont plus complexes, mais tout aussi importants. Les organismes interagissent avec leur environnement et avec d'autres organismes de manière complexe, entraînant des flux d'énergie, de nutriments, d'eau et d'autres matériaux, appelés fonctions écosystémiques. Outre leur soutien à l'intégrité écologique, les fonctions

écosystémiques fournissent les services nécessaires à la vie (nourriture, fibre, eau, médicaments) et leur inclusion dans les modèles de référence est essentielle. Qui plus est, les attributs physiques des écosystèmes et les apports écologiques (telles que les graines et autres propagules) qui traversent ces écosystèmes sont importants à prendre en compte lors du développement des références, puisqu'ils constituent le contexte dans lequel les interactions entre les espèces se produisent.

En plus d'incorporer les composantes individuelles de l'écosystème, les modèles de référence devraient refléter la complexité écosystémique ainsi que les relations entre les composantes de l'écosystème (Green et Sadedin 2005). Les écosystèmes sont composés de composantes vivantes (biotiques) et non vivantes (abiotiques) qui interagissent de manière complexe. Par exemple, les plantes et les sols sont étroitement liés par un système de biorégulation (Perry, 1994). Les plantes affectent directement les propriétés chimiques, physiques et biologiques des sols. Ainsi, le type de plantes poussant dans un écosystème affecte tous les aspects des sols de ce système. De même, les propriétés chimiques, physiques et biologiques du sol affectent les types de plantes qui poussent dans une zone. Ces relations et cette biorégulation ne sont pas propres aux écosystèmes terrestres seulement. Dans les systèmes aquatiques, la productivité primaire (dans laquelle l'énergie est fixée via la photosynthèse) est étroitement liée à la productivité des niveaux trophiques supérieurs et détermine la structure globale du réseau trophique (Vander Zanden *et al.* 2006). Bien que la prise en compte explicite de l'ensemble des composantes et des interactions dans un écosystème soit impossible, le modèle de référence devrait être développé avec l'aspiration d'inclure autant de composantes et d'interactions que possible et devrait au minimum inclure des indicateurs pour chacun des attributs écosystémiques clés identifiés dans le Principe 3. Les projets qui mettent l'accent sur un nombre limité de

facteurs, tels que ceux qui se concentrent sur des services écosystémiques uniques, peuvent avoir un potentiel limité à restaurer la complexité écosystémique d'ensemble. D'autre part, les projets intégrant de nombreux facteurs dans leurs modèles de référence et dans leurs buts de projet peuvent avoir une plus grande probabilité de restaurer des écosystèmes qui protègent en définitive la biodiversité, qui offrent une résilience écologique et qui fournissent des taux plus élevés de services écosystémiques à long terme.

INTÉGRER LES CHANGEMENTS HISTORIQUES ET FUTURS

Les écosystèmes répondent aux conditions environnementales changeantes, ce qui ajoute de la complexité à la restauration écologique et à d'autres types de gestion des écosystèmes. Pour tenir compte des changements temporels, le modèle de référence est conçu comme la condition dans laquelle se trouverait l'écosystème cible en l'absence de dégradation, tout en anticipant les changements futurs. Il ne représente pas une condition dans le passé. Les informations historiques peuvent être utiles dans l'élaboration de modèles de référence, surtout si des sites de référence modernes ne sont pas disponibles. Cependant, lors de l'utilisation de données historiques pour élaborer des modèles de référence, il convient de toujours tenir compte du degré de changement de fond environnemental qui s'est produit (comme les changements de température, de précipitations et dans les sols) ou qui devrait se produire (le changement climatique notamment) ainsi que la mesure dans laquelle le modèle de référence doit être ajusté pour tenir compte de ces changements (voir également l'Encadré 2 et l'Annexe 1).

Le changement écosystémique découle de facteurs externes à l'écosystème, tels que le climat, mais aussi par le biais de processus de succession, or de nombreux types d'écosystèmes présentent de

multiples stades de succession. Pour cette raison, le stade de succession du site de restauration doit être pris en compte lors de la sélection des sites de référence. Par exemple, les écosystèmes à succession tardive (tels que les forêts vieilles de 1 000 ans) sont probablement des sites de référence inadaptés pour les phases initiales d'une restauration de peuplements forestiers à succession précoce, bien qu'ils soient utiles pour guider le modèle de référence à phases multiples sur le long terme et pour fixer des objectifs de projet à longue portée. De plus, pour certains sites, il peut y avoir de multiples aboutissements de succession éventuels, basés sur des événements fortuits tels que des perturbations naturelles ou l'ordre d'arrivée des espèces (Chase 2003). Plutôt que de supposer que le système suivra toujours une seule trajectoire de succession, il peut être utile de développer un ensemble de modèles de référence pour plusieurs trajectoires potentielles. Intégrer les dynamiques d'équilibre dans les modèles de référence rend la planification de la restauration nettement plus complexe, mais facilitera la réussite du projet en donnant aux gestionnaires une perspective plus éclairée sur les résultats appropriés du projet ou, lorsqu'un des multiples états stables potentiels est souhaité, en aidant les gestionnaires à éviter les rétroactions qui pourraient entraîner le système dans des directions imprévues (par exemple, gérer l'ordre des introductions d'espèces ou éliminer les espèces susceptibles de pousser le système dans une direction non voulue ; Suding & Gross 2006).

SITES DE RÉFÉRENCE ET AUTRES SOURCES D'INFORMATION

Parce qu'il n'y a pas deux sites identiques, la bonne pratique consiste à utiliser plusieurs sites de référence et d'autres informations pour développer le modèle de référence. L'inventaire d'un site ne capturera qu'une fraction du pool d'espèces et ne représentera probablement pas l'état moyen de l'écosystème cible.

Les écosystèmes très hétérogènes nécessiteront davantage de sites de référence que ceux plus homogènes. Cependant, en raison du degré élevé d'altération des terres à l'échelle mondiale, de nombreux écosystèmes peuvent ne pas avoir un nombre suffisant de sites de référence et les praticiens peuvent avoir besoin de s'appuyer sur des modèles de succession et sur d'autres sources d'information comme détaillé ci-dessous.

En plus des informations provenant des sites de référence, les informations découlant de l'état initial du site et à partir de sources d'indices indirectes et secondaires peuvent aider à déterminer les conditions de référence (Clewell & Aronson 2013 ; Liu & Clewell 2017). Ces sources secondaires, bien qu'imparfaites, peuvent aider à guider la planification de la restauration avec efficacité (Egan & Howell 2001). Par exemple, les informations historiques obtenues à partir d'archives naturelles et de documents culturels peuvent fournir des informations précieuses. Une archive naturelle importante, est, par exemple, les anneaux de croissance annuels des arbres plus âgés, qui peuvent révéler des épisodes passés de sécheresse et d'incendie. Les graines anciennes et autres fragments de plantes cachés par les rongeurs dans des grottes peuvent généralement être identifiés jusqu'au niveau de l'espèce. La banque de graines du sol ainsi que les dépôts de pollen dans le sol et dans des sédiments peuvent être utilisés pour identifier les espèces végétales présentes sur un site. Les rondins, les gros débris ligneux et le charbon de bois enfouis dans un sol humide ou dans des sédiments peuvent être excavés, identifiés jusqu'au niveau de l'espèce, et peuvent révéler les conditions de l'ancienne végétation qui a disparu depuis longtemps. Les registres culturels comprenant des photos (y compris des photos aériennes et de re-photographie), des peintures de paysages, des cartes, des journaux et des livres, ainsi que des relevés fonciers sont des sources possibles d'information sur les conditions historiques de la végétation. Les descriptions d'espèces

plus anciennes figurant dans les relevés floristiques locaux incluent généralement des informations sur l'habitat. Les étiquettes des spécimens dans les herbariums et dans les musées identifient les espèces collectées sur des sites spécifiques il y a de cela de nombreuses années, et énumèrent parfois les autres espèces qui s'y trouvaient avec. Il faut cependant être prudent lorsqu'on utilise ces sources d'information historiques, car leurs conditions historiques peuvent être des prédicteurs inadéquats des conditions modernes. De plus, les archives naturelles et les registres culturels ont chacun leurs propres influences et limitations affectant les déductions. Enfin, il existe peu d'écosystèmes dont les conditions historiques sont parfaitement connues. Même pour les endroits où les données sont disponibles, les informations sont limitées à un ou quelques composantes et processus écosystémiques.

Les autres sources d'information essentielles à l'élaboration des modèles de référence comprennent les connaissances écologiques traditionnelles et locales (telles que les SET et les Savoirs Locaux ; Zedler et Stevens 2018), ainsi que les bases de données et outils qui caractérisent les propriétés écosystémiques (tels que les descriptions de sols, la distribution des espèces rares). Si seules quelques espèces sont identifiables à partir de ces sources d'indication indirectes, un écologiste familier avec l'histoire naturelle de la région peut habituellement déterminer l'état estimé des écosystèmes si la dégradation ne s'était pas produite et en déduire la composition spécifique. Des plans de mise en œuvre peuvent être préparés à partir de descriptions d'exemples existants sur ces mêmes écosystèmes.

Un investissement adéquat dans l'élaboration d'un modèle de référence est une considération importante dans la planification et dans la budgétisation du projet. La qualité du modèle de référence variera selon les projets, en fonction des ressources du projet et des sites et informations disponibles. Les parties prenantes et les chefs de projet devraient

aspirer à créer le meilleur modèle possible compte tenu des contraintes du projet. À noter que sur certains territoires, des modèles de référence peuvent avoir déjà été développés pour certains écosystèmes.

PARTIE 2. IDENTIFIER LES APPROCHES APPROPRIÉES À LA RESTAURATION ÉCOLOGIQUE

Pendant des millions d'années, les processus naturels de rétablissement ont réparé de manière spontanée des sites naturellement perturbés dans les environnements terrestres et aquatiques (volcans, glissements de terrain, glaciation, impacts d'astéroïdes, changements du niveau de la mer, tsunamis, érosion des berges ; Matthews 1999, par exemple). Bien que les modèles de rétablissement séquentiels (c'est à dire la succession) diffèrent selon les écosystèmes, toutes les espèces indigènes ont probablement acquis une certaine capacité de rétablissement après des perturbations ou des stress naturels auxquels elles se sont adaptées (Holling 1973 ; Westman 1978). En comprenant le fonctionnement des processus de rétablissement en cas de perturbations naturelles, des stratégies de restauration de la dégradation causée par l'Homme peuvent être développées (Cairns *et al.* 1977 ; Chazdon 2014). Une évaluation correcte de la capacité des espèces individuelles à se régénérer sur un site spécifique facilite la sélection d'approches et de traitements appropriés, permettant ainsi une utilisation efficace des ressources financières et autres intrants pour la restauration (McDonald 2000; Martínez-Ramos *et al.* 2016).

Une première étape dans la définition de stratégies de restauration efficaces consiste à identifier les contraintes (parfois appelées « filtres » ou « barrières ») empêchant le rétablissement de l'écosystème (Hobbs et Norton 2004 ; Hulvey et Aigner 2014). Ces contraintes incluront bien sûr les causes

anthropiques de la dégradation, mais aussi les conséquences de celles-ci, telles que des substrats inadaptés, une absence de niches, des niches altérées, un manque de ressources, le broutage, la compétition, un manque de propagules disponibles, ou l'absence de signaux pour lever la dormance des graines. En s'attaquant aux contraintes qui empêchent le rétablissement sans en introduire de nouvelles, les processus naturels qui ont fonctionné au cours de l'évolution peuvent être rétablis pour aider au rétablissement du site perturbé (par exemple, la revégétalisation à partir de propagules stockées ; McDonald 2000 ; Prach & Hobbs 2008).

La **régénération naturelle**, parfois appelée restauration « passive », est souvent l'approche la plus rentable lorsque l'aptitude naturelle de rétablissement est élevée. Cependant, lorsque cette aptitude de régénération naturelle est absente ou faible, il est généralement nécessaire de restituer ou de renforcer les organismes ou les populations épuisés par des moyens plus actifs, tels que la **régénération assistée** ou la **reconstruction**, parfois appelée restauration « active ». Ces trois **approches** utilisent des processus naturels de rétablissement et nécessitent une gestion adaptative continue jusqu'à ce que le rétablissement soit atteint.

1. La régénération naturelle (ou spontanée).

Lorsque les dommages sont relativement faibles et que la couche arable est conservée, ou lorsqu'il y a des délais suffisants et des populations proches permettant la recolonisation, les plantes et les animaux peuvent être en mesure de se rétablir après l'arrêt de certains types de dégradation (Prach *et al.*, 2014 ; Chazdon et Guariguata, 2016). Cela peut inclure l'élimination de la contamination, du pâturage inapproprié, de la surpêche, de la restriction des débits d'eau et des régimes d'incendie inappropriés. Les espèces animales peuvent être en mesure de recoloniser le site si la connectivité de l'habitat est suffisante, et les espèces végétales peuvent se rétablir par repousse ou germination à

partir des banques de graines du sol restantes ou des graines qui se dispersent naturellement à partir de sites voisins (Grubb et Hopkins 1986 ; Powers *et al.* 2009). Dans certains cas, la régénération naturelle peut également être utilisée sur des sites fortement perturbés, tels que des carrières et des mines abandonnées, bien que ce soit vraisemblablement un processus de long terme (Prach & Hobbs 2008).

2. La régénération accompagnée. La restauration de sites à dégradation intermédiaire ou supérieure nécessite l'élimination des causes de dégradation et des interventions actives pour corriger les dommages abiotiques et biotiques et déclencher le rétablissement biotique (par exemple, en imitant les perturbations naturelles ou en fournissant des ressources clés). Des exemples d'interventions abiotiques comprennent : la restauration active des conditions chimiques ou physiques du substrat ; la construction d'habitats tels que les récifs de coquillages¹ (O'Beirn *et al.* 2000) ; le remodelage des cours d'eau (Jordan & Arrington 2014) et des reliefs (Prach & Hobbs 2008) ; le rétablissement des flux environnementaux et du passage des poissons dans les estuaires et les rivières (Kareiva *et al.* 2000) ; l'application des perturbations artificielles pour lever la dormance des graines (Mitchell *et al.* 2008) ; et l'installation des éléments d'habitat tels que des rondins creux, des roches, des tas de débris ligneux, des microniches du sol et des arbres servant de perches (Elgar *et al.* 2014 ; Castillo-Escrivà *et al.* 2019). Des exemples d'interventions biotiques comprennent : le contrôle des espèces envahissantes (Saunders & Norton 2001 ; Chazdon *et al.* 2017) ; la **réintroduction** supplémentaire d'espèces qui ne peuvent pas migrer dans la zone de restauration sans assistance (par exemple, le **réensauvagement** d'animaux ou la réintroduction d'espèces d'arbres avec de très grosses graines) ; et le

1 — Note du traducteur : à défaut d'avoir trouvé le terme scientifique générique correspondant à la version originale « shellfish reefs », j'emploie « récifs de coquillages » qui permet de restituer le sens explicite du terme original.

rehaussement ou le **renforcement** des populations d'espèces appauvries pour lesquelles la diversité génétique est insuffisante (voir également l'Annexe 1).

