

Intégrer recherche scientifique en écologie et gestion dans le cadre de l'ingénierie écologique : intérêts et limites

Frédéric Gosselin

L'ingénierie écologique est une branche de l'ingénierie se définissant en partie par rapport à une discipline académique, l'écologie (Gosselin, 2005). L'ingénierie écologique devra probablement mobiliser d'autres disciplines que sa discipline mère – surtout dans le cas de la définition large ou intégratrice de l'ingénierie écologique pratique (Gosselin 2005 et encadré 1). Nous souhaitons néanmoins dans cet article ébaucher quelques réflexions sur la question : quelle pourrait être la place de la recherche scientifique en écologie dans cette ingénierie, pour ce qui est de son volet strictement écologique ? Nous tenterons notamment de répondre à deux questions : pour ce qui est de « l'écologique », l'ingénieur écologue est-il « simplement » amené à appliquer les connaissances de l'écologie scientifique ? Comment envisager d'intégrer discipline scientifique et travail d'ingénieur ?

Nous n'aborderons ici que la gestion d'écosystèmes plutôt terrestres car, pour d'autres écosystèmes, les analyses peuvent être différentes. Nous insisterons notamment sur le fait qu'il ne faut pas tout attendre de la recherche scientifique, particulièrement pour une discipline comme l'écologie, qui est davantage en développement qu'aboutie du point de vue des méthodologies et applications. À l'inverse, nous plaiderons pour que l'approche scientifique ne soit pas perdue de vue dans la gestion écologique.

Enfin, nous présenterons quelques pistes pour mieux intégrer science et gestion dans le cadre de l'ingénierie écologique. La notion de gestion adaptative est sur ce plan très stimulante, même si elle apparaît difficile à appliquer en l'état si elle ne s'accompagne pas des changements de mentalité, traduits aux niveaux institutionnels voire législatifs.

La science n'est pas la seule source d'inspiration écologique de l'ingénierie écologique

L'écologie scientifique s'est davantage orientée vers le concept et le débat d'idées que vers l'applicable (Jax, 1993 ; Gutiérrez, 1994 ; Bunnell et Huggard, 1999 ; Barbault et Pavé, 2003). Le cas du concept de métapopulation¹ est particulièrement illustratif : bien que fort stimulant intellectuellement, y compris pour les gestionnaires, le fonctionnement en métapopulation *stricto sensu* n'est pas forcément fréquent (Harrison, 1991 in Bunnell et Huggard, 1999), et appliquer le concept de métapopulation, par exemple pour guider sans plus de données une stratégie de conservation de la biodiversité, serait pour le moins risqué.

Les experts et naturalistes détiennent donc probablement une forme de savoir empirique au moins aussi utile dans l'opérationnel, dans la recherche de solutions, que le savoir de type scientifique

1. C'est-à-dire un ensemble de populations à distribution discrète dans l'espace, potentiellement connectées entre elles par de la dispersion et dont au moins une des populations a une probabilité non négligeable de s'éteindre à moyen ou court terme (cf. par exemple Gosselin, 1997 ; d'autres variations autour de cette définition sont toutefois possibles).

Les contacts

Cemagref,
UR Écosystèmes
forestiers et paysages,
Domaine des Barres,
45290 Nogent-
sur-Vernisson

2. «*In particular, be wary of any rule, policy or guideline that prescribes the same thing everywhere*» (Bunnell et Huggard, 1999).

3. «*Although it might be assumed that the Northwest Forest Plan's precautionary strategy is the most viable approach to long-term protection of key species, another perspective is to treat this assumption as a question masquerading as an answer*» (Gunderson, 1999) (Stankey *et al.*, 2003).

4. Par exemple, en organisant plus systématiquement que dans les autres formes d'ingénierie des suivis temporels, ou en qualifiant les niveaux de variabilité ou de variance associés à différentes échelles spatiales (Bunnell et Huggard, 1999).

