

Restauration écologique et ingénierie écologique

Des techniques complémentaires ou consubstantielles ?

par James ARONSON, Andre CLEWELL et David MORENO-MATEOS

Points clés

- L'écologie s'appuie sur des solutions d'ingénierie pour accélérer la récupération des écosystèmes, et non la contrôler totalement.
- Les ingénieurs écartent l'incertitude tandis que les écologues l'intègrent et ne craignent pas la complexité.
- La restauration écologique rétablit la dynamique naturelle et pas forcément les états antérieurs.
- Contrairement à l'ingénierie écologique, la restauration écologique est plus concentrée sur les processus que sur les résultats.

Dans un éditorial récent de la revue *Ecological Engineering*, le fondateur et éditeur Bill Mitsch posait la question suivante : “Quand les écologues apprendront-ils l'ingénierie et les ingénieurs l'écologie ?” (MITSCH, 2014). L'élément fondamental de cette question réside dans notre conception de la nature. Les écologues étudient la nature afin de déterminer ce qu'elle est et comment elle fonctionne. Les écologues sont également conservateurs, dans le sens où ils se positionnent en protecteurs de la nature et revendiquent une gestion ou une utilisation prudente des ressources naturelles et des écosystèmes, afin de satisfaire des valeurs humaines fondées sur le caractère naturel de l'environnement. Le travail des ingénieurs en écologie consiste, en revanche, en partie à transformer la nature pour fournir des biens et services environnementaux tels que le contrôle des inondations et la fourniture d'eau potable, l'assainissement des contaminants et le contrôle de l'érosion. Cette différence fondamentale dans les orientations et termes de référence crée un fossé qu'il faut franchir pour une compréhension mutuelle.

Article déjà paru dans :

Aronson, J., A. Clewell, D. Moreno-Mateos 2016.
Ecological restoration and ecological engineering:
Complementary or indivisible? *Ecological Engineering*
91:392-395.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.02.043>

MITSCH (2014:9) avance que l'ingénierie écologique poursuit deux objectifs, à savoir « la restauration des écosystèmes qui ont été substantiellement perturbés par des activités humaines telles que les pollutions environnementales ou la perturbation des sols, et le développement de nouveaux écosystèmes qui auront à la fois des valeurs écologiques et humaines ». Cette déclaration d'objectifs suit étroitement la définition de l'ingénierie écologique donnée par MITSCH & JØRGENSEN (2004:23) : « la conception d'écosystèmes durables qui intègrent la société humaine et l'environnement naturel pour des bénéfices partagés ». Ces déclarations, ainsi que les déclarations similaires de MITSCH au fil des ans, appellent courageusement à la restauration des écosystèmes perturbés d'une manière qui unit écologues et ingénieurs autour d'une cause commune. Nous applaudissons cet effort ; cependant, nous mettons en garde sur le fait que ces définitions nécessitent d'être révisées dans un objectif de compréhension mutuelle afin de s'aligner avec les concepts actuels de restauration écologique. Par exemple, les termes tels que « conception » et « durable » ont des implications qui entravent le dialogue préconisé par MITSCH. Pour comprendre pourquoi, il est nécessaire d'examiner de près la restauration écologique.

Qu'est-ce que la restauration écologique?

« La restauration écologique est le processus de facilitation du rétablissement d'un écosystème qui a été dégradé, endommagé ou détruit » (SER 2004). L'hypothèse tacite dans les premières années du développement de la restauration écologique moderne, était que le rétablissement assisté permettrait de rétablir un écosystème dans l'état de biodiversité et de fonctionnement qui existait avant sa dégradation. Parfois cela était possible, en particulier dans des environnements stables, non tropicaux, avec une biodiversité relativement limitée, et en particulier dans les écosystèmes qui pouvaient se rétablir rapidement dans un état de pré-perturbation, tels que les marécages herbacés. Cet optimisme a été encouragé par l'allégeance persistante aux concepts désuets de climax et d'équilibre de la nature. Désormais les