3. La reconstruction. Lorsque les dommages sont importants, il faut non seulement supprimer ou inverser toutes les causes de dégradation et corriger tous les dommages biotiques et abiotiques pour correspondre à l'écosystème de référence indigène identifié, mais il faut également réintroduire dans la mesure du possible la totalité ou une majeure partie du biote que l'on souhaite (Bradshaw 1983 ; Seddon *et al.* 2004). Le biote peut alors interagir avec les composantes abiotiques pour accélérer le rétablissement des attributs écosystémiques. Au cas où le rétablissement séquentiel serait une caractéristique de l'écosystème ou serait nécessaire (par exemple, pour aider au rétablissement des sols), les espèces des premiers stades de succession pourraient être réintroduites plus tôt que les espèces des stades ultérieurs (Temperton *et al.* 2004). Cependant, dans les écosystèmes ne présentant pas ces modèles de succession, il peut être nécessaire d'introduire toutes les espèces dès le départ (Rokich 2016).

Une mosaïque des trois approches peut être justifiée et cartographiée, lorsqu'il existe différents degrés de dégradation sur un site, ou comme technique permettant d'augmenter l'efficacité et réduire les coûts (Bradshaw 1983 ; Walker 2011), en particulier à plus grande échelle. C'est-à-dire que certaines parties d'un site peuvent nécessiter d'une approche de régénération naturelle, d'autres d'une approche de régénération accompagnée et d'autres encore d'une approche de reconstruction, ou d'une combinaison selon le cas de figure. Une approche combinée est la **nucléation appliquée**, qui consiste à planter de petites parcelles de végétation (souvent des arbres) attirant les espèces propagatrices et facilitant l'établissement de nouvelles recrues, étendant la zone boisée au

fil du temps. La nucléation appliquée s'est révélée prometteuse dans la restauration des décharges à ciel ouvert (Corbin *et al.* 2016), des zones boisées méditerranéennes (Rey Benayas *et al.* 2008), des forêts tropicales (Corbin et Holl 2012 ; Holl *et al.* 2017) et d'autres écosystèmes.

Décider d'une approche ou d'une combinaison appropriée peut ne pas être évident. La connaissance et l'expérience sont importantes pour évaluer la potentialité d'une régénération naturelle et déterminer si ce potentiel peut répondre à des formes particulières de soutien (et en temps opportun). Lorsque des connaissances spécifiques ne sont pas disponibles, une approche de gestion adaptative permettant de comprendre l'efficacité des différents types de régénération est appropriée (par exemple, en laissant quelques années pour évaluer le taux de régénération naturelle avant de décider de la meilleure approche ; Holl *et al.* 2018). Répondre aux conditions du site de cette manière garantira des niveaux de similitude optimaux entre l'aboutissement de la restauration et les conditions définies par le modèle de référence.

LES INITIATIVES MONDIALES DE RESTAURATION

- Les Objectifs de développement durable (ODD) de l'Organisation des Nations Unies (ONU) à l'horizon 2030 appellent à la restauration des écosystèmes marins et côtiers (objectif 14), et des forêts et autres écosystèmes dégradés (objectif 15). Le 1er mars 2019, à l'appui d'un large éventail d'ODD et des nombreuses initiatives ci-dessous, l'Assemblée générale de l'ONU a déclaré 2021-2030 comme la Décennie pour la restauration des écosystèmes. Le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE), l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), le Forum mondial sur les paysages (GLF) et l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN), entre autres, sont censés mener des programmes de mise en œuvre et d'échange de connaissances dans le cadre de la Décennie pour la restauration des écosystèmes.
- La Convention sur la diversité biologique (CDB) a pour objectif de restaurer 15% des écosystèmes dégradés d'ici 2020 afin d'atténuer les effets du changement climatique et de lutter contre la désertification (objectif d'Aichi n° 15 pour la biodiversité), et considère la restauration écologique comme essentielle pour fournir des services écosystémiques primordiaux (objectif d'Aichi n° 14 pour la biodiversité). La CDB a adopté un plan d'action à court terme sur la restauration des écosystèmes (CDB 2016), et la restauration devrait jouer un rôle encore plus important à mesure que les objectifs actuels sur la biodiversité expirent et sont révisés pour le cadre de la biodiversité post-2020. La CDB (2018) encourage également les Parties à redoubler d'efforts pour « ... recenser les régions, les écosystèmes et les éléments constitutifs de la biodiversité qui sont ou qui deviendront vulnérables face aux changements climatiques ... et promouvoir la restauration des écosystèmes et la gestion durable après-restauration. »
- La Convention des Nations Unies sur la lutte contre la désertification (CNULCD) encourage la restauration et la réhabilitation des terres dans le contexte du cadre stratégique de la CNULCD 2018-2030, et en particulier pour atteindre la Neutralité de la dégradation des terres (LDN ; Orr *et al.* 2017), à travers laquelle « la quantité et la qualité des ressources terrestres, nécessaires pour appuyer les fonctions et services afférents aux écosystèmes et améliorer la sécurité alimentaire, restent stables ou progressent dans le cadre d'échelles temporelles et spatiales déterminées et d'écosystèmes donnés » (CNULCD 2017). Les zones arides qui sont actuellement et qui seront dans le futur soumises au changement climatique seront très vulnérables, ce qui nécessitera une collaboration plus étroite entre les trois Conventions de Rio (CDB, CNULCD, CCNUCC) sur la façon d'éviter, de réduire et d'inverser la dégradation des terres, soutenue par les pratiques de gestion durable des terres, tout en tenant compte des missions spéciales de chaque convention (Akhtar-Schuster *et al.* 2017 ; Chasek *et al.* 2019).
- La Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques (IPBES 2018) promeut la « restauration des terres », y compris les activités telles que la restauration de la productivité agricole, l'adoption de bonnes pratiques agricoles et d'autres activités d'utilisation durable. L'évaluation mondiale de la biodiversité et les ser-

vices écosystémiques de l'IPBES (2019) (<https://www.ipbes.net/global-assessment-biodiversity-ecosystem-services>) rapporte qu'environ 1 million d'espèces animales et végétales sont maintenant menacées d'extinction, dont plusieurs d'ici quelques décennies, plus que jamais auparavant dans l'histoire de l'humanité. La perte en biodiversité n'est pas seulement un problème environnemental, mais aussi un problème de développement, économique, sécuritaire, social et moral. Les actions de restauration et d'atténuation du changement climatique terrestre sont considérées comme des éléments clés du changement transformatif qui est nécessaire afin d'éviter des extinctions massives et la perte de services écosystémiques qui en résulte.

- L'initiative la plus importante et la plus diversifiée pour la restauration à grande échelle est le Défi de Bonn, lancé par le gouvernement allemand et l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN), puis approuvé et prolongé par la Déclaration de New York sur les forêts (objectif 5). Cet effort mondial vise à remettre en état 150 millions d'hectares de terres déboisées et dégradées d'ici 2020 et 350 millions d'hectares d'ici 2030. Le Défi de Bonn a galvanisé les engagements nationaux et infranationaux de haut niveau de 58 gouvernements et gestionnaires fonciers, totalisant plus de 170 millions d'hectares, pour évaluer les opportunités et pour mettre en œuvre des activités restauratrices en utilisant l'approche de Restauration des paysages forestiers (RPF).
- En soutien au Défi de Bonn, plusieurs initiatives régionales aident à rassembler les pays pour partager leurs engagements, leurs connaissances, leurs outils et leurs capacités en matière de RPF. En Amérique latine, cela comprend l'Initiative 20x20, qui vise à mettre en restauration 20 millions d'hectares de terres dégradées d'ici 2020. De même, l'Initiative pour la restauration des paysages forestiers africains (AFR100) est un effort mené par les pays africains pour mettre en restauration 100 millions d'hectares de terres dégradées d'ici 2030. Les initiatives 20x20 et AFR100 ont toutes deux dépassé leurs objectifs d'engagement. Les 17 pays soutenant le Défi de Bonn via 20x20 ont engagé 50 millions d'hectares et les 28 pays soutenant l'AFR100 ont engagé 113 millions d'hectares à ce jour. En plus de ces initiatives, de nouvelles plateformes régionales émergent dans les régions caucasiennes et d'Asie centrale, en Europe et en Asie du Sud-Est, ainsi que nombres d'autres engagements à grande échelle en faveur de la RPF dans le reste du monde à l'échelle nationale et infranationale.
- Des activités restauratrices supplémentaires aux niveaux national et infranational sont proposées ou promues dans le cadre des projets REDD + (Réduction des émissions provenant du déboisement et de la dégradation des forêts), dans le cadre des Contributions déterminées au niveau national (CDN) de la CCNUCC, par le Forum mondial sur les paysages (GLF), et à travers des milliers de projets à échelle locale, régionale et nationale dans le monde entier.

PARTIE 3.

LE RÔLE DE LA RESTAURATION ÉCOLOGIQUE PARMIS LES INITIATIVES MONDIALES DE RESTAURATION

Au cours des 30 dernières années, la restauration écologique est passée d'une mise en œuvre à petite échelle à une stratégie primordiale pour conserver la biodiversité et améliorer le bien-être humain à travers de grands paysages. Lorsque la vision d'une restauration dépasse le stade de petites échelles, les objectifs et les approches de la restauration doivent être échelonnés en conséquence (Principe 7). Les modèles de paysages (relations spatiales des types d'écosystèmes) et les processus au niveau du paysage (tels que le débit d'eau, l'érosion, les flux de nutriments, les changements d'utilisation des terres) sont des attributs importants à prendre en considération (Holl *et al.* 2003). À grande échelle, une plus grande diversité d'écosystèmes, de parties prenantes et d'utilisations des terres crée des objectifs concurrents, mais peut également engendrer des solutions communes. Par conséquent, une restauration à cette échelle doit se concentrer sur l'apport d'avantages multiples, complémentaires et intégrés pour les écosystèmes et les parties prenantes.

LES INITIATIVES DE RESTAURATION À L'ÉCHELLE MONDIALE

La prise de conscience croissante de la nécessité des réparations environnementales et socioculturelles a conduit à une accélération mondiale de la restauration écologique et des activités restauratrices associées (Introduction, Principe 7). Cependant, la dégradation des terres s'est poursuivie pour la plupart sans relâche, et il est de plus en plus urgent de lutter et de contrer les effets de cette dégradation. À cette fin, plusieurs initiatives et accords de restauration à grande échelle ont été lancés mondialement promouvant un large éventail de **solutions fondées sur la nature** et de **gestion des écosystèmes** (Encadré 10). Dans bon nombre

de ces initiatives et accords, la restauration est définie de manière large (par exemple, la Restauration de paysages forestiers) et comprend toute activité se trouvant le long du continuum restaurateur (Principe 8). Ces initiatives se concentrent principalement sur l'amélioration de la santé écologique et de la productivité des paysages pour soutenir le bien-être actuel et futur des populations, pour protéger la biodiversité, pour réduire les risques de catastrophes, et pour atténuer les effets du changement climatique et s'y adapter. Pour certaines initiatives, la restauration est considérée comme une méthode permettant d'améliorer l'accès aux ressources naturelles ainsi que leur durabilité. D'autres reconnaissent le potentiel de la restauration, entre autres, pour catalyser les économies rurales, pour fournir des emplois et des revenus, et pour améliorer la sécurité alimentaire et hydrique. Ces aboutissements ne s'excluent pas nécessairement mutuellement. En fait, lorsque l'accès équitable aux ressources naturelles et leur utilisation durable sont le résultat de programmes de restauration à grande échelle, d'autres buts mondiaux sont également atteints.

LES APPROCHES D'UNE RESTAURATION DE PAYSAGES

De nombreuses initiatives de restauration à grande échelle offrent la possibilité d'employer des approches de restauration de paysages. La restauration de paysages implique des pratiques basées sur les principes de l'écologie du paysage et de la science de la durabilité des paysages (*Landscape Sustainability Science* ou *LSS* ; Frazier *et al.* 2019), dans lesquelles un « paysage » est considéré comme un système socio-écologique. La LSS se concentre sur l'amélioration de la relation dynamique entre les services écosystémiques et le bien-être humain dans un contexte de conditions sociales, économiques et environnementales évolutives. Conformément à la définition de la durabilité d'un paysage (Wu 2013), la **restauration de paysages** peut être définie

comme un processus planifié qui cherche à restaurer l'intégrité écologique à l'échelle du paysage et la capacité d'un paysage à fournir durablement des services écosystémiques spécifiques au paysage, qui sont essentiels à l'amélioration du bien-être humain. En conséquence, la restauration de paysages implique des cibles et des buts aussi bien écologiques que sociaux (Principe 1). D'autres approches pour la restauration à grande échelle incluent le concept de **Paysages multifonctionnels durables**, qui sont « des paysages créés et gérés permettant d'intégrer la production humaine et l'utilisation des paysages au sein du tissu écologique d'un paysage préservant les fonctions écosystémiques critiques, les flux de services et la conservation de la biodiversité » (O'Farrell & Anderson 2010).

Mener des activités de restauration de paysages nécessite une compréhension approfondie de la composition, de la structure, de la fonction du paysage ainsi que du lien entre intégrité écologique et la satisfaction des besoins humains (Wu 2013). Ces attributs paysagers diffèrent de ceux pris en considération pour la restauration écologique à l'échelle d'un site (composition, structure, fonction à l'échelle de l'écosystème ou de la communauté, ainsi qu'aux niveaux inférieurs (espèces, gènes) de la hiérarchie biologique ; Principe 7). La restauration de paysages implique des considérations en matière de hiérarchie biologique supérieures à celles de l'échelle de l'écosystème, et une considération explicite des types et proportions des écosystèmes du paysage, de l'organisation spatiale des unités et du lien entre la composition, la structure et les fonctions du paysage. Dans certains cas, la restauration des fonctions, des flux d'énergie, des nutriments et d'autres apports à travers le paysage peut être tout aussi importante que la restauration de la composition et de la structure, en particulier pour l'approvisionnement de services écosystémiques particuliers. Par exemple, la restauration des processus hydrologiques et des mouvements d'eau

entre écosystèmes est essentielle pour la régulation des écoulements des eaux, qui est un des services écosystémiques suscitant souvent un intérêt pour la restauration. La planification et l'exécution de projets de restauration à l'échelle du paysage nécessitent une évaluation à échelle égale de la dégradation écologique et des besoins en restauration, en prenant en compte la biodiversité et les services écosystémiques ainsi que les compromis à faire entre ces derniers. Les activités de la restauration de paysages devraient être concentrées dans des endroits stratégiques, avec un équilibre entre avantages écologiques et sociaux (Doyle et Drew 2012), et devraient être menées à travers et au-delà des bassins versants entiers (UICN et WRI 2014 ; Liu *et al.* 2017).

Les gouvernements sont souvent impliqués dans des programmes de restauration de paysages en coopération avec des administrations locales et des groupes de parties prenantes. Des plateformes d'engagement des parties prenantes sont conçues pour plusieurs raisons importantes, notamment pour développer un sens des responsabilités vis-à-vis du paysage et pour souligner comment les différentes parties prenantes perçoivent le potentiel de la restauration ainsi que ses coûts et avantages. En revanche, à moins que les processus dirigés par les parties prenantes ne soient compatibles avec les concepts de la science de la durabilité des paysages, des compromis clés entre les services souhaités par les parties prenantes, la biodiversité et l'intégrité écologique peuvent ne pas être pris en compte et les paysages risquent d'être dégradés davantage. Il est essentiel de gérer les compromis pour maximiser la durabilité du paysage, car atteindre une efficacité à long terme pour des programmes nationaux de restauration nécessite la prise en compte des besoins des générations futures et des options pour améliorer la durabilité future face au changement climatique.