(Dunglas et Blandin, 1991 ; Bunnell et Huggard, 1999). Il faut se servir de ce savoir empirique d'expert pour proposer des solutions, en faisant bien attention de ne pas généraliser ces solutions de gestion tant qu'on n'a pas une conscience claire – et *a priori* scientifique – de leurs impacts (Bunnell et Huggard, 1999)².

Il faut vérifier la qualité des solutions proposées

« *It is much easier to sell an idea than a reality* » (Gutiérrez, 1994). De fait, reconnaître l'importance de disciplines autres que l'écologie et de pratiques non strictement scientifiques en ingénierie écologique ne signifie pas que l'écologie scientifique doive en être évincée – loin s'en faut. L'ingénieur écologue et les acteurs politiques ont deux alternatives : ou bien viser le consensus social (*cf.* ci-dessus) sans se soucier des effets sur le terrain de la solution proposée, ou bien, une fois le consensus établi, vérifier sur le terrain la qualité de la gestion proposée (*cf.* Roqueplo, 1994 dans un autre cas). Dans le cadre d'une profession impliquée dans le développement durable, la seconde solution est de loin préférable. L'ingénieur écologue doit donc non seulement aider à proposer des solutions, mais aussi prévoir de vérifier la qualité de la solution : en elle-même, et éventuellement (à une autre échelle) en comparaison de gestions alternatives (*cf.* aussi Simberloff, 1999). Cette remarque n'est pas anodine et doit amener l'ingénieur écologue à concevoir les solutions émergeant de la phase d'analyse, davantage comme source de questions ou comme des hypothèses que comme des réponses (Stankey *et al.*, 2003³), dans le cadre d'une gestion expérimentale ou d'une gestion adaptative (voir ci-dessous).

L'ingénieur écologue sera d'autant plus amené à vérifier la qualité des solutions proposées qu'il est en prise avec l'incertitude inhérente à l'écologie (Dunglas et Blandin, 1991 ; Bergen *et al.*, 2001 ; Fischesser, 1993), provenant de la complexité et de la diversité du système étudié (Parrott, 2002), de la difficulté d'y identifier les forces dominantes, et du phénomène d'évolution. On retrouve d'ailleurs certains de ces problèmes dans d'autres disciplines mobilisées par le développement durable, et notamment l'économie. Il ne me semble pas que cela doive être un frein au développement de l'ingénierie écologique – a-t-on arrêté toute forme d'ingénierie financière au motif que les marchés boursiers ont une nature profondément aléatoire ? – mais

plutôt une caractéristique à prendre en compte⁴, voire une force pour développer une autre forme d'ingénierie que l'ingénierie classique (Bergen *et al.*, 2001 ; Parrott, 2002).

De l'intérêt de l'ingénierie écologique pour l'écologie

Le lien entre ingénierie écologique et écologie n'est néanmoins pas à sens unique – de l'écologie vers l'ingénierie écologique – contrairement à ce que pourrait laisser penser la partie précédente. Il est en effet fort possible que l'ingénierie écologique fertilise sa discipline mère, l'écologie. Pourtant, comme nous l'avons vu en première partie, ingénierie écologique et écologie n'ont pas les mêmes orientations, comme en témoigne l'interrogation suivante de certains écologues : l'écologie est-elle prête pour développer une discipline technologique qui puisse être appliquée sur le terrain ? Cette question peut paraître saugrenue aux yeux de ceux qui estiment déjà faire de l'ingénierie écologique ; elle révèle néanmoins la différence d'orientation entre l'écologie académique – du moins une bonne partie de ses courants dominants – et les ingénieurs concernés par la gestion des écosystèmes ou des ressources naturelles (Berryman *et al.*, 1992 ; Barbault et Pavé, 2003), même si des disciplines issues de l'écologie ont des visées appliquées assez claires (la biologie de la conservation, la biologie des populations, l'écologie du paysage et l'écologie des communautés notamment ; Barbault et Pavé, 2003). Du point de vue de l'écologie, il est probable qu'une discipline d'application – l'ingénierie écologique – sera bénéfique pour passer à une posture scientifique plus prédictive et moins descriptive (Berryman *et al.*, 1992 ; Barbault et Pavé, 2003) : Mitsh (1996) parle ainsi de l'ingénierie écologique comme étant le « test à l'acide » des théories écologiques. L'écologie académique pourra s'inspirer des problèmes issus de l'ingénierie écologique pour développer de nouvelles connaissances (Barbault et Pavé, 2003) ; elle y trouvera aussi une légitimité sociale plus forte (Barbault et Pavé, 2003).