écologues ont abandonné l'idéal de reproduire le passé à l'identique. Ils reconnaissent que les écosystèmes sont dynamiques et que la vie se déplace inexorablement vers l'avant à un rythme régi par des flux biogéochimiques, l'instabilité environnementale, et la longévité des organismes dominants. Cette vision nuancée de la nature a amené les écologues à réaliser qu'un écosystème n'était en fait que l'expression temporelle de la biodiversité, se déplaçant le long d'une trajectoire écologique au fil du temps. La restauration écologique a pu s'apparenter à une reconstruction des écosystèmes mais apparaît désormais comme le rétablissement d'une trajectoire écologique interrompue lors d'une continuité historique (CLEWELL and ARONSON 2013a, 2013b). L'importance théorique du rétablissement des trajectoires écologiques n'est pas un concept nouveau dans la restauration écologique (ARONSON *et al.*, 1993) ; en effet, il semble que de nos jours, ce concept tende à devenir dominant. Les conventions internationales (i.e. CDB 2012), les plateformes intergouvernementales (i.e. PIBSE 2013) et les orientations politiques pour une action massive (par exemple l'IUCN 2014) montrent que la restauration écologique est désormais reconnue comme une priorité pour la conservation de la biodiversité, la lutte contre la désertification et la dégradation des terres, ainsi que pour l'atténuation des impacts des changements climatiques (ARONSON et ALEXANDER, 2013).

Les interventions menées sur site pour assister la réhabilitation sont limitées à quelques catégories. Les praticiens doivent s'assurer que :

- les espèces désirables sont présentes et les indésirables absentes,
- l'environnement physique favorise les espèces désirables,
- la structure d'une communauté biotique caractéristique se développe,
- les flux et échanges de matériel et organismes s'opèrent normalement avec le paysage environnant,
- dans la mesure du possible, les menaces dans le paysage environnant pouvant causer une récidive dans l'altération ont été supprimées.

Une *référence écologique* détermine la composition et la structure des espèces, non comme un modèle fixe mais plutôt comme un guide qui permet la planification, l'action, le suivi et l'évaluation. Des efforts sont faits

pour inclure autant que possible les espèces présentes avant la dégradation dans le processus de restauration car elles sont probablement des espèces co-adaptées et ont déjà été assemblées antérieurement pour former un écosystème durable. Un *inventaire de référence* pré-projet détermine les besoins de réparation physique du site et les ajustements nécessaires pour normaliser les échanges avec le paysage environnant. La *référence écologique* et *l'inventaire de référence* sont tous deux d'une importance cruciale pour la planification de la mise en œuvre du projet car ils déterminent la biodiversité initiale de l'écosystème à restaurer et les efforts spécifiques nécessaires pour réparer l'environnement physique.

Une fois que les processus écologiques sont revenus aux niveaux normaux de fonctionnement, la preuve de l'auto-organisation (ou auto-conception pour utiliser les termes de MITSCH) deviendra évidente, principalement en termes de reproduction et croissance des plantes et de recolonisation spontanée par la faune et la flore autochtones. La complexité écologique se manifestera progressivement en termes de diversité des habitats et diversification des niches. La capacité de résilience aux perturbations augmentera et la capacité d'autosuffisance se développera conformément à celle des écosystèmes de référence. Ces attributs apparaissent comme des manifestations de processus écologiques normaux et non directement issus de l'intervention des praticiens.

Un écosystème est considéré comme restauré dès que l'auto-organisation devient évidente et que le travail des praticiens sur site n'est plus nécessaire. L'achèvement d'un projet de restauration est similaire à la guérison dans la profession médicale. A la suite d'une fracture, un médecin ajustera l'os dans la jambe, de sorte qu'il guérisse dans la même position qu'avant la cassure. Lorsqu'il retrouve sa capacité à marcher, le patient est considéré comme guéri. La reprise de l'auto-organisation dans un écosystème en cours de restauration équivaut au moment où le patient est guéri.