Des outils d'aide à la prise de décision peuvent aider

LES PRINCIPES RPF

Les membres du Partenariat mondial sur la restauration des paysages forestiers ont ci-dessous reformulé et renforcé un ensemble simplifié de principes RPF de longue date (Besseau *et al.* 2018).

- Focus sur les paysages - La RPF se déroule au sein et à travers des paysages entiers, et non sur des sites individuels, représentant une mosaïque d'utilisations des terres et de pratiques de gestion interagissant entre elles sous la tutelle de divers régimes fonciers et de gouvernance. C'est à cette échelle que les priorités écologiques, sociales et économiques peuvent être équilibrées.
- Engager les parties prenantes et soutenir la gouvernance participative - La RPF engage activement les parties prenantes à différentes échelles, y compris les groupes vulnérables, dans la planification et dans les prises de décision concernant l'utilisation des terres, les objectifs et les stratégies de restauration, les méthodes de mise en œuvre, le partage des avantages, et les processus de suivi et d'examen.
- Restaurer de multiples fonctions pour de multiples bénéficiaires - Les interventions RPF visent à restaurer une multitude de fonctions écologiques, sociales et économiques à travers un paysage et à générer une gamme de biens et services écologiques qui bénéficient à plusieurs groupes de parties prenantes.
- Maintenir et rehausser les écosystèmes naturels au sein des paysages - La RPF n'entraîne pas la conversion ou la destruction des forêts naturelles ou autres écosystèmes. Elle améliore la conservation, le rétablissement et la gestion durable des forêts et autres écosystèmes.
- S'adapter au contexte local par le biais d'approches variées – La RPF utilise une variété d'approches qui sont adaptées aux valeurs locales, sociales, culturelles, économiques et écologiques, aux besoins et à l'histoire du paysage. Elle s'appuie sur les connaissances scientifiques et sur les bonnes pratiques les plus récentes, ainsi que sur les connaissances traditionnelles et indigènes, et applique ces informations dans le contexte des capacités locales et des structures de gouvernance existantes ou nouvelles.
- Gérer de manière adaptative pour une résilience à long terme - La RPF cherche à améliorer la résilience d'un paysage et de ses parties prenantes à moyen et long terme. Les approches de restauration devraient rehausser la diversité des espèces et la diversité génétique, et devraient être ajustées au fil du temps pour refléter les changements climatiques et autres conditions environnementales, les connaissances, les capacités, les besoins des parties prenantes et les valeurs sociétales. À mesure que la restauration progresse, les informations provenant des activités de suivi, de recherche et des conseils des parties prenantes devraient être intégrées dans les plans de gestion.

à définir et à cartographier la dégradation, à fixer des objectifs de restauration, à discerner les compromis et les synergies entre les actions ou approches de restauration potentielles et à identifier les opportunités de restauration (UICN et WRI 2014 ; Hanson *et al.* 2015 ; Chazdon & Guariguata 2018 ; Evans et Guariguata 2019). Par ailleurs, l'intégration d'informations sur la biodiversité, la modélisation de la répartition des espèces et la modélisation de l'adéquation de l'habitat à l'échelle du paysage peuvent identifier les zones où la restauration écologique peut réduire les menaces pesant sur les espèces ou restaurer activement leurs populations ou leur habitat (Beatty *et al.* 2018a). De plus, des analyses économiques ainsi que des scénarios basés sur l'offre de services écosystémiques et sur les avantages de la biodiversité peuvent contribuer à la compréhension du rapport coût-efficacité et des coûts totaux des actions de restauration spécifiques dans des zones particulières. Cependant, des outils supplémentaires d'aide à la prise de décision sont indispensables pour évaluer la fourniture de services écosystémiques sélectionnés, les compromis entre aboutissements écologiques et sociaux, et les aboutissements socioéconomiques tels que les moyens de subsistance et la sécurité alimentaire (Beatty *et al.* 2018b).

Un moyen important de faire progresser la science, la pratique et la politique en matière de restauration de paysages est de développer et de promouvoir la coopération bilatérale et multilatérale entre et au sein des pays. Une analyse bibliométrique démontre une augmentation significative des publications sur la restauration écologique dans les pays en voie de développement (tels que la Chine et le Brésil entre 1988 et 2017 ; Guan *et al.* 2019). Le partage d'expériences et d'expertise, le cofinancement et le codéveloppement de nouvelles connaissances pour des politiques et des pratiques plus efficaces devraient être encouragés entre les régions (Liu *et al.* 2019), et la **coopération Sud-Sud** est tout aussi importante pour le partage des connaissances dans

les pays en voie de développement et les pays nouvellement industrialisés (Liu *et al.* 2017).

La **Restauration des paysages forestiers (RPF)**, qui correspond à la principale approche du Défi de Bonn et d'autres initiatives mondiales de restauration, a accru la prise de conscience de la nécessité de la restauration et des activités restauratrices associées à l'échelle du paysage. Cela dit, les activités mises en œuvre dans le cadre de la Restauration des paysages forestiers ne sont pas nécessairement équivalentes à celles employées pour la restauration écologique - une situation qui a contribué à la confusion du concept de la restauration. Bien que la RPF soit définie comme « un processus visant à recouvrer l'intégrité écologique et à améliorer le bien-être humain dans les paysages forestiers déboisés ou dégradés » (Beseau *et al.* 2018), la restauration écologique n'est qu'une des nombreuses activités de la RPF. En fait, les programmes de RPF comprennent une gamme d'activités alignées sur le « continuum restaurateur » décrit au Principe 8 (à savoir la réduction des impacts, la remédiation, la réhabilitation, la restauration écologique), y compris la conservation des zones protégées existantes et l'augmentation de la durabilité dans les zones de production économique primaire. Il est important de noter que la RPF n'accorde pas nécessairement une valeur plus élevée à un type d'activité du continuum qu'à un autre. La restauration écologique, par exemple, n'est pas considérée comme une option intrinsèquement meilleure que l'agriculture de conservation ou l'agroforesterie. Cela dit, de nombreux praticiens de la RPF considèrent la restauration écologique comme un élément clé de chaque projet RPF. Ces praticiens reconnaissent que les zones principalement consacrées à la production économique, en particulier les paysages agricoles dégradés, ont d'énormes besoins d'interventions sociales, économiques et écologiques. L'application d'une approche intégrée et holistique pour la conservation et la réparation des écosystèmes est susceptible d'apporter des

améliorations directes au bien-être humain de manière efficace et équitable, une approche similaire à celle du programme de la Neutralité en matière de dégradation des terres (NDT) de la CNULCD. Cependant, la sélection des activités au sein de la RPF est basée sur de nombreux facteurs, y compris la façon dont l'activité atténue la dégradation ainsi que la façon dont elle peut soutenir les objectifs définis par les parties prenantes (tels que la résilience climatique, la sécurité alimentaire et hydrique, la conservation de la biodiversité). La RPF a été interprétée de manières différentes (Mansourian 2018) conduisant à plusieurs constructions de RPF (telles que la sauvegarde de la biodiversité, la réduction de la dégradation des terres ou le soutien à la production durable de bois). La transparence et la clarté de la communication, ainsi que la flexibilité pour mettre en œuvre une diversité d'activités de restauration dans un paysage, sont donc essentielles pour une mise en œuvre réussie.

Un large soutien politique existe pour la RPF et le Défi de Bonn, qui sont d'importants mécanismes pour la mise en œuvre des Conventions de Rio (CDB, CNULCD, CCNUCC), ainsi que celle des Objectifs de développement durable des Nations Unies et de nombreuses initiatives nationales, continentales et régionales. La RPF a permis aux pays et à d'autres acteurs de percevoir la réparation des écosystèmes et des paysages à travers les nombreux angles sociaux, économiques et écologiques différents qu'elle fournit. La RPF a déjà apporté une contribution importante aux objectifs d'Aichi (Beatty et al. 2018c). En outre, la participation de décideurs de haut niveau aux événements ministériels du Défi de Bonn a permis de soutenir la Décennie des Nations Unies pour la restauration des écosystèmes (2021-2030). Des inquiétudes par rapport au fait que la RPF soit réellement restauratrice, et qu'elle ne crée pas d'incitations perverses ni de dommages collatéraux, ont conduit à l'élaboration des principes RPF qui appellent à la restauration simultanée de multiples fonctions, ainsi qu'au



maintien et à l'amélioration des écosystèmes indigènes (Encadré 11).

CONCLUSION

Le monde entre dans une ère de restauration écologique avec des gouvernements du monde entier prenant des engagements impressionnants pour restaurer les terres et les paysages dégradés à travers un large éventail d'activités restauratrices, y compris la restauration écologique à la fois à l'échelle de l'écosystème et à celle du paysage. La restauration écologique est de plus en plus reconnue comme un outil essentiel pour atténuer et s'adapter aux effets des catastrophes environnementales et aux impacts du changement climatique. Elle soutient un processus qui améliore le bien-être humain aux niveaux individuel, communautaire et national. Lorsqu'elle est mise en œuvre efficacement, la restauration écologique peut procurer de profonds bénéfices provenant des services écosystémiques, allant des besoins les plus élémentaires tels que

l'amélioration de la sécurité alimentaire et hydrique jusqu'à la réduction de la propagation des maladies, ainsi qu'une amélioration de la santé physique, émotionnelle et mentale des individus.

La restauration écologique doit également être intégrée à la conservation et à la production durable. La restauration peut nous aider à passer, à l'échelle mondiale, de siècles de dommages environnementaux cumulatifs à la neutralité de la dégradation des terres (Encadré 10), et un jour à une amélioration écologique nette. La restauration écologique promet donc un gain net dans l'étendue et le fonctionnement des écosystèmes indigènes, ainsi que l'apport de bénéfices essentiels pour le bien-être humain. Le soutien des parties prenantes du monde entier est nécessaire pour y parvenir, ainsi qu'un engagement et des investissements mondiaux dans tous les types d'activités restauratrices. Cet investissement doit reposer sur une base scientifique solide, défendable et compréhensible, comme indiqué dans ces principes et normes de restauration.

Ce glossaire a été adapté et étendu à partir de Mc Donald *et al.* (2016a, b).

Abiotique / Abiotic – conditions et éléments non vivants, présents dans un écosystème donné, incluant les pierres et les rochers ou les substrats aqueux, l’atmosphère, les conditions climatiques et météorologiques, la topographie, les nutriments, l’hydrologie, le régime des feux et la salinité.

Activité / Activity – voir **Activités de restauration, Activités restauratrices.**

Activités restauratrices / Restorative activities – des activités (la restauration écologique notamment) qui réduisent la dégradation ou qui améliorent les conditions permettant le rétablissement partiel ou complet des écosystèmes. Elles sont parfois décrites comme une « famille » d’activités restauratrices interdépendantes.

Activités de restauration / Restoration activities – toute action, intervention ou traitement visant à promouvoir le rétablissement d’un écosystème ou d’une composante d’un écosystème, tel que les amendements du sol et du substrat, le contrôle des espèces envahissantes, le conditionnement de l’habitat, les réintroductions d’espèces et le renforcement des populations.

Activités associées / Allied activities – les pratiques restauratrices (telles que l’amélioration environnementale, la remédiation et la réhabilitation) qui réduisent les causes et les effets continus de la dégradation et qui améliorent le potentiel de rétablissement d’un écosystème.

Afforestation / Afforestation – le procédé d’introduire une forêt là où elle n’existait pas auparavant dans le passé historique.

Aire ou zone de provenance locale / Local provenance area or zone – une zone de collecte de propagules dans laquelle le transfert de propagules est susceptible de conserver les caractères adaptés aux conditions locales.

Approche de reconstruction / Reconstruction approach – une approche de restauration où l’arrivée de biotes appropriés dépend entièrement ou presque entièrement de l’action humaine car ils ne peuvent pas se régénérer ou se recoloniser dans les délais réalistes, même après des interventions de régénération assistée menées par des experts.

Approche de régénération naturelle (ou spontanée) / Natural (or spontaneous) regeneration approach – une restauration écologique qui ne repose que sur l’augmentation du nombre d’individus après élimination des causes de dégradation, par opposition à une approche de **régénération assistée.**

Approche de restauration / Approach (to restoration) – la catégorie des traitements de restauration (la régénération naturelle (ou spontanée), assistée, ou la reconstruction).

Aptitude de rétablissement naturel / Natural recovery potential – capacité des attributs écosystémiques à revenir sur un site par régénération naturelle. Le degré de cette aptitude au sein d’un écosystème dégradé dépendra de l’étendue et de la

durée de l'impact et si ce dernier ressemble à ceux auxquels les espèces de l'écosystème se sont adaptées au cours de la période évolutive. L'aptitude de rétablissement naturel doit être présente pour l'application des approches de régénération naturelle ou de régénération assistée à la restauration écologique.

Attributs / Attributes – voir **Attributs écosystémiques clés**.

Attributs écosystémiques / Ecosystem attributes – voir **Attributs écosystémiques clés**.

Attributs écosystémiques clés / Key ecosystem attributes – grandes catégories élaborées pour les normes de restauration dans le but d'aider les praticiens à évaluer le degré de rétablissement des propriétés biotiques et abiotiques et des fonctions d'un écosystème. Dans ce document, six catégories sont décrites : absence de menaces, conditions physiques, composition spécifique, diversité structurelle, fonctions écosystémiques et échanges externes. L'accomplissement de ces attributs conditionne la complexité, l'auto-organisation, la résilience et la durabilité.

Autogamie / Selfing – Autofécondation ou autopollinisation.

Auto-organisation / Self-organizing – un état dans lequel tous les éléments indispensables sont présents et les attributs de l'écosystème peuvent continuer de se développer vers l'état de référence approprié sans assistance extérieure. L'auto-organisation est mise en évidence par des modèles et des processus tels que la croissance, la reproduction, les ratios entre producteurs primaires, herbivores, et prédateurs, ainsi que la différenciation des niches – relatives aux caractéristiques de l'écosystème de référence identifiées. Elle ne s'applique pas facilement à la restauration des écosystèmes culturels traditionnels.

Biodiversité / Biodiversity – variabilité des organismes vivants de toute origine, y compris, entre autres, les écosystèmes terrestres, marins et autres écosystèmes aquatiques et les complexes écologiques dont ils font partie ; cela comprend la diversité au sein des espèces, et entre les espèces et ainsi que celle des écosystèmes.

Bien-être / Wellbeing – un état dépendant du contexte et de la situation dans lequel se trouvent les hommes, constitué d'éléments basiques permettant de vivre de manière satisfaisante, de posséder une certaine liberté et la possibilité de choisir, la santé, des relations sociales satisfaisantes et la sécurité.

Capital naturel / Natural capital – stocks de ressources naturelles qui sont renouvelables (écosystèmes, organismes), non-renouvelables (pétrole, charbon, minéraux, etc.), reconstituables (atmosphère, eau potable, sols fertiles) et cultivées (races locales, cultures patrimoniales, ainsi que le savoir-faire qui leur est attaché), et d'où découlent les services écosystémiques.

Cible / Target – les aboutissements écologiques et sociaux spécifiques recherchés en fin de projet, y compris l'écosystème indigène à restaurer.