Différentes formes d'intégration de l'approche scientifique dans la gestion en ingénierie écologique

Ces trois points étant rappelés, quelles pistes proposer pour une meilleure intégration entre gestion et recherche dans le cadre de l'ingénierie écologique ?

La solution recherche (appliquée)

Il ne faut pas escompter que les concepts et résultats généraux de l'écologie scientifique soient applicables directement dans la gestion, et cela pour plusieurs raisons :

(i) souvent, les résultats ou concepts scientifiques sont amenés à évoluer, et les applications faites dans la gestion entrent en conflit avec les évolutions de la science : ce fut le cas dans la réflexion sur les principes devant guider les réseaux de réserves (plusieurs petites ou une seule grosse réserve ; Simberloff, 1988) ; c'est aussi le cas pour la chouette tachetée (encadré 1) ;

(ii) comme on l'a déjà précisé, il faut faire attention à ne pas appliquer dans la réalité des concepts idéalisés, ni des résultats d'analyses certes précises mais trop restreintes sur le plan de la variabilité étudiée, à cause de la différence de nature entre ces concepts ou résultats et le terrain d'application varié et complexe (Bunnell et Huggard, 1999⁵).

Les résultats de la recherche ne pourront être applicables dans la gestion que s'ils sont passés par une phase de validation, ou que s'ils ont incorporé, dès le début, les échelles et la variabilité

auxquelles le gestionnaire est confronté (Bunnell et Huggard, 1999 ; cf. notamment sa figure 2). Des outils statistiques adéquats sont disponibles :

– Bunnell et Huggard (1999) citent par exemple les techniques de méta-analyse et les techniques statistiques permettant d'appréhender plusieurs échelles simultanément ;

– Anderson *et al.* (2000) proposent quant à eux de formaliser l'incertitude scientifique sous la forme d'hypothèses multiples (Chamberlin, 1965), et d'utiliser ensuite des techniques de comparaison de modèles (Franklin *et al.*, 2000, pour un bon exemple sur le cas de la chouette tachetée).

L'analyse d'un grand nombre de données, couvrant des conditions écologiques variées afin de mieux connaître la généralité du résultat observé, associée à la compréhension des mécanismes sous-jacents, apparaît particulièrement fructueuse (Bunnell et Huggard, 1999), pour une raison simple : la plupart du temps, un mécanisme ou un résultat écologique n'est pas absolument général, mais a une prévalence qui dépend des conditions écologiques et de la variabilité écologique concernée (*i.e.* de la position sur le gradient écologique et la largeur du

5. «A critical question is whether our idealized concepts related to biodiversity lead to misleading outcomes, either in research or in management. We believe they do. We forget that concepts are simplifications, and let them drive research and management» (Bunnell et Huggard, 1999, p. 117).