MITSCH (2014 :13) a écrit que « l'ingénierie est un domaine consacré à la suppression de l'incertitude et au contrôle des processus naturels ». A contrario, la prédictibilité des résultats, le contrôle des processus de l'écosystème, et la suppression du doute ne caractérisent pas les projets de restauration écologique (Cf. Tab. I). L'objectif de la restau-

Caractéristiques	Restauration écologique	Ingénierie écologique
Prédictibilité	Les écosystèmes restaurés sont dynamiques et leur biodiversité n'est pas tout à fait prévisible dans le temps.	Les écosystèmes sont conçus ou gérés de manière prévisible pour fournir les services souhaités.
Complexité	La complexité augmente au fil du temps en raison du renouvellement constant des espèces.	Compte tenu du faible nombre d'espèces requises pour la plupart des services prévus, la quantité d'interactions générées, et donc la complexité, est faible.
Coût à long terme	Bien qu'un écosystème altéré ait probablement besoin d'une série d'interventions pour retrouver sa trajectoire historique, il ne devrait pas nécessiter d'entretien autre que les coûts habituels de gestion du territoire.	Pour maintenir une prestation élevée de services, les écosystèmes modifiés nécessitent des coûts de maintenance réguliers. Ces coûts peuvent atteindre des ordres de grandeur supérieurs aux coûts standard de gestion.
Valeur du capital naturel	En permettant l'accueil d'un grand nombre d'espèces, les biens et services potentiels sont importants et ne sont pas toujours reconnus jusqu'à la fin du projet.	En se concentrant sur des services simples ou peu nombreux, le nombre moins élevé d'espèces offre moins de valeur du capital naturel que dans les écosystèmes restaurés.

ration écologique est de considérer l'incertitude comme l'une des plus grandes qualités de cette entreprise. Les futurs états de la biodiversité et de la dynamique des écosystèmes reflèteront les contraintes et les fluctuations des conditions environnementales et sociales contemporaines auxquelles ces derniers doivent continuellement s'adapter (SER 2004 :1).

Tab. I :
Principales caractéristiques trouvées, ou recherchées, dans des projets axés sur les paradigmes de restauration écologique et d'ingénierie écologique. Les colonnes se réfèrent aux extrêmes entre la restauration écologique et l'ingénierie, mais il existe un gradient entre les deux extrêmes.

Conception, durabilité et ingénierie écologique

Le concept fondamental de *conception* dans l'ingénierie est problématique en ce qui concerne la réhabilitation écologique. La conception implique un produit. On conçoit un immeuble ou un pont dans l'optique d'un produit. On plante un jardin ou un verger avec une récolte agricole comme produit principal désiré. Un écosystème naturel ou semi-cultivé n'est pas un produit. Il s'agit plutôt de l'expression actuelle d'un développement écologique incessant. L'objet n'est pas un écosystème statique mais plutôt un processus dynamique. Ce que nous appelons un écosystème est la manifestation temporelle de la biodiversité générée par un processus. C'est uniquement lorsque la durabilité sera replacée dans cette perspective, que

nous pourrons nous attendre à voir les écologues et les ingénieurs s'entendre complètement et travailler en synergie.

MITSCH révèle sa compréhension de cette question lorsqu'il écrit, à propos de *l'auto-conception* : « la restauration écosystémique, telle qu'elle est actuellement pratiquée à travers le monde, est effectuée par des praticiens qui ont peu d'expérience dans la *conception*... et par des ingénieurs qui ne tiennent pas compte des capacités des écosystèmes à *s'auto-concevoir*... ». *L'auto-conception* est l'antithèse de la *conception* qui vise à produire un résultat en supprimant l'incertitude et en recherchant le contrôle des processus naturels.

La conception dans la restauration écologique ne se réfère pas à un produit ou à un résultat mais aux stratégies et tactiques pour la conduite d'un projet. La restauration sera-t-elle réalisée avec une assistance minimale pour favoriser la régénération naturelle ? Ou bien s'appuiera-t-elle sur des solutions technologiques, avec une préparation complète du site, des amendements du sol, et la plantation dense des stocks de pépinières ? La restauration sera-t-elle réalisée en une seule fois ou bien sera-t-elle conduite par étape afin de permettre une gestion adaptative ? Ce sont les types de questions que les écologues de la restauration se posent en matière de *conception*. Afin d'éviter la confusion, nous recommandons fortement que la *conception* dans le sens de l'ingénierie traditionnelle soit supprimée des définitions et des discussions concernant la restauration écologique.