Continuum restaurateur / Restorative continuum – un éventail d'activités soutenant ou atteignant directement ou indirectement au moins une partie du rétablissement des attributs écosystémiques qui ont été perdus ou altérés. Le continuum restaurateur comprend quatre grandes catégories d'activités restauratrices, chacune comprenant six autres catégories d'activités, tel qu'expliqué au Principe 8.

Continuum restaurateur / Restorative continuum – un éventail d'activités soutenant ou atteignant directement ou indirectement au moins une partie du rétablissement des attributs écosystémiques qui ont été perdus ou altérés. Le continuum restaurateur comprend quatre grandes

catégories d'activités restauratrices, chacune comprenant six autres catégories d'activités, tel qu'expliqué au Principe 8.

Coopération Sud-Sud / South-south cooperation

– un large cadre de collaboration entre les pays de l'hémisphère Sud sur les domaines politique, économique, social, culturel, environnemental et technique. Impliquant au moins deux pays en voie de développement, elle peut avoir lieu sur une base bilatérale, régionale, sous-régionale ou interrégionale.

Cycle (écologique) / Cycling (ecological) – transfère (entre les composantes d'un écosystème) de ressources telles que l'eau, le carbone, l'azote, et tout autre élément fondamental aux autres fonctions écosystémiques.

Découverte scientifique / Scientific discovery – connaissances obtenues à partir d'une approche structurée et logique, basée sur l'observation et la mesure systématiques, ainsi que sur la formulation, l'expérimentation et la modification des idées (hypothèses).

Dégradation d'un écosystème / Degradation (of an ecosystem) – type d'impact anthropique délétère sur les écosystèmes entraînant une perte de biodiversité et la simplification ou la perturbation de leur composition, leur structure et leur fonction, et qui mène généralement à une réduction des flux des services écosystémiques.

Dépression de consanguinité / Inbreeding depression – fitness biologique réduit dans une population donnée suite à la consanguinité ou la reproduction entre individus apparentés.

Dépression hybride / Outbreeding depression – lorsque la progéniture issue de croisements entre individus de populations différentes présente un fitness plus faible que la progéniture issue de croise-

ments entre individus de la même population.

Destruction (d'un écosystème) / Destruction (of an ecosystem) – quand la dégradation ou les dommages entraînent la disparition de l'ensemble de la vie macroscopique, et mènent généralement à la dégradation profonde de l'environnement physique d'un écosystème.

Domage (à l'écosystème) / Damage – un impact délétère grave et indéniable fait à un écosystème.

Échanges externes / External exchanges – flux bidirectionnels qui se produisent entre les unités écologiques d'un paysage ou d'un environnement aquatique, incluant les flux d'énergie, d'eau, de feu, de matériel génétique, d'organismes et de propagules. Ces échanges sont facilités par les corridors.

Écologie de la restauration / Restoration

Ecology – la branche de la science écologique qui fournit les concepts, les modèles, les méthodologies et les outils pour la pratique de la restauration écologique. Elle bénéficie également de l'observation directe et de la participation à la pratique de la restauration.

Écosystème / Ecosystem – assemblage de composantes biotiques et abiotiques dans des milieux aquatiques ou terrestres dans lesquels ces composantes interagissent pour créer des réseaux trophiques complexes, des cycles des nutriments et des flux d'énergie. Le terme « écosystème » est utilisé dans les Normes pour décrire un assemblage écologique quel que soit sa taille ou son échelle.

Écosystèmes culturels traditionnels / Traditional cultural ecosystems – écosystèmes qui se sont développés sous l'influence conjointe de processus naturels et d'une organisation imposée par l'Homme permettant de fournir une composition, une structure et une fonction plus utiles à l'exploitation humaine. Ceux qui sont considérés comme des

exemples d'écosystèmes indigènes de haute qualité peuvent fonctionner comme modèles de référence pour la restauration écologique, alors que d'autres convertis principalement en espèces non-indigènes ou autrement dégradés ne fonctionnent pas comme modèles de référence pour la restauration écologique. Voir aussi **Écosystème semi-naturel**.

Écosystème indigène / Native ecosystem - un écosystème comprenant des organismes ayant évolué localement ou qui ont récemment migré de localités voisines en raison de conditions environnementales changeantes, notamment sous l'effet du changement climatique. Dans certaines circonstances, les **écosystèmes culturels traditionnels** ou les **écosystèmes semi-naturels** sont considérés comme des écosystèmes indigènes. La présence d'espèces non-indigènes ou l'expansion d'espèces rudérales dans les écosystèmes indigènes sont des formes de dégradation.

Écosystème de référence / Reference ecosystem – une représentation d'un écosystème indigène qui est la cible de la restauration écologique (par opposition à un **site de référence**). Un écosystème de référence représente généralement une version non-dégradée de l'écosystème avec sa flore, sa faune ainsi que d'autres éléments biotiques et abiotiques, des fonctions, des processus et des états de succession qui auraient pu exister sur le site de restauration s'il n'y avait pas eu de dégradation, et ajusté pour tenir compte des conditions environnementales modifiées ou prédites.

Écosystème semi-naturel / Semi-natural ecosystem – dans le contexte juridique de l'Union Européenne (UE), les assemblages écologiques de biodiversité créés par l'activité humaine (les prairies alpines pâturées ou tondues, par exemple). Ils ont évolué dans le cadre d'activités agricoles, pastorales ou d'autres activités humaines traditionnelles qui peuvent être vieilles de plusieurs siècles et dépendent de la gestion traditionnelle pour leur compo-

sition, leur structure et leur fonction caractéristiques. Ces écosystèmes sont hautement valorisés pour leur biodiversité et leurs services écosystémiques, et peuvent être une référence pour la restauration écologique. Les exemples incluent les prairies alpines et de plaine, les landes, les prairies calcaires, les forêts de taillis, les pâturages boisés et les marais salés pâturés. Ils diffèrent des « écosystèmes culturels », tels que définis par l'UE, créés pour fournir des services écosystémiques, mais se traduisant par des écosystèmes dégradés avec des valeurs de biodiversité appauvries. Les exemples incluent les champs arables, les prairies agricoles pauvres en espèces, les zones d'extraction de minéraux et les paysages urbains avec des parcs urbains. Ils ne sont pas appropriés en tant que référence pour la restauration écologique, mais peuvent être le point de départ d'une restauration ou d'une réhabilitation écologique. Dans ce sens, l'écosystème semi-naturel a à peu près la même signification que l'**écosystème culturel traditionnel** de haute qualité présenté dans les Normes.

Entretien de l'écosystème / Ecosystem maintenance – activités de gestion courantes, appliquées après rétablissement complet ou partiel, et ayant pour but de contrer les processus de dégradation écologique afin de maintenir les attributs d'un écosystème. Un entretien plus fort est requis dans des sites restaurés où des niveaux de menace supérieurs sont toujours présents, en opposition aux sites où les menaces ont été neutralisées.

Enveloppe climatique / Climatic envelope – zone climatique dans laquelle la population d'une espèce est distribuée. Le dérèglement climatique est susceptible de modifier ces enveloppes.

Espèce / Species – utilisé ici comme terme générique pour représenter une espèce ou un taxon infraspécifique, même s'il n'est pas formellement décrit par la science.

Espèce cibles (désirées) / Desirable species

– espèces présentes dans l'écosystème de référence (parfois des espèces non-indigènes auxiliaires), qui vont permettre à l'écosystème indigène local de se rétablir. La contrepartie d'une espèce cible est une espèce non-cible, généralement (mais pas exclusivement) des espèces non-indigènes envahissantes.

Espèces indigènes / Native species – taxons considérés comme ayant leur origine dans une région donnée ou qui y sont arrivés sans transport récent (direct ou indirect) par l'Homme. Chez les écologistes, un débat existe sur la manière de définir précisément ce concept.

État initial / Baseline condition – l'état du site de restauration immédiatement avant le commencement des activités de restauration écologique.

Fonctions (d'un écosystème) / Functions (of an ecosystem) – les mécanismes d'un écosystème résultant des interactions et des relations entre le biote et les éléments abiotiques. Ceci comprend des processus écosystémiques tels que la production primaire, la décomposition, le cycle des nutriments et la transpiration ainsi que des propriétés telles que la compétition et la résilience.

Flux de gènes / Gene flow – échanges de matériel génétique entre les individus, maintenant la diversité génétique de la population d'une espèce. Dans la nature, le flux de gènes peut être limité par des vecteurs de dispersion et par des barrières topographiques comme les montagnes et les rivières. Dans les habitats fragmentés, le flux de gènes peut être limité par les séparations entre des habitats relictuels causées par le défrichement. Les flux de gènes entre populations introduites et populations indigènes peuvent avoir des conséquences négatives, telles que la dépression hybride.

Flux paysagers / Landscape flows – échanges se produisant à une échelle plus large que des écosys-

tèmes ou des sites individuels (incluant les environnements aquatiques) et qui comprennent les flux d'énergie, d'eau, de feu et de matériel génétique. Ces échanges sont facilités par les corridors.

Germoplasme / Germplasm – les différents éléments de régénération des plantes ou des animaux (tels que les embryons, graines, éléments végétatifs) qui fournissent une source génétique pour les populations futures.

Gestion adaptative / Adaptive management – processus d'amélioration continu des politiques et des pratiques de gestion par l'application des connaissances acquises lors de l'évaluation des pratiques employées auparavant, à des projets et des programmes futurs. C'est la pratique qui consiste à réexaminer les décisions de gestion et à les remanier à la lumière de nouvelles informations.

Gestion d'un écosystème / Management (of an ecosystem) – catégorisation large qui peut inclure notamment l'entretien et la réparation des écosystèmes (y compris la restauration).

Gestion des écosystèmes / Ecosystem management - une approche de gestion qui repose sur l'intégration des connaissances scientifiques relatives aux relations écologiques dans un cadre socio-politique et de valeurs complexe, avec comme objectif général de protéger l'intégrité des écosystèmes indigènes à long terme.

Indicateurs (de rétablissement) / Indicators (of recovery) – caractéristiques d'un écosystème pouvant être utilisées pour mesurer la progression des buts ou objectifs de restauration d'un site particulier (telles que des mesures de présence/absence et la qualité des composantes biotiques ou abiotiques de l'écosystème).

Infrastructure verte / Green infrastructure – un réseau de caractéristiques naturelles ou semi-na-

turelles, par exemple, les zones humides, les sols sains et les écosystèmes forestiers, le manteau neigeux, qui peuvent aider à améliorer les services écosystémiques.

Intégrité écosystémique / Ecosystem integrity

– la capacité d'un écosystème à soutenir et à maintenir une fonction écologique et une biodiversité (c'est-à-dire la composition spécifique et la structure des communautés) caractéristique. L'intégrité écologique peut être mesurée comme la mesure dans laquelle une communauté d'organismes indigènes est maintenue.

Inventaire initial / Baseline inventory – une description des éléments biotiques et abiotiques présents sur un site avant sa restauration, intégrant ses attributs de composition, de structure et de fonctions. L'inventaire est réalisé au début de la phase de planification de la restauration, parallèlement au développement du modèle de référence, de manière à diriger la planification et notamment les buts opérationnels de la restauration, les objectifs mesurables et les recommandations de traitements.

Menace / Threat – un facteur provoquant ou potentiellement capable de provoquer une perturbation, un dommage ou une destruction.

Modélisation spatiale / Spatial patterning – la structure spatiale des composantes écosystémiques (sur le plan vertical ou horizontal) qui résulte des différences de substrat, de topographie, d'hydrologie, de végétation, de régimes de perturbation ou d'autres facteurs.

Modèle de référence / Reference model – un modèle qui indique l'état présumé dans lequel le site de restauration aurait été s'il n'avait pas été dégradé (en ce qui concerne la flore, la faune et les autres éléments biotiques et abiotiques, les fonctions, les processus et les états de succession).

Cette condition n'est pas la condition historique, mais reflète plutôt le contexte et les changements prévus dans les conditions environnementales.

Niveaux trophiques / Trophic levels – les stades des réseaux trophiques (tels que les producteurs primaires, les herbivores, les prédateurs et les décomposeurs).

Nucléation appliquée / Applied nucleation – une stratégie consistant à utiliser l'établissement de petites parcelles végétatives (souvent des arbres ou des arbustes notamment) ou de populations d'animaux (telles que des coraux ou des huîtres) pour servir de zones focales au rétablissement écosystémique en améliorant la colonisation.

Obstacles (au rétablissement) / Barriers (to recovery) – les facteurs qui entravent le rétablissement d'un attribut écosystémique.

Parties prenantes / Stakeholders - les personnes et les organisations qui sont impliquées dans, ou affectées par, une action ou une politique, et peuvent être directement ou indirectement incluses dans le processus de prise de décision ; dans la planification environnementale et de conservation, les parties prenantes comprennent généralement des représentants du gouvernement, des entreprises, des scientifiques, des propriétaires fonciers et des utilisateurs locaux de ressources naturelles.

Paysages multifonctionnels durables / Sustainable multifunctional landscapes – paysages créés et gérés pour intégrer la production humaine et l'utilisation des paysages au sein du tissu écologique d'un paysage, préservant la fonction écosystémique, les flux de services et la conservation de la biodiversité.

Praticien / Practitioner – une personne qui applique des compétences et des connaissances pratiques pour planifier, mettre en œuvre et suivre

les travaux de restauration écologique sur les sites de projet.

Préparation au climat / Climate readiness – fait référence à une circonstance où du matériel génétique restitué a été sélectionné, sur la base de la science du climat et de la génétique, pour améliorer la probabilité d'une espèce à persister dans un contexte de changement climatique anticipé.

Productivité / Productivity – le taux de production de biomasse provenant de la croissance et de la reproduction des plantes et des animaux.

Programme de restauration écologique / Ecological restoration program – une composition plus large de plusieurs projets de restauration.

Projet de restauration écologique / Ecological restoration project – toute organisation entreprise pour réaliser le rétablissement notable d'un écosystème indigène, allant de la phase de planification à la mise en œuvre et au suivi. Un projet peut exiger plusieurs accords ou plusieurs cycles de financement. Un projet peut aussi être l'un parmi de nombreux projets faisant parti d'un programme de restauration à long terme.

Propagule / Propagule – tout matériel qui permet la propagation d'un organisme. Les propagules sont produites par des plantes, des animaux, des champignons et des micro-organismes.

Recrutement / Recruitment – production d'une génération ultérieure d'organismes. N'est pas mesurée seulement par le nombre total d'organismes nouveaux (chaque juvénile ou plantule) mais aussi par le nombre d'organismes qui se développent en tant qu'individus indépendants dans une population.

Regénération / Regeneration – voir **Regénéra-**

tion naturelle, Régénération assistée.

Régénération assistée / Assisted regeneration – une approche de restauration qui repose sur le déclenchement actif de toute capacité de régénération naturelle des organismes vivants restant sur le site ou à proximité. Cette approche se distingue de la réintroduction active des organismes vivants sur un site et de la régénération naturelle. Bien que cette approche soit typiquement appliquée à des sites faiblement ou moyennement dégradés, la régénération assistée peut également être appliquée à certains sites hautement dégradés moyennant un traitement approprié ainsi que des délais suffisants. Les interventions de régénération assistée incluent la suppression d'organismes ravageurs, le rétablissement de régimes de perturbation et l'apport de ressources pour accélérer la colonisation.