Encadré 1

Exemple de la chouette tachetée nordique (*Strix occidentalis caurina*) sur la côte nord-ouest des États-Unis

La chouette tachetée nordique est manifestement plus fréquente dans les forêts primaires de la côte nord-ouest des États-Unis que dans les forêts gérées issues de coupes rases. C'est pourquoi les scientifiques l'ont étudiée, puis les associations environnementalistes l'ont érigée comme symbole de la protection des forêts primaires tempérées relictuelles de cette région. Elle a fini par être protégée par la loi américaine sur les espèces en danger, ce qui a suscité des procès, des débats très houleux et l'arrêt momentané de la gestion des forêts fédérales de la côte nord-ouest américaine. Les enjeux étaient de taille, puisqu'un territoire de chouette tachetée peut atteindre 1 000 ha, et que la protection accordée par la loi fédérale sur les espèces en danger est forte. Le problème a été réglé en 1993 – au moins temporairement – par un plan de gestion, qui comprenait la mise en réserve intégrale de 65 % des forêts fédérales de la côte nord-ouest (Yaffee, 1996 ; Gosselin, 1996).

Or, la plupart des études de sélection d'habitat par la chouette tachetée se fondaient sur des comparaisons assez tranchées entre – pour schématiser – d'un côté des forêts entièrement gérées et de l'autre des forêts entièrement primaires. Une analyse démographique effectuée par Franklin *et al.* (2000) en Californie du Nord a permis de mieux comprendre le lien de la chouette tachetée avec la qualité de son habitat : la chouette y est presque une espèce de lisière en ceci qu'elle a un succès démographique meilleur dans des territoires qui comprennent à la fois des forêts jeunes et des forêts âgées. Dans des zones où il n'y a pas de tout de forêt vierge, le succès démographique est très faible. Mais dans des zones où il n'y a que de la forêt primaire âgée, le bilan démographique est déficitaire.

Au bilan, l'une des espèces qui a motivé la mise en réserve de 65 % des forêts fédérales de la côte nord-ouest américaine, se révèle finalement moins liée à la forêt primaire qu'on ne le pensait, *au moins dans une partie de son aire de répartition et si on entend par forêt primaire les stades âgés de la forêt primaire*. Il apparaît ainsi que dans la zone étudiée, la préservation de quelques dizaines à quelques centaines d'hectares de forêt primaire par territoire de chouette tachetée, couplée à la gestion du reste du territoire, permet à la chouette de persister. La mise en réserve de 65 % de la surface est donc probablement une gestion sous-optimale pour cette espèce – mais pas forcément pour les autres espèces liées à la forêt primaire, au moins sur le court terme et dans les régions à propriété fédérale dominante en Californie du Nord, par rapport à une stratégie alternative de préservation de plus petites zones de forêt primaire davantage dispersées.

gradient écologique). Par exemple, l'importance relative de l'influence de la structure horizontale/verticale du peuplement forestier par rapport à sa composition en essences, sur la composition en espèces de l'avifaune pourrait dépendre du gradient successional étudié (Rotenberry, 1985 ; Wiens, 1989 ; Bersier et Meyer, 1994, et pour un résumé en français : Gosselin, 2005).

Gestion expérimentale et gestion adaptative

L'intégration entre gestion et recherche est maximale quand on pratique une gestion expérimentale (mise en place de plans d'expérience dont les « traitements » sont des gestions, ce qui rejoint la démarche de recherche de la partie précédente), et/ou ce que les auteurs anglo-saxons ont baptisé la gestion adaptative, dont on peut distinguer

deux formes : une version passive et une active (encadré 2). La gestion adaptative peut être définie comme étant *une approche de la gestion des systèmes naturels qui se fonde sur l'apprentissage – qu'il provienne du bon sens, de l'expérience, de l'expérimentation, du suivi... – en adaptant les pratiques en fonction de ce qui a été appris*. Cette voie est prometteuse, mais est exigeante sur de nombreux points de vue (encadré 2) ; globalement, il est probable (i) que la gestion adaptative active soit irréaliste dans un contexte – la protection de la nature en Europe et aux États-Unis – marqué par une aversion du risque, des moyens financiers limités et une culture de gestion et de management assez peu prête à ce nouveau paradigme (Stankey *et al.*, 2003) ; mais qu'en même temps (ii) cette nouvelle approche soit préférable sur le long terme à une politique ne prenant pas de risque (Stankey *et al.*, 2003).