Les termes *durable* et *durabilité* prêtent également à confusion dans le sens où ils sont utilisés en ingénierie écologique. La *durabilité* est un idéal intangible, utopique, qui défie la vérification. Elle peut être évaluée indirectement en comparant les tendances évolutives d'écosystèmes de référence locaux et intacts. Son évaluation est encore plus compliquée lorsqu'il s'agit d'écosystèmes restaurés situés dans des zones naturelles fragmentées, où une gestion externe est nécessaire pour remplacer les facteurs naturels manquants dont dépend la durabilité. Les écosystèmes pyrogènes, en particulier, nécessitent des feux prescrits remplaçant les incendies qui se déclenchent naturellement à plus grande échelle, dans les milieux naturels. La construction de fossés ou canaux peut être nécessaire pour maintenir l'hydro-

logie de zones humides. Une telle gestion externe est devenue la norme, entraînant une recherche moins systématique de durabilité naturelle.

La restauration écologique est-elle une sous-catégorie de l'ingénierie écologique ?

MITSCH & JØRGENSEN (2004: 24) considèrent l'ingénierie écologique comme un amalgame réunissant un grand nombre de modalités appliquées pour stimuler la récupération et l'amélioration environnementales, y compris la restauration écologique. À cet égard, ils considèrent la restauration écologique comme un sous-ensemble de l'ingénierie écologique. Nous ne sommes pas d'accord : la restauration écologique n'est pas un sous-ensemble de quelque chose. L'ingénierie écologique a été introduite comme une approche qui substitue des organismes vivants et des produits d'origine biologique aux matériaux inertes tels que le béton et l'acier. Cette nouvelle approche s'est révélée efficace pour résoudre certains problèmes dans le domaine du génie civil traditionnel. Ces dispositifs coûtent généralement moins cher à installer, à exploiter et à maintenir que les solutions traditionnelles d'ingénierie civile. Ils sont plus économies en énergie et moins brutaux et impactant sur les paysages. Ce n'est pas l'ingénierie écologique qui a fait connaître ... « la restauration des écosystèmes qui ont été substantiellement perturbés par les activités humaines... » (MITSCH 2014: 9). La restauration écologique a une longue histoire (JORDAN & LUBICK 2011) qui remonte aussi loin, si ce n'est plus, que celle de l'ingénierie écologique.

L'ingénierie écologique consiste essentiellement à résoudre des problèmes concrets : son approche est technique et proactive plutôt que fondée sur un accompagnement attentif des fonctions naturelles. Cette approche « accompagnatrice », largement utilisée dans la restauration écologique repose autant que possible sur la récupération spontanée et sur des interventions minimalistes connues sous le nom de « régénération naturelle assistée ». Cette dernière s'appuie sur des traitements ponctuels pour initier une reprise spontanée à plus grande échelle ainsi que sur des manipulations rudimentaires.

L'objectif est de faciliter la récupération d'un système naturel plutôt que de domestiquer la nature. L'ingénierie écologique conçoit les écosystèmes comme des produits destinés à fournir une valeur socio-économique pour les services de régulation et d'approvisionnement (*Millennium Ecosystem Assessment* 2005). La restauration écologique, quant à elle, accompagne la récupération des processus écologiques dans le but de reconstituer les écosystèmes naturels et semi-culturels dégradés qui génèrent non seulement des valeurs socio-économiques, mais aussi culturelles, individuelles et écologiques (CLEWELL et ARONSON 2013 : 15-31). La restauration écologique n'est cependant pas limitée à cette approche accompagnatrice. La plupart des projets de restauration écologique s'appuient, au moins en partie, sur des solutions techniques issues de l'ingénierie écologique. Parfois, ces solutions sont les seules options disponibles pour faciliter la récupération. Elles sont généralement sélectionnées pour des projets de restauration écologique afin d'accélérer leur mise en œuvre et sont souvent requises par les donneurs d'ordre dans les permis et clauses contractuelles.

Les approches d'ingénierie traditionnelle s'appliquent à l'architecture, à la construction de routes, à l'agronomie et à d'autres disciplines, mais les ingénieurs traditionnels ne considèrent pas ces autres disciplines comme des sous-catégories de l'ingénierie. La restauration écologique repose au moins autant sur les approches horticoles que l'ingénierie, mais les horticulteurs ne revendent pas la restauration écologique comme sous-catégorie de l'horticulture. La restauration écologique est une modalité largement interdisciplinaire qui s'appuie sur les approches et les technologies de nombreux domaines, y compris l'ingénierie. Pour toutes ces raisons, nous ne pouvons pas accepter l'idée que la restauration écologique soit une sous-catégorie de l'ingénierie écologique.