Régénération naturelle / Natural regeneration – la germination, la naissance ou tout autre recrutement d'éléments biotiques comprenant les plantes, les animaux et les microorganismes, n'impliquant pas d'intervention humaine, qu'elle résulte d'une colonisation, d'une dispersion ou d'un processus in situ.

Régime de perturbation / Disturbance regime – le modèle, la fréquence, le timing ou l'occurrence d'événements perturbateurs qui sont caractéristiques d'un écosystème sur une période donnée.

Réhabilitation – des actions de gestion qui visent à rétablir un niveau de fonctionnalité écosystémique sur les sites dégradés, l'objectif étant l'approvisionnement renouvelé et continu de services écosystémiques plutôt que la biodiversité et l'intégrité d'un écosystème de référence indigène désigné.

Rehausser, rehaussement (de populations réduites) / Augment, Augmentation (of depleted populations) – (aussi appelé amélioration, enrichissement, réapprovisionnement ou

restockage) ajouter des graines ou des individus d'une population à cette même population, l'objectif étant d'accroître la taille de la population ou la diversité génétique et ainsi en améliorer la viabilité ; rétablir une population récemment éradiquée en propageant des individus de cette population. Dans la pratique courante les populations sont souvent rehaussées avec du matériel provenant de populations avoisinantes, et non pas de la même population seulement.

Réintroduction / Reintroduction – retour d'un biote dans une zone où celui-ci se trouvait auparavant.

Remédiation / Remediation – une activité de gestion, telle que l'élimination ou la détoxification des contaminants ou des nutriments en excès du sol et de l'eau, visant à éliminer les sources de dégradation.

Remise en état / Reclamation – processus consistant à rendre des terres gravement dégradées (telles que des anciens sites miniers ou des friches) aptes à la culture ou à un état convenant à une utilisation humaine. Également utilisé pour décrire la formation de terres productives prises sur la mer.

Renforcement / Reinforcement – le déplacement et la libération intentionnels d'un organisme dans une population existante d'espèces conspécifiques. Le renforcement vise à améliorer la viabilité d'une population, par exemple en augmentant la taille de celle-ci, en augmentant la diversité génétique ou en augmentant la représentation des groupes ou des stades démographiques spécifiques. Cette définition est très similaire à et parfois considérée comme synonyme de **rehaussement**.

Résilience / Resilience – voir **Résilience écosystémique** et **Résilience socio-écologique**.

Résilience écosystémique / Ecosystem resilience – le degré, la manière et le rythme de rétablisse-

ment des propriétés écosystémiques après une perturbation naturelle ou humaine. Dans les communautés végétales et animales, cette propriété dépend fortement des adaptations des espèces individuelles aux perturbations ou aux stress subis au cours de l'évolution de l'espèce. Voir aussi **Résilience socio-écologique**.

Résilience socio-écologique / Social-ecological resilience – la capacité d'un système socio-écologique complexe à absorber les perturbations et à se réorganiser tout en subissant des changements de telle sorte qu'il conserve une fonction, une structure, une identité et des rétroactions similaires. C'est une mesure du degré auquel un système socio-écologique complexe peut s'adapter et persister face aux menaces et aux stress.

Restauration / Restoration – voir **Restauration écologique**.

Restauration écologique / Ecological restoration – processus qui aide au rétablissement d'un écosystème qui a été dégradé, endommagé ou détruit. (La restauration des écosystèmes est parfois utilisée de manière interchangeable avec la restauration écologique, or cette dernière concerne toujours la préservation de la biodiversité et de l'intégrité écologique, alors que d'autres approches relevant de la restauration des écosystèmes peuvent se concentrer uniquement sur l'apport des services écosystémiques.)

Restauration obligatoire / Mandatory restoration – restauration exigée (imposée) par le gouvernement, une cour de justice ou une autorité administrative, pouvant inclure des types de compensation en biodiversité. Dans certaines régions du globe, la restauration obligatoire est incluse dans des programmes de mesures compensatoires.

Restauration de paysages / Landscape restoration – un processus planifié qui vise à restaurer l'intégrité écologique à l'échelle du paysage et la

capacité d'un paysage à fournir durablement des services écosystémiques spécifiques au paysage, qui sont essentiels à l'amélioration du bien-être humain.

Restauration des paysages forestiers (RPF) / Forest Landscape Restoration (FLR) – un processus qui vise à retrouver une fonctionnalité écologique et à améliorer le bien-être humain dans les paysages déboisés ou dégradés, et qui peut intégrer une ou plusieurs activités associées en même temps que la restauration écologique. La RPF ne devrait pas causer de dommages collatéraux à la biodiversité.

Rétablissement / Recovery – le processus par lequel un écosystème récupère sa composition, sa structure et sa fonction relativement aux niveaux identifiés dans l'écosystème de référence. En restauration, le rétablissement est souvent assisté par des activités de restauration – et le rétablissement peut être décrit comme partiel ou complet.

Rétablissement complet / Full recovery – état dans lequel tous les attributs écosystémiques se rapprochent étroitement de ceux de l'écosystème de référence (modèle). Cet état est précédé par l'écosystème qui démontre une capacité d'auto-organisation conduisant à la pleine résolution et à la maturité des attributs écosystémiques. Une fois l'état d'auto-organisation atteint, la phase de restauration peut être considérée comme achevée et le site devient sujet à la phase d'entretien.

Rétablissement partiel / Partial recovery – l'état auquel un certain niveau de rétablissement s'est produit, mais tous les attributs écosystémiques ne ressemblent pas étroitement à ceux du modèle de référence.

Rétablissement substantiel / Substantial recovery – le niveau de rétablissement visé si un projet se veut être appelé un projet de restauration écologique. Ce niveau de rétablissement ne peut

pas être étroitement lié à une mesure particulière de rétablissement (bien qu'un niveau de rétablissement à mi-parcours soit un critère minimum raisonnable) car la valeur d'un projet de restauration peut être influencée par l'importance écologique de l'écosystème et par l'échelle du projet.

Revégétalisation / Revegetation – établissement, par n'importe quel moyen, de plantes sur un site (incluant les milieux terrestres, d'eau douce et salée), impliquant ou non des espèces indigènes ou locales.

Réensauvagement / Rewilding – la réintroduction planifiée d'une espèce végétale ou animale et en particulier d'une espèce clé ou d'un prédateur apex (tel que le loup gris ou le lynx) dans un habitat dont il a disparu (par cause de chasse ou de destruction d'habitat) dans le but d'augmenter la biodiversité et de restaurer la santé d'un écosystème.

Savoirs (écologiques) Locaux / Local Ecological Knowledge (LEK) – connaissances, pratiques et croyances concernant les relations écologiques qui sont acquises grâce à une observation personnelle approfondie et à l'interaction avec les écosystèmes locaux, et partagées entre les utilisateurs des ressources locales.

Savoirs écologiques traditionnels (SET) / Traditional Ecological Knowledge (TEK) – connaissances et pratiques tirées de l'expérience et de l'observation, transmises de génération en génération, guidées par de fortes mémoires culturelles, par la sensibilité au changement et par des valeurs qui incluent la réciprocité.

Séquestration du carbone / Carbon sequestration – la capture et le stockage à long terme du dioxyde de carbone atmosphérique (de manière générale par accumulation de biomasse par le biais de la photosynthèse, de la croissance des végétaux

et de l'accumulation des matières organiques du sol). Ce phénomène peut se produire naturellement ou peut résulter de pratiques visant à réduire les impacts du changement climatique.

Services écosystémiques / Ecosystem services

– contributions directes et indirectes des écosystèmes au bien-être de l'Homme. Ces services incluent la production de sol, d'eau et d'air propres, la tempérance du climat et des maladies, les cycles des nutriments et la pollinisation, l'approvisionnement en biens utiles à l'Homme, ainsi que le potentiel permettant la satisfaction des valeurs esthétiques, récréatives, et autres. Ces derniers sont communément dénommés services de soutien, de régulation, d'approvisionnement, et culturels. Les objectifs de restauration peuvent se référer spécifiquement au rétablissement de services écosystémiques particuliers ou à l'amélioration de la qualité et du flux d'un ou plusieurs services.

Seuil (écologique) / Threshold (ecological) – le seuil au-delà duquel un changement minime des conditions environnementales ou biophysiques entraîne le déplacement d'un écosystème vers un état écologique différent. Lorsqu'un ou plusieurs seuils écologiques ont été franchis, un écosystème ne peut pas aisément retourner à son état ou sa trajectoire antérieure sans intervention humaine de grande ampleur, ou pas du tout si le seuil est irréversible.

Site / Site – zone ou emplacement délimité dans l'espace. Peut se produire à différentes échelles mais est généralement à l'échelle de la parcelle ou de la propriété (c'est-à-dire à une taille inférieure au paysage).

Site de référence / Reference site – un site intact existant qui présente des attributs et une phase de succession semblables au site du projet de restauration et qui est utilisé pour établir le modèle de référence. Idéalement, le modèle de référence

comprendrait des informations provenant de plusieurs sites de référence.

Solutions fondées sur la nature / Nature based solutions - actions de protéger, de gérer durablement et de restaurer des écosystèmes naturels ou modifiés, répondant aux défis sociétaux de manière efficace et adaptative, en offrant à la fois le bien-être humain et des avantages pour la biodiversité.

Strate / Stratum, strata – une ou plusieurs "couches" végétales dans un écosystème ; fait souvent référence à la stratification verticale telle que la superposition des arbres, des arbustes et des herbacées.

Substrat / Substrate – le sol, le sable, la roche, les débris de coquilles, les débris végétaux ou tout autre milieu sur lequel se développent les organismes et les écosystèmes.

Succession (écologique) / Succession (ecological) – le processus ou le modèle de remplacement ou de développement s'opérant dans les écosystèmes au fil du temps en réponse à une perturbation.

Suivi participatif / Participatory monitoring – un système qui implique des parties prenantes de plusieurs ordres dans le design du projet, ainsi que dans la collecte et l'analyse des données recueillies à partir d'une activité de gestion donnée, conduisant à une meilleure prise de décision collaborative.

Surexploitation / Over-utilization – toute forme de récolte ou d'utilisation d'un écosystème au-dessus de ses capacités à régénérer ses ressources. Des exemples comprennent la surpêche, le défrichement excessif, le surpâturage, et le brûlage dirigé excessif.

Système à cinq étoiles / Five-star system – un outil utilisé pour identifier le niveau de rétablissement souhaité par un projet de restauration ou de

réhabilitation, et pour évaluer et suivre progressivement le degré de rétablissement de l'écosystème indigène au fil du temps par rapport au modèle de référence. Cet outil fournit également un moyen de signaler des changements par rapport à l'état initial relativement à la référence. (Remarque : ce système se réfère uniquement aux résultats du rétablissement et non aux activités de restauration utilisées pour les atteindre.)

Système socio-écologique / Social-ecological system – systèmes complexes, intégrés et liés de l'Homme et de la nature, soulignant que les humains font partie de la nature.

Traits fonctionnels / Functional traits – caractéristiques morphologiques, biochimiques, physiologiques, structurelles, phénologiques ou comportementales qui sont exprimées dans les phénotypes d'organismes individuels et qui sont considérées comme pertinentes pour la réponse de ces organismes à l'environnement ou pour leurs effets sur les propriétés des écosystèmes.

Trajectoire (écologique) / Trajectory (ecological) – le cours de l'état d'un écosystème au fil du temps (structure et fonction). Cette trajectoire peut comporter une dégradation, une stase, une adaptation à des conditions environnementales changeantes ou une réponse à la restauration écologique – conduisant idéalement au rétablissement de son intégrité et de sa résilience.

Translocation / Translocation – le transport actif (par l'Homme) d'organismes à une partie différente d'un paysage ou d'un environnement aquatique donné ou à de plus grandes distances. L'objectif est généralement de conserver une espèce menacée, une sous-espèce ou une population.

Valeur intrinsèque (des écosystèmes et de la biodiversité) / Intrinsic value (of ecosystems and biodiversity) – la valeur intrinsèque est la valeur

qu'une entité a en elle-même, pour ce qu'elle est ou comme fin en soi. Le type de valeur opposé est celui de la valeur instrumentale. La valeur instrumentale est la valeur que quelque chose a comme moyen d'atteindre une fin souhaitée ou valorisée. Zone de transfert de graines / Seed transfer zone - une zone géographique définie dans laquelle les graines devraient pouvoir être déplacées sans effets néfastes sur leur fitness.

Zone de transfert de graines / Seed transfer zone - une zone géographique définie dans laquelle les graines devraient pouvoir être déplacées sans effets néfastes sur leur fitness.

LITTÉRATURE CITÉE

Akhtar-Schuster M, Stringer LC, Erlewein A, Metternicht G, Minelli S, Safriel U, Sommer S (2017)

Unpacking the concept of land degradation neutrality and addressing its operation through the Rio Conventions. *Journal of Environmental Management* 195:4-15

Allison SK, Murphy SD (eds) (2017)

Routledge handbook of ecological and environmental restoration. Routledge, Abingdon, UK

Aronson J, Alexander S (2013)

Ecosystem restoration is now a global priority: time to roll up our sleeves. *Restoration Ecology* 21:293-296

Beatty CR, Cox NA, Kuzee ME (2018a)

Biodiversity guidelines for forest landscape restoration opportunities assessments. First edition. IUCN, Gland, Switzerland

Beatty CR, Raes L, Vogl AL, Hawthorne PL, Moraes M, Saborio JL, Meza Prado K (2018b)

Landscapes, at your service: applications of the Restoration Opportunities Optimization Tool (ROOT). IUCN, Gland, Switzerland

Beatty CR, Vidal A, Devesa T, Kuzee ME (2018c)

Accelerating biodiversity commitments through forest landscape restoration: evidence from assessments in 26 countries using the Restoration Opportunities Assessment Methodology (ROAM) (Working Paper). Convention on Biological Diversity Information Document CBD/COP/14/INF/18. IUCN, Gland, Switzerland

Besseau P, Graham S, Christophersen T (eds) (2018)

Restoring forests and landscapes: the key to a sustainable future. Global Partnership on Forest and Landscape Restoration, Vienna, Austria

Booth TH, Williams KJ, Belbin L (2012)

Developing biodiverse plantings suitable for changing climatic conditions 2: using the Atlas of Living Australia. *Ecological Management & Restoration* 13:274-281

Bradshaw AD (1983)

The reconstruction of ecosystems. *Journal of Applied Ecology* 20:1-17

Breed MF, Stead MG, Ottewell KM, Gardner MG, Lowe AJ (2013)

Which provenance and where? Seed sourcing strategies for revegetation in a changing environment. *Conservation Genetics* 14:1-10

Broadhurst LM, Lowe A, Coates DJ, Cunningham SA, McDonald M, Vesk PA, Yates C (2008)

Seed supply for broadscale restoration: maximizing evolutionary potential. *Evolutionary Applications* 1:587-597

Cairns J, Jr, Dickson KL, Herricks EE (eds) (1977)

Recovery and restoration of damaged ecosystems. University Press of Virginia, Charlottesville, Virginia

Castillo-Escrivà A, López-Iborra GM, Cortina J, Tormo J (2019)

The use of branch piles to assist in the restoration of degraded semiarid steppes. *Restoration Ecology* 27:102-108

CBD (2016) Ecosystem restoration: short-term action plan. CBD/COP/DEC/XIII/5.