Encadré 2

La gestion adaptative : intégrer l'acquisition de connaissances parmi les objectifs de gestion

La définition de la gestion adaptative telle qu'elle a été déclinée dans des cas concrets est floue et variable d'un auteur à l'autre (McLain et Lee, 1996, p. 438 notamment). Certains auteurs prétendent ainsi que dans certains cas de gestion, elle est davantage un mot passe-partout, un mot à la mode (*buzzword* en anglais) qu'un terme bien défini. Pourtant, si l'on retourne aux auteurs à l'origine de ce concept, on se rend compte que les objectifs de la gestion adaptative sont assez clairs : le but général en est d'organiser le processus de gestion/décision de façon à accroître nos connaissances à partir du processus de gestion lui-même et à adapter la gestion en fonction de ce qui a été appris (McLain et Lee, 1996 ; Gosselin, 1996 ; Bormann *et al.* 1999 ; Aldridge *et al.*, 2004) ; elle fait du développement des connaissances une ressource au moins aussi importante que les ressources physiques (Bormann *et al.*, 1999). Le but de la gestion adaptative est donc d'apprendre plus vite et plus, non seulement pour lever certaines incertitudes actuellement identifiées, mais aussi pour fournir aux générations futures davantage de sources d'information qui permettront de répondre à des questions non encore formulées (Bormann *et al.*, 1999). Un des axiomes de la gestion adaptative selon Bormann *et al.* (1999) est en effet que les objectifs des générations futures étant amenés à être différents des nôtres, il est souhaitable de pratiquer des gestions réalistes différentes en s'organisant pour à terme en retirer des connaissances. La gestion adaptative est ainsi ancrée dans la dimension intergénérationnelle du développement durable.

Nous retiendrons ici la définition de Bormann *et al.* (1999) : *la gestion adaptative est une approche de la gestion des systèmes naturels qui se fonde sur l'apprentissage – qu'il provienne du bon sens, de l'expérience, de l'expérimentation, du suivi... – en adaptant les pratiques en fonction de ce qui a été appris*⁶. Le critère pour qu'une gestion soit adaptative est donc que l'acquisition de connaissances ou d'expérience soit délibérément organisée et qu'il y ait un processus pour adapter les pratiques futures en fonction de cet apprentissage. Sort ainsi du concept de gestion adaptative, ce qu'on pourrait appeler à la suite d'Aldridge *et al.* (2004) une *gestion réactive*, c'est-à-dire réagissant à des stimuli externes au processus de gestion lui-même⁷. En continuant les distinctions et définitions, nous trouvons particulièrement important de distinguer comme le font Aldridge *et al.* (2004), la *gestion adaptative passive*⁸ de la *gestion adaptative active*⁹. La forme passive de la gestion adaptative consiste essentiellement à mettre en place un suivi de gestion, permettant ainsi d'avoir un retour sur expérience interne au processus de gestion lui-même, mais sans utiliser l'approche scientifique complètement : typiquement, on essaiera de vérifier la qualité d'une gestion – sans en comparer plusieurs ; on manquera parfois de répliques statistiques, rendant les conclusions plus fragiles ; on n'aura pas formalisé sous forme de modèles ou d'hypothèses l'état des connaissances et des incertitudes. La gestion adaptative active prend le contre-pied de la gestion adaptative passive sur ces trois points, la rendant ainsi assez proche de la gestion expérimentale, et intégrant très fortement la démarche scientifique dans le processus de gestion. Les promoteurs de la gestion adaptative active prétendent que le meilleur moyen de lever les incertitudes inhérentes à la gestion des ressources naturelles est d'utiliser la méthode expérimentale (Aldridge *et al.*, 2004). L'incertitude est ainsi abordée avec des méthodes et outils scientifiques que sont la formulation d'hypothèses à confirmer ou infirmer – par exemple en travaillant avec la méthode des hypothèses multiples (cf. la référence à Chamberlin, 1965, ci-dessus), l'utilisation de modèles de simulations ou de prédictions – éventuellement

6. «An approach to managing natural systems that builds on learning –based on common sense, experience, experimenting, and monitoring– by adjusting practices based on what was learned» (Bormann *et al.*, 1999).