Une autre définition de l'ingénierie écologique a été proposée par CLEWELL et ARONSON (2013: 258 et 209-212) : l'ingénierie écologique est « la manipulation et l'utilisation d'organismes vivants ou d'autres matériaux d'origine biologique pour résoudre des problèmes qui affectent les populations ». Cette définition évite des termes tels que « design », « durabilité », « nature » et « création ». Elle distingue nettement l'ingénierie écologique du génie civil. Cette définition permet surtout à l'ingénierie écologique et à

la restauration écologique de s'appuyer l'une sur l'autre, sans compartimenter et sans considérer que l'une est une sous-catégorie de l'autre. Le SER Primer (SER 2004) donne une définition similaire de l'ingénierie écologique.

Restauration écologique à grande échelle

Récemment, une confusion supplémentaire entre l'ingénierie écologique et la restauration écologique est apparue en rapport avec la terminologie utilisée pour décrire ce qu'on appelle des *grands projets de restauration écologique*, tels que ceux des Everglades en Floride, de la baie de Chesapeake et du bassin du Haut Mississippi. Ce ne sont ni des projets de restauration écologique ni des projets *sensu stricto*. Ce sont plutôt de vastes programmes cadres d'activités, composés de nombreux projets administrativement coordonnés mais distincts, dont très peu peuvent être qualifiés de projets de restauration écologique de la façon dont nous définissons cette discipline. Toutefois, presque tous ont une approche d'ingénierie écologique. DOYLE et DREW (2008) et MITSCH (2014) ont décrit plusieurs de ces programmes et il en existe plus d'une douzaine dans le monde. Continuer de les appeler « restauration » ne fait que perpétuer cette confusion et relègue le sens du terme « restauration écologique » à celui d'un mot à la mode. Pour les programmes entrepris à grande échelle, et en particulier ceux où une mosaïque d'écosystèmes naturels, semi-culturels et dominés par l'homme s'entremêlent et interagissent de manière écologique et socioéconomique, et où une large gamme de motivations individuelles, sociales, économiques, culturelles et écologiques entrent en jeu, un autre concept plus large est nécessaire. À ces échelles, les deux disciplines — la restauration écologique et l'ingénierie écologique — sont requises, ainsi que la conservation des ressources naturelles, l'aménagement du territoire, l'éducation environnementale et le dur labeur de construction du consensus social et de l'engagement public. Nous proposons le terme de *restauration du capital naturel* (ARONSON *et al.* 2007 ; BLIGNAUT *et al.*, 2012 ; DE GROOT *et al.* 2013 ; BLIGNAUT *et al.*, 2014) plus approprié, à notre avis, pour couvrir le large éventail d'activités requises et pour

1 - <http://www.forestlandscaperestoration.org/>

fournir une vision à laquelle toutes les parties prenantes peuvent adhérer. Pour prendre un exemple, le Partenariat mondial sur la restauration des paysages forestiers¹ pourrait considérer cette suggestion.

Pour un service écosystémique particulier, la restauration écologique peut être moins efficace que la conception sociale d'un projet d'ingénierie, mais elle fournira probablement une gamme plus large de services nécessitant moins de gestion à long terme (Cf. Tab. I). Elle offre également plus de capacité à un écosystème à répondre et à s'adapter au changement climatique et à d'autres anomalies externes (CLEWELL & ARONSON 2013a). En tant que telle, elle offre un meilleur espoir de produire des bénéfices durables pour les générations à venir, que toute autre approche que nous connaissons.

Qui a besoin d'apprendre quoi ?