Convention on Biological Diversity, Montreal, Canada <https://www.cbd.int/doc/decisions/cop-13/cop-13-dec-05-en.pdf> (accessed 21 May 2019)

CBD (2018) CBD (2018) Biodiversity and climate change. CBD/COP/14/L.23.

Convention on Biological Diversity, Montreal, Canada <https://www.cbd.int/doc/c/9860/44b3/042fbf32838cf31a771bb145/>

- [cop-14-l-23-en.pdf](#) (accessed 21 May 2019)
- Chase JM (2003)**
Community assembly: when should history matter? *Oecologia* 136:489-498
- Chasek P, Akhtar-Schuster M, Orr BJ, Luise A, Rakoto Ratsimba H, Safriel U (2019)**
Land degradation neutrality: The science-policy interface from the UNCCD to national implementation. *Environmental Science & Policy* 92:182-190
- Chazdon RL (2014)**
Second growth: the promise of tropical forest regeneration in an age of deforestation. University of Chicago Press, Chicago, Illinois
- Chazdon RL, Bodin B, Guariguata MR, Lamb D, Walder B, Chokkalingam U, Shono K (2017)**
Partnering with nature: the case for natural regeneration in forest and landscape restoration. Montreal, Canada
- Chazdon RL, Guariguata MR (2016)**
Natural regeneration as a tool for large-scale forest restoration in the tropics: prospects and challenges. *Biotropica* 48:716-730
- Chazdon RL, Guariguata MR (2018)**
Decision support tools for forest landscape restoration: current status and future outlook. Occasional Paper 183. Center for International Forestry Research, Bogor, Indonesia
- Clewell A, Rieger J, Munroe J (2005)**
Guidelines for developing and managing ecological restoration projects. Society for Ecological Restoration International, Tucson, Arizona
www.ser.org
- Clewell AF, Aronson J (2013)**
Ecological restoration: principles, values, and structure of an emerging profession. Second edition. Island Press, Washington, DC
- Conservation Measures Partnership (2013)**
Open standards for the practice of conservation. Version 3.0. <http://cmp-openstandards.org/download-os/> (accessed 20 May 2019)
- Convention on Biological Diversity (2016)**
Ecosystem restoration: short-term action plan. CBD/COP/DEC/XIII/5 <https://www.cbd.int/decisions/cop/?m=cop-13> (accessed 21 May 2019)
- Corbin JD, Holl KD (2012)**
Applied nucleation as a forest restoration strategy. *Forest Ecology and Management* 265:37-46
- Corbin JD, Robinson GR, Hafkemeyer LM, Handel SN (2016)**
A long-term evaluation of applied nucleation as a strategy to facilitate forest restoration. *Ecological Applications* 26:104-114
- Crowe KA, Parker WH (2008)**
Using portfolio theory to guide reforestation and restoration under climate change scenarios. *Climatic Change* 89:355-370
- Doyle M, Drew C (2012)**
Large-scale ecosystem restoration: five case studies from the United States. Island Press, Washington, DC
- Echeverria C, Coomes D, Salas J, Rey-Benayas JM, Lara A, Newton A (2006)**
Rapid deforestation and fragmentation of Chilean temperate forests. *Biological Conservation* 130:481-494
- Egan D, Howell EA (2001)**
The historical ecology handbook. A restorationist's guide to reference ecosystems. Island Press, Washington, DC
- Elgar AT, Freebody K, Pohlman CL, Shoo LP, Catterall CP (2014)**
Overcoming barriers to seedling regeneration during forest restoration on tropical pasture land and the potential value of woody weeds. *Frontiers in Plant Science* 5:200
- Evans K, Guariguata MR (2019)**
A diagnostic for collaborative monitoring in forest landscape restoration. Occasional Paper 193. CIFOR, Bogor, Indonesia
- Frazier AE, Bryan BA, Buyantuev A, Chen L, Echeverria C, Jia P, Liu L, Li Q, Ouyang Z, Wu J, Xiang W-N, Yang J, Yang L, Zhao S (2019)**
Ecological civilization: perspectives from landscape ecology and landscape sustainability

- science. *Landscape Ecology* 34:1-8
- Gann G, Lamb D (2006)**
Ecological restoration: a means of conserving biodiversity and sustaining livelihoods. Society for Ecological Restoration International, Tucson, Arizona www.ser.org
- Gibson AL, Espeland EK, Wagner V, Nelson CR (2016)**
Can local adaptation research in plants inform selection of native plant materials? An analysis of experimental methodologies. *Evolutionary Applications* 9:1219-1228
- Gibson AL, Fishman L, Nelson CR (2017)**
Polyploidy: a missing link in the conversation about seed transfer of a commonly seeded native grass in western North America. *Restoration Ecology* 25:184-190
- Green DG, Sadedin S (2005)**
Interactions matter—complexity in landscapes and ecosystems. *Ecological Complexity* 2:117-130
- Grubb PJ, Hopkins AJM (1986)**
Resilience at the level of the plant community. Pages 21-38 In: Dell B, Hopkins AJM and Lamont BB (eds) *Resilience in mediterranean-type ecosystems*. Springer Netherlands, Dordrecht
- Guan Y, Kang R, Liu J (2019)**
Evolution of the field of ecological restoration over the last three decades: a bibliometric analysis. *Restoration Ecology* 27:647-660
- Hanson C, Buckingham K, DeWitt S, Laestadius L (2015)**
The restoration diagnostic v. 1.0. World Resources Institute, Washington DC
- Havens K, Vitt P, Still S, Kramer AT, Fant JB, Schatz K (2015)**
Seed sourcing for restoration in an era of climate change. *Natural Areas Journal* 35:122-133
- Hobbs RJ, Norton DA (2004)**
Ecological filters, thresholds, and gradients in resistance to ecosystem reassembly. Pages 72-95 In: Temperton VM, Hobbs RJ, Nuttle T and Halle S (eds) *Assembly rules and restoration ecology: bridging the gap between theory and practice*. Island Press, Washington, DC
- Holl KD, Crone EE, Schultz CB (2003)**
Landscape restoration: moving from generalities to methodologies. *BioScience* 53:491-502
- Holl KD, Reid JL, Chaves-Fallas JM, Oviedo-Brenes F, Zahawi RA (2017)**
Local tropical forest restoration strategies affect tree recruitment more strongly than does landscape forest cover. *Journal of Applied Ecology* 54:1091-1099
- Holl KD, Reid JL, Oviedo-Brenes F, Kulikowski AJ, Zahawi RA (2018)**
Rules of thumb for predicting tropical forest recovery. *Applied Vegetation Science* 21:669-677
- Holling CS (1973)**
Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecology and Systematics* 4:1-23
- Hopper SD (2009)**
OCBIL theory: towards an integrated understanding of the evolution, ecology and conservation of biodiversity on old, climatically buffered, infertile landscapes. *Plant and Soil* 322:49-86
- Huff DD, Miller LM, Chizinski CJ, Vondracek B (2011)**
Mixed-source reintroductions lead to outbreeding depression in second-generation descendents of a native North American fish. *Molecular Ecology* 20:4246-4258
- Hufford K, Mazer S (2003)**
Plant ecotypes: genetic differentiation in the age of ecological restoration. *Trends in Ecology & Evolution* 18:147-155
- Hulvey KB, Aigner PA (2014)**
Using filter-based community assembly models to improve restoration outcomes. *Journal of Applied Ecology* 51:997-1005
- IUCN and WRI (2014)**
A guide to the Restoration Opportunities Assessment Methodology (ROAM): assessing forest landscape restoration opportunities at

- the national or sub-national level. Working Paper (Road-test edition). IUCN, Gland, Switzerland
- Jordan F, Arrington DA (2014)**
Piscivore responses to enhancement of the channelized Kissimmee River, Florida, U.S.A. *Restoration Ecology* 22:418-425
- Kareiva P, Marvier M, McClure M (2000)**
Recovery and management options for spring/summer Chinook salmon in the Columbia River Basin. *Science* 290:977-979
- Kaye TN (2001)**
Common ground and controversy in native plant restoration: the SOMS debate, source distance, plant selections, and a restoration-oriented definition of native. Pages 5-12 In: Rose R and Haase D (eds) *Native plant propagation and restoration strategies*. Nursery Technology Cooperative and Western Forestry and Conservation Association, Corvallis, Oregon
- Keenleyside KA, Dudley N, Cairns S, Hall CM, Stolton S (2012)**
Ecological restoration for protected areas: Principles, guidelines and best practices. IUCN, Gland, Switzerland
- Kramer AT, Havens, K. (2009)**
Plant conservation genetics in a changing world. *Trends in Plant Science* 14:599-607
- Kramer AT, Wood TE, Frischie S, Havens K (2018)**
Considering ploidy when producing and using mixed-source native plant materials for restoration. *Restoration Ecology* 26:13-19
- Liu J, Bawa KS, Seager TP, Mao G, Ding D, Lee JSH, Swim JK (2019)**
On knowledge generation and use for sustainability. *Nature Sustainability* 2:80-82
- Liu J, Calmon M, Clewell A, Liu J, Denjean B, Engel VL, Aronson J (2017)**
South-south cooperation for large-scale ecological restoration. *Restoration Ecology* 25:27-32
- Liu J, Clewell A (2017)**
Management of ecological rehabilitation projects. Science Press, Beijing
- Lynam T, De Jong W, Sheil D, Kusumanto T, Evans K (2007)**
A review of tools for incorporating community knowledge, preferences, and values into decision making in natural resources management. *Ecology and Society* 12:5
- Mansourian S (2018)**
In the eye of the beholder: reconciling interpretations of forest landscape restoration. *Land Degradation & Development* 29:2888-2898
- Martínez-Ramos M, Pingarroni A, Rodríguez-Velázquez J, Toledo-Chelala L, Zermeno-Hernández I, Bongers F (2016)**
Natural forest regeneration and ecological restoration in human-modified tropical landscapes. *Biotropica* 48:745-757
- Matthews JA (1999)**
Disturbance regimes and ecosystem response on recently-deglaciated substrates. Pages 17-37 In: Walker LA (ed) *Ecosystems of disturbed ground*. Elsevier, Amsterdam
- McDonald T (2000)**
Resilience, recovery and the practice of restoration. *Ecological Restoration* 18:10-20
- McDonald T, Jonson J, Dixon KW (2016a)**
National standards for the practice of ecological restoration in Australia. *Restoration Ecology* 24:S6-S32
- McDonald T, Gann GD, Jonson J, and Dixon KW (2016b)**
International standards for the practice of ecological restoration - including principles and key concepts. Society for Ecological Restoration, Washington, DC
<http://www.ser.org/?page=SERStandards> (accessed 20 May 2019)
- McDonald T, Jonson J, Dixon KW (2018)**
National standards for the practice of ecological restoration in Australia. Second edition. Standards Reference Group, Society for Ecological Restoration Australasia www.seraustralasia.com (accessed 20 May 2019)
- Mitchell RJ, Rose RJ, Palmer SCF (2008)**

- Restoration of *Calluna Vulgaris* on grass-dominated moorlands: The importance of disturbance, grazing and seeding. *Biological Conservation* 141:2100-2111
- Orr, BJ, Cowie AL, Castillo Sanchez VM, Chasek P, Crossman ND, Erlewein A, Louwagie G, Maron M, Metternicht GI, Minelli S, Tengberg AE, Walter S, Welton S (2017)**
Scientific conceptual framework for Land Degradation Neutrality. A report of the Science-Policy Interface. United Nations Convention to Combat Desertification, Bonn, Germany <https://www.unccd.int/publications/scientific-conceptual-framework-land-degradation-neutrality-report-science-policy> (accessed 21 May 2019)
- O'Beirn FX, Luckenbach MW, Nestlerode JA, Coates GM (2000)**
Toward design criteria in constructed oyster reefs: oyster recruitment as a function of substrate type and tidal height. *Journal of Shellfish Research* 19:387-395
- O'Farrell PJ, Anderson PML (2010)**
Sustainable multifunctional landscapes: a review to implementation. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 2:59-65
- Palmer MA, Zedler JB, Falk DA (eds) (2016)**
Foundations of restoration ecology. Island Press, Washington, DC
- Perry D (1994)**
The soil ecosystem. Pages 302-338 In: Perry DA (ed) *Forest ecosystems*. The Johns Hopkins University Press, Baltimore
- Powers SP, Peterson CH, Grabowski JH, Lenihan HS (2009)**
Success of constructed oyster reefs in no-harvest sanctuaries implications for restoration. *Marine Ecology Progress Series* 389:159-170
- Prach K, Hobbs RJ (2008)**
Spontaneous succession versus technical reclamation in the restoration of disturbed sites. *Restoration Ecology* 16:363-366
- Prach K, Rehounková K, Lencová K, Jírová A, Konvalinková P, Mudrák O, Študent V, Vanecek Z, Tichý L, Petřík P, Šmilauer P, Pyšek P (2014)**
Vegetation succession in restoration of disturbed sites in Central Europe: the direction of succession and species richness across 19 seres. *Applied Vegetation Science* 17:193-200
- Prober S, Byrne M, McLean E, Steane D, Potts B, Vaillancourt R, Stock W (2015)**
Climate-adjusted provenancing: a strategy for climate-resilient ecological restoration. *Frontiers in Ecology and Evolution* 3
- REDD+ SES (2012)**
REDD+ social and environmental standards. Version 2. www.redd-standards.org
- Rey Benayas JM, Bullock JM, Newton AC (2008)**
Creating woodland islets to reconcile ecological restoration, conservation, and agricultural land use. *Frontiers in Ecology and the Environment* 6:329-336
- Rogers DL, Montalvo AM (2004)**
Genetically appropriate choices for plant materials to maintain biological diversity. Lakewood, Colorado <http://www.fs.fed.us/r2/publications/botany/plantgenetics.pdf> (accessed 20 May 2019)
- Rokich DP (2016)**
Melding of research and practice to improve restoration of Banksia woodlands after sand extraction, Perth, Western Australia. *Ecological Management & Restoration* 17:112-123
- Sáenz-Romero C, Lindig-Cisneros RA, Joyce DG, Beaulieu J, St. Clair JB, Jaquish BC (2016)**
Assisted migration of forest populations for adapting trees to climate change. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 22:303-323. doi: 10.5154/r.rchscfa.2014.10.052
- Sagvik J, Uller T, Olsson M (2005)**
Outbreeding depression in the common frog, *Rana temporaria*. *Conservation Genetics* 6:205-211
- Saunders A, Norton DA (2001)**
Ecological restoration at Mainland Islands in New Zealand. *Biological Conservation* 99:109-119
- Seddon S, Venema S, Miller DJ (2004)**
Seagrass rehabilitation in metropolitan Adelaide.