7. «[Reactive management] often results in implementation of single policies or strategies that are assumed to be suitable without evaluating the policies or comparing alternative strategies or controls» (Aldridge *et al.*, 2004).

8. Aussi appelée *apprentissage en série* ou *apprentissage séquentiel* par Bormann *et al.* (1999).

9. Alternativement baptisée *apprentissage en parallèle* par Bormann *et al.* (1999).

Encadré 2 (suite)

basés sur des hypothèses différentes (McLain et Lee, 1996), et enfin des suivis temporels prenant la forme d'expériences (McLain et Lee, 1996 ; Haney et Power, 1996 ; Yoccoz *et al.*, 2001 ; Bergès *et al.*, 2002)¹⁰. Il est important que les suivis ou expérimentations soient effectués durant une durée minimale fixée *a priori* afin d'obtenir toute l'information de la gestion (Simberloff, 1998, p. 253 ; Moir et Block, 2001). Bien entendu, certains de ces outils ou méthodes peuvent être utilisés en gestion adaptative passive, mais jamais tous ensemble, car nous sommes alors dans de la gestion adaptative active.

Même si elle utilise des outils scientifiques, la gestion adaptative même active telle que définie par Bormann *et al.* (1999) se démarque néanmoins de la recherche appliquée, par le caractère secondaire des développements théoriques ou de l'étude des mécanismes et des liens de cause à effet¹¹. La manière de produire des connaissances de ce type de gestion adaptative n'est donc pas de type hypothético-déductif basé sur des raisonnements *a priori*, mais davantage de type inductif (Richard, 2004). McLain et Lee (1996) prétendent au contraire que la science sous-jacente à la gestion adaptative peut aussi bien être déductive qu'inductive (Bunnell et Huggard, 1999).

En plus de la distinction entre gestion adaptative active et passive, il nous semble important de distinguer les types de gestion adaptative en fonction des acteurs sur lesquels elle est centrée. Une interprétation rapide de la gestion adaptative active nous amènerait à définir une gestion adaptative centrée autour du couple gestionnaire/scientifique. Dans certains cas concrets, la gestion adaptative implique au contraire une interaction entre gestionnaires et communautés locales ou citoyens (McLain et Lee, 1996). Un troisième type de gestion adaptative est celle que proposent Bormann *et al.* (1999), qui implique le triptyque gestionnaires/citoyens/scientifiques, mais avec le renversement inhabituel que les citoyens et les gestionnaires sont autant concernés par l'apprentissage que les scientifiques..., la cible prioritaire étant le citoyen (Bormann *et al.*, 1999, p. 516).

Chaque cycle de gestion adaptative fonctionne généralement en deux phases :

- une première phase d'expression du problème social et technique – consultation, dialogue... – liée – au moins dans la forme active de la gestion adaptative – à une analyse du connu et de l'inconnu avec des outils scientifiques (modélisation, formalisation sous forme d'hypothèses, synthèses bibliographiques) et à des réflexions politiques, pédagogiques, sociologiques et institutionnelles sur les verrous institutionnels, politiques, sociologiques, juridiques... qui pourraient empêcher la résolution du problème (McLain et Lee, 1996 ; Stankey *et al.*, 2003) ; des formes institutionnelles nouvelles peuvent ainsi être mises en place lors de cette première phase (McLain et Lee, 1996). Celle-ci aboutit à un plan de gestion dont un des buts est de lever certaines des incertitudes identifiées ;