Revenons au dilemme de MITSCH et essayons d'y répondre : « Quand les écologistes apprendront-ils l'ingénierie et les ingénieurs l'écologie ? ». D'emblée nous excluons les praticiens qui interviennent dans des sites de projets d'ingénierie écologique et de restauration écologique. Ceux qui sont expérimentés sont généralement bien au courant à la fois de l'écologie et de l'ingénierie pertinentes pour leurs projets (RIEGER *et al.*, 2014). Pour la restauration des écosystèmes terrestres et aquatiques, une grande partie du projet d'ingénierie concerne la réparation de l'environnement physique. Les praticiens sur le terrain sont, au moins partiellement, compétents dans ces disciplines, et beaucoup sont experts dans la conduite de tests de terrain, dans l'utilisation d'équipements spécialisés, dans la préparation de plans et dessins de projets ainsi que dans l'exécution d'autres tâches généralement associées à la technologie et à l'ingénierie.

Ce n'est pas un secret que les ingénieurs écologues sont très critiqués pour leurs échecs dans des projets d'atténuation conduits sur les zones humides, dont beaucoup sont considérés comme une restauration écologique. Les mété-analyses des projets de restauration des zones humides révèlent systématiquement une sous-performance marquée en ce qui concerne la restaura-

ration de la structure biologique et de la fonctionnalité biogéochimique par rapport aux états de référence (MORENO-MATEOS *et al.*, 2012), et les rôles discutables des principales actions de restauration, telles que la revégétalisation, pour favoriser le rétablissement des assemblages floristiques (MORENO-MATEOS *et al.*, 2015). Ceci démontre bien la nécessité pour les ingénieurs d'apprendre l'écologie. Ce sont les ingénieurs qui signent les plans de restauration écologique et rédigent des projets de restauration écologique pour les grandes entreprises d'ingénierie qui reçoivent des contrats d'organismes gouvernementaux pour effectuer la réhabilitation de zones humides. D'autres ingénieurs sont haut placés dans ces mêmes agences gouvernementales qui définissent les clauses des projets de réhabilitation des zones humides, délivrent des permis et libèrent les entrepreneurs de leur responsabilité après l'achèvement du projet. L'une des raisons pour lesquelles de nombreux projets de réhabilitation de zones humides ont échoué, est qu'ils souffrent d'une biodiversité trop faible, ce qui reflète une attention insuffisante portée aux références écologiques et souligne l'importance d'insister sur le rétablissement de la composition spécifique dans les projets de restauration écologique. Des instructions explicites pour l'exécution d'un travail de qualité supérieure sont depuis longtemps disponibles (KUSLER et KENTULA 1990) et mises à jour (GALATOWITSCH 2012) mais elles sont trop souvent ignorées.

Nous constatons un grand besoin de formation sur les principes écologiques et leur application pour les ingénieurs qui développent et mettent en œuvre les politiques, et pour ceux qui soutiennent, administrent, planifient et dirigent des projets de restauration écologique. Des ateliers prévus à cet effet pourraient fournir cette formation. Cependant, notre expérience montre que les connaissances écologiques acquises ne se traduisent pas facilement dans les projets, à moins que les décideurs et les administrateurs, en particulier ceux des organismes publics (mais également ceux des organisations transnationales et des grandes organisations non gouvernementales), n'encouragent leur adoption. Le retard observé pourrait être générationnel, jusqu'à ce qu'une nouvelle vague d'ingénieurs écologiquement compétents, de professionnels des ressources naturelles et de décideurs occupent des postes administratifs de haut

niveau et que les cadres légaux et politiques deviennent plus favorables.

Les écologues ne connaissent qu'un peu l'ingénierie, mais à moins qu'ils ne soient dûment autorisés à signer des plans et des permis, leur apport en ingénierie est seulement consultatif. Par conséquent, il se peut qu'il soit peu important pour un écologue d'apprendre l'ingénierie au-delà d'un niveau modeste. A l'inverse, si les ingénieurs doivent préparer des plans écologiquement viables et pertinents, ils doivent être bien au courant des principes de l'écologie appliquée, et au moins à l'aise avec les questions que les écologues soulèvent à propos des écosystèmes et des communautés biologiques sur un site de restauration.

J.A., A.C. & D.M.M.

Remerciements

Nous remercions chaleureusement Dan Simberloff, Sasha Alexander, Paddy Woodworth, William Mitsch, et deux examinateurs anonymes pour leurs commentaires utiles et perspicaces sur les versions précédentes du manuscrit.