- II. Preliminary draft donor bed independent methods progress report. SARDI Aquatic Sciences report to the Department for Environment and Heritage, Adelaide
- SER (2004)**
The SER International primer on ecological restoration. Society for Ecological Restoration International, Tucson, Arizona www.ser.org
- SER (2013)**
<http://www.ser.org/page/CodeofEthics/Code-of-Ethics.htm> (accessed 3 March 2018)
- SER and IUCN-CEM (2018)**
Forum on biodiversity and global forest restoration summary report and plan of action. <https://ser.site-ym.com/page/SERDocuments> (accessed 20 May 2019)
- Suding KN, Gross KL (2006)**
The dynamic nature of ecological systems: multiple states and restoration trajectories. Pages 190-209 In: Falk DA, Palmer MA, Zedler JB (eds) Foundations of restoration ecology. Island Press, Washington, DC
- Swetnam TW, Allen CD, Betancourt JL (1999)**
Applied historical ecology: using the past to manage for the future. Ecological Applications 9:1189-1206
- Temperton VM, Hobbs RJ, Nuttle T, Halle S (eds) (2004)**
Ecological filters, thresholds, and gradients in resistance to ecosystem reassembly. Island Press, Washington, DC
- UNCCD (2017) The global land outlook, first edition.**
United Nations Convention to Combat Desertification, Bonn, Germany https://www.unccd.int/sites/default/files/documents/2017-09/GLO_Full_Report_low_res.pdf (accessed 20 May 2019)
- Van Andel J, Aronson J (eds) (2012)**
Restoration ecology: the new frontier. 2nd Edition Blackwell, Oxford, UK
- Vander Zanden MJ, Olden JD, Gratton C (2006)**
Food web approaches in restoration ecology. Pages 165-189 In: Falk D, Palmer M and Zedler J (eds) Foundations of restoration ecology. Island Press, Washington, DC
- Walker LR (2011)**
Integration of the study of natural and anthropogenic disturbances using severity gradients. Austral Ecology 36:916-922
- Wang Y, Pedersen JLM, Macdonald SE, Nielsen SE, Zhang J (2019)**
Experimental test of assisted migration for conservation of locally range-restricted plants in Alberta, Canada. Global Ecology and Conservation 17: e00572
- Westman WE (1978)**
Measuring the inertia and resilience of ecosystems. BioScience 28:705-710
- Wiggins HL, Nelson CR, Larson AJ, Safford HD (2019)**
Using LiDAR to develop high-resolution reference models of forest structure and spatial pattern. Forest Ecology and Management 434:318-330
- Wu J (2013)**
Landscape sustainability science: ecosystem services and human well-being in changing landscapes. Landscape Ecology 28:999-1023
- Zedler JB, Stevens ML (2018)**
Western and traditional ecological knowledge in ecocultural restoration. San Francisco Estuary and Watershed Science 16:1-18

ANNEXE 1: LA SÉLECTION DE GRAINES ET AUTRES PROPAGULES POUR LA RESTAURATION

Cette annexe est adaptée et développée à partir de McDonald *et al.* (2016a). Bien qu'il y ait de nombreuses considérations à prendre en compte lors des prises de décisions sur la sélection des graines et autres propagules (tels que du matériel végétatif, spores, œufs, juvéniles) pour les projets de restauration, les considérations génétiques peuvent être primordiales pour garantir que les populations résultantes se reproduisent et persistent avec succès. Ces considérations sont d'autant plus importantes dans les paysages fragmentés, en particulier dans un contexte de changement climatique.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉTIQUES POUR L'APPROVISIONNEMENT EN GRAINES ET AUTRES PROPAGULES¹

Les praticiens de la restauration ont largement adopté le concept de confiner la collecte de propagules à une **zone de provenance locale** ou une **zone de transfert** de graines pour garantir que les propagules sélectionnées pour la restauration sont adaptées à la localité. Cependant, le protocole de collecter uniquement des propagules se trouvant

très proches du site de restauration est désormais considéré comme une interprétation inappropriée de la provenance locale, car la distance géographique peut ne pas être une bonne mesure des différences écologiques entre les sites. Autrement dit, de nombreux praticiens comprennent maintenant que le degré d'adaptation locale varie selon les espèces, les populations et l'habitat (Gibson *et al.* 2016), et un génotype "local" peut se produire sur des zones étroites ou larges (c'est-à-dire d'une dizaine à une centaine de km²), selon l'espèce et sa biologie. Par exemple, les plantes annuelles qui **s'autofécondent**, qui dispersent leurs graines par gravité et qui sont présentes historiquement dans des populations séparées et isolées devraient avoir des aires de répartition locales plus restreintes que les plantes qui dispersent leurs graines avec le vent, l'eau ou les animaux, en particulier celles qui ont connu une expansion récente de leur aire de répartition (Hufford et Mazer 2003 ; Broadhurst *et al.* 2008). De plus, dans un paysage largement dégradé, les populations fragmentées de petite taille sont exposées à un risque élevé de consanguinité lorsque celles-ci tombent en dessous des seuils spécifiques à l'espèce. Étant donné que la dépression endogamique peut réduire la fonction et l'adaptation des populations, il est généralement préférable de collecter des propagules auprès de populations plus grandes et de densité plus élevée. Cela signifie que dans des paysages fragmentés où les populations sont plus petites, moins denses et plus isolées, la collecte de propagules provenant de distances plus larges et de sources multiples (et les multipliant éventuellement dans des zones de production) peut être nécessaire pour capturer une

1 —Pour les plantes, nous nous référons aux graines comme étant les propagules primaires utilisées dans la restauration, mais parfois les graines ne sont pas utilisées. Certaines plantes produisent très peu de graines et sont plus souvent propagées par bouturage, division ou micropropagation. Bien que les principes génétiques concernant la provenance soient similaires quel que soit le type de propagule, il est important de rappeler que la diversité génétique est limitée lorsque des méthodes de propagation végétative sont utilisées, ce qui pourrait affecter la capacité d'une population à répondre aux défis d'adaptation future. Ce principe général est également vrai pour certains animaux, tels que les coraux ou les champignons, où des morceaux d'individus ou de colonies sont utilisés comme propagules au lieu des spores, des œufs ou d'autres modes de reproduction sexuée.

diversité génétique suffisante et des propagules suffisantes permettant de reconstruire des communautés fonctionnelles et résilientes.

Lorsqu'on s'approvisionne en propagules sur des zones plus larges, il faut tenir compte des risques de dépression hybride. Bien qu'elle ne soit pas aussi courante que la dépression endogamique, elle peut survenir lorsque des espèces issues de populations génétiquement divergentes sont croisées. Dans certains cas, la perte en fitness est due à une perte d'adaptation locale. Si les parents sont adaptés à des conditions différentes, la progéniture qui en résulte pourrait être mal adaptée à l'un ou l'autre site parental. Dans d'autres cas, les complexes de gènes coadaptés peuvent être brisés, entraînant une perte en fitness (Rogers et Montalvo 2004).

La dépression hybride peut être particulièrement grave chez les plantes lorsque des populations de ploïdie différente (le nombre de chromosomes dans les cellules) sont combinées dans des zones de restauration ou de production de graines. Les différences de ploïdie sont relativement courantes à la fois chez les Poacées et les Astéracées - deux familles largement utilisées en restauration (Kramer *et al.* 2018) et des populations avec des niveaux de ploïdie différents peuvent être trouvées à proximité (Gibson *et al.* 2017). Parce que les populations de ploïdie divergente ne doivent pas être mélangées en pépinière ou en restauration, des tests par cytométrie en flux peuvent être nécessaires pour déterminer les niveaux de ploïdie d'une population avant le mélange, si une stratégie de mélange est souhaitée. La dépression hybride chez les animaux n'a pas été aussi largement identifiée que chez les plantes, mais elle existe (Sagvik *et al.* 2005 ; Huff *et al.* 2011).

L'APPROVISIONNEMENT EN PROPAGULES ET LE DÉRÈGLEMENT CLIMATIQUE

La zone climatique dans laquelle une espèce existe aujourd'hui est reconnue comme sa « niche » ou



Photo prise par Mel Asher

son « enveloppe » climatique. À mesure que le climat change, cette **enveloppe climatique** est susceptible de se dissocier de l'aire de répartition actuelle d'une espèce et, lorsque les conditions deviennent plus chaudes, de se déplacer vers le pôle ou vers des altitudes plus élevées. Les enveloppes climatiques peuvent également être affectées par les changements de précipitations, avec des zones devenant plus sèches ou plus humides. Cependant, puisque les précipitations sont susceptibles de changer de manière moins prévisible que la température, il est probable que le déplacement des enveloppes climatiques sera plus complexe. Ces changements peuvent également affecter chaque population distincte au sein d'une même espèce à des taux différents.

Bien que de nombreuses espèces aient subi des changements climatiques dans le passé, le taux de dérèglement climatique actuel, ainsi que la fragmentation et les barrières anthropiques à la migration, sont sans précédent et compromettent la survie des espèces. Nous ne pouvons pas prédire avec précision ni le type ni l'ampleur des risques auxquels les écosystèmes sont confrontés car seule une faible proportion d'espèces a été étudiée

individuellement. Nous savons que certaines espèces ou populations pourraient être perdues de leurs emplacements actuels, certaines s'éteignant localement ou régionalement en raison d'obstacles à la migration et autres facteurs. D'autres coloniseront de nouvelles zones, altérant les assemblages d'espèces locales. Certaines d'entre elles peuvent avoir une « plasticité adaptative » suffisante pour persister à mesure que les climats changent, comme cela a été démontré par des expériences de translocation. C'est-à-dire qu'une plante individuelle peut être capable d'ajuster sa forme par des mécanismes tels que la réduction de la taille de ses feuilles, l'augmentation de l'épaisseur de ses feuilles ou la modification des temps de floraison et d'émergence. Certains animaux peuvent modifier leurs choix alimentaires (comme les espèces d'ours omnivores qui changent de nourriture et passent à des plantes plus résistantes au dérèglement climatique). Les espèces fauniques généralistes survivront généralement mieux au changement climatique que les espèces spécialisées. Dans la plupart des cas, le degré de persistance peut dépendre de la capacité d'adaptation d'une espèce, qui à son tour dépend de la taille et de la diversité génétique des populations individuelles.

De nombreux facteurs influenceront la capacité d'adaptation d'une espèce aux nouvelles conditions ou à migrer, y compris les modèles de flux génétiques, la répartition géographique de l'espèce, l'hétérogénéité de l'habitat et du climat où l'espèce se trouve, et d'autres facteurs biotiques et abiotiques, notamment si l'espèce est une espèce à succession précoce ou à succession tardive. Les espèces floristiques ou fauniques ayant de grandes populations, une grande diversité génétique, un flux génétique à longue distance et des capacités de reproduction et de dispersion naturellement élevées peuvent avoir une plus grande chance de s'adapter ou de migrer à mesure que leur enveloppe climatique se déplace. Inversement, les espèces ou les populations avec une diversité génétique moindre et

de faibles capacités de dispersion se produisant dans des parcelles isolées ou qui ont été isolées par des perturbations anthropiques peuvent être moins en mesure de s'adapter ou de migrer en réponse au dérèglement climatique.

L'historique des paysages joue également un rôle dans la probabilité d'adaptation. Par exemple, pour certains paysages « très anciens, infertiles, et climatiquement tamponnés » (*'Old, Climatically-Buffered Infertile Landscapes'* ou *'OCBIL'* » au sens de Hopper 2009) très riches en biodiversité, il est fort probable que les espèces aient résisté aux impacts de multiples changements climatiques sans glaciation. En conséquence, des espèces ont persisté dans ces paysages au fil du temps géologique en s'adaptant aux fluctuations d'humidité et de température. Par conséquent, dans les paysages OCBIL telles qu'une grande partie de l'Australie et de l'Afrique australe, les espèces présentent un niveau élevé de préadaptation aux changements climatiques. L'extinction et la disparition locale d'espèces dans les paysages OCBIL sont plus souvent dues à la fragmentation et la perte d'habitat. En revanche, dans les régions tempérées, de nombreuses espèces sont adaptées à la migration à longue distance, comme cela s'est produit après la déglaciation.

OUTILS ET DIRECTIONS FUTURES

Des protocoles de sélection de propagules pour améliorer le potentiel d'adaptation d'une espèce dans les projets de restauration sont en cours d'élaboration. Il se peut que les activités de restauration pour l'amélioration du potentiel d'adaptation soient inutiles dans de grands habitats intacts en raison de la forte connectivité entre les populations. Les actions d'aide à l'adaptation génétique seront probablement bénéfiques pour les paysages fragmentés ou ceux susceptibles de se fragmenter en raison du dérèglement climatique. Bien que le pool génétique local jouera un rôle majeur dans l'adaptation, il peut être prudent

d'inclure du matériel génétique d'espèces appartenant au « climat futur » prévu, c'est-à-dire une région avec un climat similaire à celui prévu pour la zone à restaurer. Des suggestions pour l'approvisionnement en graines, que ce soit de manière conservatrice ou par une approche plus large si celle-ci est appropriée, sont fournies dans le Tableau A1. Les chercheurs sont encouragés à concevoir des protocoles pour des essais ou expériences formelles intégrés dans des environnements de restauration à faible risque.

Des outils sont disponibles pour aider les planificateurs de projets de restauration à entreprendre une analyse d'état de **préparation au changement climatique** au stade de la planification. Premièrement, les praticiens de la restauration sont encouragés à rechercher des prédictions concernant les effets du dérèglement climatique sur les écosystèmes dans lesquels ils travaillent. Deuxièmement, les praticiens sont encouragés à rechercher des informations en sus et à collaborer avec les chercheurs pour mieux comprendre les réponses prédites des espèces à la fragmentation et au dérèglement climatique, et pour identifier les risques associés aux options se rapportant au mouvement délibéré de matériel génétique dans les projets de restauration. Pour les plantes, des études sur les expériences de transplantation sont essentielles pour comprendre les risques et les avantages du mouvement du matériel végétal. Troisièmement, les outils Web deviennent de plus en plus accessibles dans certains pays pour déterminer si l'espèce ou la population qui se trouve actuellement près du site de restauration sera toujours adaptée aux climats qui devraient se produire sur le site à l'avenir. En Amérique du Nord, l'outil *Seedlot Selection Tool* (<https://seedlot-selectiontool.org/sst/>) s'avère très utile pour les plantes, et en Australie, le site Web *Atlas of Living Australia* (www.ala.org.au) peut aider les praticiens à identifier l'aire géographique naturelle d'une espèce et si celle-ci peut avoir la capacité de tolérer les conditions prévues dans les scénarios de dérèglement climatique, eux-mêmes cartographiés sur le

site Web www.climatechangeinaustralia.gov.au (voir Booth *et al.* 2012).

De nombreux projets de restauration se procurent déjà des graines de plantes de provenances plus éloignées, souvent avec le dérèglement climatique à l'esprit. Les stratégies proposées pour un approvisionnement en propagules permettant d'intégrer la préparation au changement climatique à la restauration par le biais d'une diversité génétique garantie comprennent : les provenances locales assouplies (Kaye 2001) ; les provenances composites (Broadhurst *et al.* 2008) ; les provenances mélangées (Breed *et al.* 2013) ; les provenances prédictives (telles que Crowe & Parker 2008) ; et les provenances ajustées au climat (Prober *et al.* 2015 ; Fig. 6). Les descriptions de chaque stratégie ainsi que les avantages, les risques et les utilisations les plus appropriées figurent dans le Tableau A2. L'application de telles stratégies ne devrait être entreprise que lorsqu'elle est justifiée, étayée par des bases scientifiques solides dans un cadre de gestion des risques qui prend en compte les effets négatifs potentiels des dépressions de consanguinité et d'hybridation. Elle devrait également inclure un suivi à long terme (c'est-à-dire d'au moins une décennie) pour enregistrer les leçons à partager avec les praticiens et les scientifiques.

Les praticiens qui conçoivent des listes de plantation doivent cependant garder à l'esprit qu'il est impossible d'être certain des changements qui se produiront. Différentes espèces et populations réagiront de manières différentes au dérèglement climatique et il n'existe actuellement aucun moyen fiable ou facile de le prévoir.