References

- Aronson, J. 2011. Sustainability science demands that we define our terms across diverse disciplines. *Landscape Ecol.* 26, 457-460.
- Aronson, J., and S. Alexander. 2013. Ecosystem restoration is now a global priority: time to roll up our sleeves. *Restor. Ecol.* 21, 293-296.
- Aronson, J., Milton, S.J., Blignaut, J.N. Editors. 2007. *Restoring natural capital: Science, business and practice.* Island Press, Washington, DC. pp. 3-8.
- Aronson, J., Blignaut, J.N., Milton, S.J., le Maitre, D., Esler, K., Limouzin, A., Fontaine, C., de Wit, M., Mugido, W., Prinsloo, P., van der Elst, L., Lederer, N. 2010. Are socio-economic benefits of restoration adequately quantified? A meta-analysis of recent papers (2000-2008) in *Restoration Ecology* and 12 other scientific journals. *Restor. Ecol.* 18, 143-154.
- Blignaut, J.N., Aronson, J. de Groot, R.S. 2014. Restoration of natural capital: A key strategy on the path to sustainability. *Ecol. Eng.* 65, 54-61.
- Clewel, A.F., Aronson, J. 2006. Motivations for the Restoration of Ecosystems. *Conser. Biol.* 20, 420-428.
- Clewel, A.F., Aronson, J. 2013a. *Ecological Restoration: Principles, Values, and Structure of an Emerging Profession*, 2nd Ed. Island Press, Washington, D.C.
- Clewel A., Aronson, J. 2013b. The SER Primer and Climate Change. *Ecol. Manage. & Rest.* 14, 182-186.
- Convention on Biological Diversity. 2012. UNEP/CBD/COP Decision XI/16. Ecosystem Restoration. <http://www.cbd.int/doc/decisions/cop-11/cop-11-dec-16-en.pdf>. (Accessed 26 January, 2016).
- Doyle, M., Drew, C.A. (Eds.) 2008. *Large-scale ecosystem restoration: five case histories from the United States.* Island Press, Washington, D.C.
- Galatowitsch, S. 2012. *Ecological restoration.* Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts.
- Intergovernmental Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES). 2013. Deliverable 3(b)(i): Thematic assessment on land degradation and restoration. <http://ipbes.net/work-programme/objective-3/45-work-programme/459-deliverable-3bi.html>. (Accessed 26 January, 2016).
- International Union for Conservation of Nature (IUCN). 2014. Forest and Landscape Restoration. <https://www.iucn.org/about/work/programmes/forest/?22347/forest-landscape-restoration-partnership-shares-group-knowledge-four-different-countries-one-common-goal> (Accessed 26 January, 2016).
- Jordan, W.R. III, Lubick, G. 2011. *Making nature whole.* Island Press, Washington, D.C.
- Kangas, P. C. 2004. *Ecological Engineering Principles and Practice.* Boca Raton: Lewis Publishers, CRC Press.
- Kusler, J.A., Kentula, M.E. 1990. Executive summary. Pages xvii-xxv in: Kusler, J.A., Kentula, M.E., *Wetland creation and restoration the status of the science.* Island Press, Washington, D.C.
- Millennium Ecosystem Assessment. 2005. *Ecosystems and human well-being synthesis.* Island Press, Washington, D.C.
- Mitsch, W.J. 1993. Ecological engineering – a cooperative role with the planetary life-support systems. *Environ. Sci. & Technology* 27, 438-445.
- Mitsch, W.J. 2012. What is ecological engineering? *Ecol. Eng.* 45, 5-12.
- Mitsch, W.J. 2014. When will ecologists learn engineering and engineers learn ecology? *Ecol. Eng.* 65, 9-14.
- Mitsch, W. J., Jørgensen, S.E. 2004. *Ecological engineering and ecosystem restoration.* John Wiley and Sons, New Jersey.
- Moreno-Mateos, D., Meli, P., Vara-Rodríguez, M. & Aronson, J. 2015. Ecosystem response to interventions: Lessons from restored and created wetland ecosystems. *J. Appl. Ecol.* 52, 1528-1537.
- Moreno-Mateos, D., Power, M.E., Comín, F.A., and Yockteng, R. 2012. Structural and functional loss in restored wetland ecosystems. *PLoS Biology* 10, e1001247.
- Rieger, J., Stanley, J., Traynor, R. 2014. *Project Planning and Management for Ecological Restoration.* Island Press, Washington, D.C.
- SER 2004. SER International Primer on Ecological Restoration. Society for Ecological Restoration. Tucson, www.ser.org (Accessed 26 January, 2016).