Par ailleurs, la température et les précipitations ne sont pas les seuls prédicteurs importants. Une gamme de facteurs physiques (comme les substrats) et biologiques (tels que la dispersion) - qui eux-mêmes peuvent ou non être affectés par un climat changeant - peuvent également jouer un rôle important en influençant la distribution d'une

espèce. Bien qu'une certaine prudence soit toujours de mise, une approche empirique consistant à tester différentes approches de provenance dans de nombreuses régions du monde aidera à déterminer les bonnes pratiques. Chaque projet de restauration peut être une étude expérimentale si de bons registres sont conservés et les résultats sont suivis et partagés. Une telle approche pourrait améliorer les pratiques de restauration à l'avenir.

RESTAURER LA CONNECTIVITÉ ET AIDER LA MIGRATION

Un impact bénéfique de la restauration écologique est l'amélioration de la connectivité entre les parcelles de l'écosystème indigène permettant aux espèces de migrer plus librement et d'évoluer face au changement climatique.

Certains chercheurs ont préconisé que certaines espèces auront besoin d'une assistance spéciale pour migrer (« migration assistée » ; Kramer & Havens 2009 ; Sáenz-Romero *et al.* 2016 ; Wang *et al.* 2019). En effet, bon nombre des approches de provenance examinées ici pourraient être considérées comme une forme de migration assistée au niveau de la population. Cependant, quand et où cela pourrait être justifié fait l'objet d'un débat intense et comporte des risques (tels que l'hybridation avec des espèces étroitement apparentées ; les espèces devenant envahissantes dans le nouvel environnement). Renforcer les espèces aux frontières de leurs aires de répartition, ce qui peut sembler logique dans de nombreux cas, peut également poser problème, car la rareté de ces espèces aux frontières de leur aire de répartition repose sur des raisons écologiques qui peuvent être mal comprises. De plus, les populations qui habitent le long des frontières de répartition sont parfois génétiquement distinctes. Introduire du matériel génétique provenant d'autres populations pourrait réduire l'état de préparation au changement climatique ou conduire à l'extinction de la population locale par hybridation. Souvent, les frontières naturelles des

aires de répartition sont très irrégulières avec de nombreux cas particuliers, une condition qui n'est pas bien illustrée dans de nombreuses cartes de distribution (telles que celles basées sur les concepts de présence / d'absence utilisées par les divisions politiques locales). La question de savoir quand tirer des espèces « vers le haut en latitude et en altitude » le long de ces frontières ou de continuer à soutenir les populations dans leurs aires de répartition en basses latitudes et en bordure de faible élévation est complexe et mérite une réflexion approfondie. Face au changement climatique, les bordures de distribution extérieures sont les plus vulnérables à la perte d'une espèce. La longévité, la dispersion, le système de reproduction et d'autres caractéristiques propres aux espèces déterminent la capacité de s'adapter ou de migrer. Lors de l'approvisionnement, il est important d'envisager du matériel d'origines actuellement adaptées et celles adaptées aux conditions prévues dans un avenir proche pour équilibrer les avantages d'adaptation locale avec la capacité d'adaptation aux conditions changeantes.

Tableau A1

La position de la plante ou de l'animal le long d'un gradient de caractéristiques des espèces et des habitats peut guider l'approvisionnement en propagules (modifié d'après Havens et al. 2015).

APPROVISIONNEMENT EN PROPAGULES LOCALES / PLUS CONSERVATEUR	CARACTÉRISTIQUE DE L'ESPÈCE	APPROVISIONNEMENT EN PROPAGULES À DISTANCES PLUS ÉLOIGNÉES / PLUS SOUPLE
Distribution étroite, y compris les endémiques édaphiques	←————→	Distribution large
Incertitude taxonomique (potentiel pour des espèces cryptiques)	←————→	Stabilité taxonomique (bien étudiée)
Peu de flux génétique à longue distance	←————→	Flux génétique à longue distance étendu
APPROVISIONNEMENT EN PROPAGULES LOCALES / PLUS CONSERVATEUR	CARACTÉRISTIQUE DE L'HABITAT	APPROVISIONNEMENT EN PROPAGULES À DISTANCES PLUS ÉLOIGNÉES / PLUS SOUPLE
Historiquement fragmenté	←————→	Fragmentation récente
Haute qualité	←————→	Qualité dégradée
Paysage ancien ou stable	←————→	Paysage jeune et dynamique

Tableau A2.

Types d'approvisionnement en propagules, avec description, avantages, risques et utilisations les plus appropriées. Modifié d'après Havens et al. (2015) et Breed et al. (2013).

TYPE D'APPROVISIONNEMENT EN PROPAGULES	DÉFINITION	AVANTAGES	RISQUES	UTILISATION APPROPRIÉE LORSQUE
Provenance locale stricte	Utilisation de propagules provenant uniquement du site où se situe la restauration ou de populations se trouvant à une distance normale du flux génétique	<ul style="list-style-type: none"> faible risque de mauvaise adaptation (au moins à court terme) 	<ul style="list-style-type: none"> base génétique étroite consanguinité possible dérive génétique manque de capacité d'adaptation 	<ul style="list-style-type: none"> les perturbations sont minimales une large population locale est présente sur le site ou aux cotés de celui-ci les prévisions d'un changement de distribution sont faibles
Provenance locale assouplie	Mélange de propagules provenant de populations géographiquement proches en mettant l'accent sur la compatibilité de l'environnement des sites-source et des sites-récepteurs	<ul style="list-style-type: none"> faible risque de mauvaise adaptation (au moins à court terme) évite la consanguinité augmente la capacité d'adaptation 	<ul style="list-style-type: none"> peut avoir une base génétique étroite manque de capacité d'adaptation sur le long terme 	<ul style="list-style-type: none"> les perturbations sont minimales les prévisions d'un changement de distribution sont faibles
Provenance composite	Mélange de propagules provenant de populations de distance proche et intermédiaire (ou d'une compatibilité environnementale) pour imiter le flux génétique à longue distance	<ul style="list-style-type: none"> évite la consanguinité augmente la capacité d'adaptation 	<ul style="list-style-type: none"> mauvaise adaptation dépressions hybrides 	<ul style="list-style-type: none"> les perturbations sont minimales la fragmentation est élevée les prévisions de changement de distribution sont moyennes
Provenance mélangée	Mélange de propagules provenant de nombreuses populations de distances variables à travers l'aire de répartition de l'espèce	<ul style="list-style-type: none"> capacité d'adaptation la plus élevée 	<ul style="list-style-type: none"> risque de mauvaise adaptation le plus élevé dépressions hybrides génotypes possiblement envahissants 	<ul style="list-style-type: none"> les perturbations sont élevées les prévisions de changement de distribution sont élevées

Tableau A2. (suite)

Types d'approvisionnement en propagules, avec description, avantages, risques et utilisations les plus appropriées. Modifié d'après Havens et al. (2015) et Breed et al. (2013).

TYPE D'APPROVISIONNEMENT EN PROPAGULES	DÉFINITION	AVANTAGES	RISQUES	UTILISATION APPROPRIÉE LORSQUE
Provenance prédictive	Utilisation de génotypes adaptés aux conditions prédites (aux projections climatiques de 2050, par exemple) basée sur des modèles et des expériences de transplantation	<ul style="list-style-type: none"> fait le mieux face à des conditions changeantes, si les prévisions sont correctes 	<ul style="list-style-type: none"> les prévisions peuvent être incorrectes demande beaucoup de recherche (coût initial élevé), quoique des outils peuvent aider 	<ul style="list-style-type: none"> les perturbations sont moindres à moyennes les prévisions de changement de distribution sont élevées et bien comprises

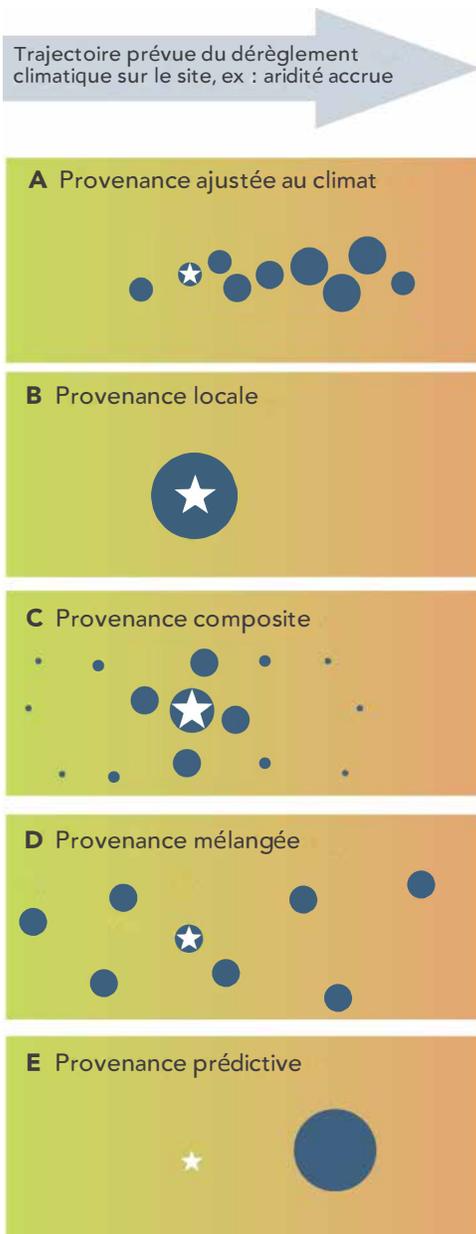
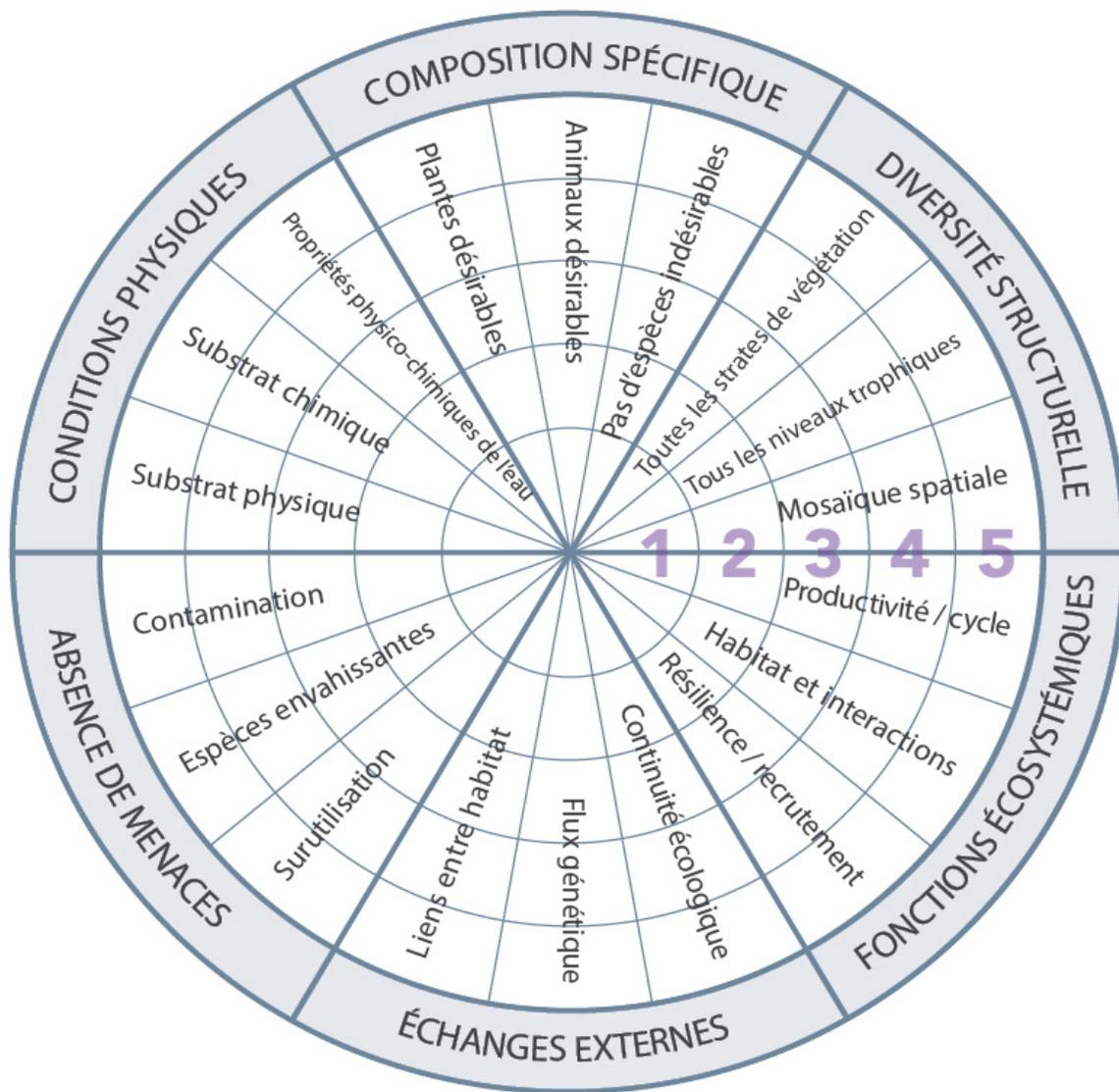


Figure A1. Les stratégies de provenance pour la revégétalisation (reproduit de Prober et al. 2015). Les étoiles indiquent les sites à revégétaliser et les cercles représentent les populations indigènes utilisées comme sources de matériel génétique. La taille des cercles indique les quantités relatives de matériel génétique incluses dans chaque population par rapport au site de revégétalisation. Notez que les provenances ajustées au climat ne sont pas considérées dans le tableau A2.

ANNEXE 2: MODÈLES D'ÉVALUATION DE PROJET VIERGES (for practitioner use)



Modèle de la Roue de rétablissement

ÉVALUATION DU RÉTABLISSEMENT ÉCOSYSTÉMIQUE

Site _____

Expert _____

Date _____

Écosystème de référence:

CATÉGORIE D'ATTRIBUT	NIVEAUX DE RÉTABLISSEMENT (1-5)	INDICES POUR LE NIVEAU DE RÉTABLISSEMENT
ATTRIBUT 1. Absence de menaces		
Surutilisation		
Espèces envahissantes		
Contamination		
ATTRIBUT 2. Conditions physiques		
Substrat physique		
Substrat chimique		
Propriétés physico-chimiques de l'eau		
ATTRIBUT 3. Composition spécifique		
Plantes désirables		
Animaux désirables		
Pas d'espèces indésirables		
ATTRIBUT 4. Diversité structurelle		
Toutes les strates de végétation		
Tous les niveaux trophiques		
Mosaïque spatiale		
ATTRIBUT 5. Fonctions écosystémiques		
Productivité / cycle		
Habitat et interactions		
Résilience / recrutement		
ATTRIBUT 6. Échanges externes		
Continuité écologique		
Flux génétique		
Liens entre habitat		

Citation: Gann GD, McDonald T, Walder B, Aronson J, Nelson CR, Jonson J, Hallett JG, Eisenberg C, Guariguata MR, Liu J, Hua F, Echeverría C, Gonzales E, Shaw N, Decler K, Dixon KW (2019) International principles and standards for the practice of ecological restoration. Second edition. Restoration Ecology 51-546.