James ARONSON
Centre d'écologie
fonctionnelle
et évolutive
(UMR 5175,
CEFE - campus CNRS)

1919, Route
de Mende
34293 Montpellier
FRANCE
et
Missouri Botanical
Garden
P.O. Box 299
St. Louis, Missouri
63166-0299 USA

Andre CLEWELL
5812 Old Federal
Road, Quincy
Florida 32351 USA

David MORENO-
MATEOS
Basque Centre for
Climate Change,
Alameda Urquijo 4,
48008 Bilbao,
ESPAGNE
et IKERBASQUE,
Basque Foundation
for Science, Diaz de
Haro 5, 48008, Bilbao
ESPAGNE

Auteur pour
la correspondance :
james.aronson@
cefe.cnrs.fr

Résumé

Restauration écologique et ingénierie écologique : complémentaires ou consubstancielles ?

L'ingénierie écologique et la restauration écologique sont deux disciplines distinctes, toutes deux nécessaires pour contrer la détérioration environnementale mondiale. Par rapport à la restauration écologique, l'ingénierie écologique fournit des résultats plus prévisibles mais moins diversifiés. L'ingénierie écologique vise également à fournir une fonctionnalité supérieure à l'égard d'un ou de quelques services écosystémiques par rapport à la restauration écologique qui vise la récupération complète et à long terme des services écosystémiques perdus. L'ingénierie écologique induit généralement des coûts de maintenance supérieurs et fournit des valeurs de capital naturel plus faibles que la restauration écologique. Plus particulièrement, nous soutenons que les "projets de restauration à grande échelle" incluent peu de restauration et devraient être reconnus comme des "programmes de réhabilitation à grande échelle" plus alignés sur les principes de l'ingénierie écologique et l'objectif primordial de restauration du capital naturel. Les ingénieurs et les écologistes devraient travailler ensemble et apprendre les uns des autres si l'objectif consiste à générer des bénéfices sociaux significatifs.

Summary

Ecological restoration and ecological engineering: Complementary or indivisible?

Ecological engineering and ecological restoration are distinct disciplines, both of which are urgently needed to reverse global environmental damage. Relative to ecological restoration, ecological engineering provides outcomes that are more predictable but with lower diversity. It also aims to provide higher functionality with respect to one or a few ecosystem services, relative to ecological restoration which aims at full, long-term recovery of lost ecosystem services. Ecological engineering generally incurs higher maintenance costs and provides lower values of natural capital than ecological restoration. In particular, we contend that "large scale restoration projects" include little restoration and should be recognized as "large scale rehabilitation programs" more aligned with ecological engineering principles and the overriding aim of restoring natural capital. Engineers and ecologists must work together and learn from each other if our work is to generate significant societal benefits.

Resumen

Restauración ecológica e ingeniería ecológica: ¿complementarias o indivisibles?

La ingeniería ecológica y la restauración ecológica son disciplinas distintas, necesitándose ambas para revertir el deterioro ambiental mundial. En relación a la restauración ecológica, la ingeniería ecológica proporciona resultados que son más predecibles pero de baja diversidad. La ingeniería ecológica también tiene como objetivo el proporcionar una mayor funcionalidad con respecto a uno o varios servicios ecosistémicos, a diferencia de la restauración ecológica que tiene como objetivo pleno es la recuperación a largo plazo de los servicios ecosistémicos perdidos. La ingeniería ecológica normalmente entraña mayores costes de mantenimiento y proporciona valores de capital natural más bajos que la restauración ecológica. En particular, sostenemos que "los proyectos de restauración a gran escala" incluyen poca restauración y deberían ser reconocidos como "programas de rehabilitación a gran escala" más en línea con los principios de ingeniería ecológica y el objetivo primordial de restaurar el capital natural. Ingenieros y ecologistas deben trabajar juntos y aprender unos de otros si nuestro trabajo es generar beneficios sociales significantes.