- la seconde phase consiste en l'implémentation de la ou des gestions proposées, en utilisant là encore des outils scientifiques (outils de suivi, expérimentation, analyse des données...). Une fois ce cycle bouclé, c'est-à-dire une fois que les leçons ont été tirées de ce premier cycle, on peut repartir sur un autre cycle de gestion adaptative ou embrayer sur un autre type de gestion. Les articulations entre les deux phases sont particulièrement difficiles à réaliser dans la forme active de la gestion adaptative (Aldridge *et al.*, 2004) : on assiste ainsi souvent à une mise en place de la gestion qui manque d'envergure par rapport aux analyses faites durant la première phase ; et à des difficultés à tirer l'expérience de la phase d'implémentation de la gestion.

La notion de gestion adaptative remonte au moins aux années 1970 (Bormann *et al.*, 1999, p. 510) ; elle fait écho à des concepts développés en science de la gestion, épistémologie, systémique, écologie industrielle... (Bormann *et al.*, 1999, p. 510). Le lecteur intéressé par des exemples de gestion adaptative – plus ou moins réussis – pourra se rapporter à McLain et Lee (1996) et Stankey *et al.* (2003) – ainsi qu'à Gosselin (1996, pp. 148-150). Ces exemples montrent que pour que la gestion adaptative soit plus qu'un mot passe-partout, il faut se donner les moyens d'en faire vraiment (Stankey *et al.*, 2003) : cela passe notamment par une définition partagée et assez rigoureuse du terme (*cf.* pour un exemple contraire, le cas du plan de gestion des forêts fédérales du Nord-Ouest américain ; Stankey *et al.*, 2003 et Gosselin, 1996, pp. 148-150), par de la formation de personnel, l'allocation de moyens sur le moyen ou le long terme, une volonté réelle des institutions, et la résolution de problèmes institutionnels voire législatifs (Moir et Block, 2001, Stankey *et al.*, 2003). Dans un contexte marqué par des incertitudes non négligeables et la volonté d'apprendre à partir de l'action, il faut aussi accepter de prendre des risques, ce qui pose problème dans certaines sociétés, frileuses vis-à-vis du risque (Stankey *et al.*, 2003). Une solution pourrait être d'incorporer dans les indicateurs de qualité des gestions ou politiques publiques des quantificateurs de ce qui a été appris à partir de cette gestion ou de cette politique (Bormann *et al.*, 1999, pp. 516-517 ; Stankey *et al.*, 2003).

En résumé, la gestion adaptative se donne pour objectif d'apprendre au cours du processus de gestion lui-même – en laissant de la place à des surprises et à l'incertitude, sources de connaissances nouvelles, et de modifier à terme la gestion en fonction de ce qui a été appris. La forme active de la gestion adaptative intègre fortement démarche scientifique et démarche de gestion ; néanmoins, la gestion adaptative telle que Bormann *et al.* (1999) la définissent se distingue de la recherche appliquée, d'une part par l'incorporation forte des citoyens et de la société dans le processus, et d'autre part, par la place non centrale de la recherche de causes à effet ou de développements théoriques généraux ; la gestion adaptative nous semble au final à la fois assez prometteuse par sa prise en compte d'outils et de méthodes scientifiques et son lien fort avec la société, et assez difficile à mettre en œuvre.

10. Bormann *et al.* (1999, pp. 522, 524 et 527) incorporent dans la forme active de la gestion adaptative aussi bien des suivis continus dans le temps que des *suivis reportés*, mais avec une variation des gestions planifiée dès le départ et correctement délimitée et consignée : le but est alors de fournir la possibilité d'études rétrospectives. On rejoint ainsi un autre axiome de la gestion adaptative, selon lequel les paysages gérés eux-mêmes contiennent de l'information qui a de la valeur ; et qu'on peut gérer les paysages pour produire davantage de connaissances permettant d'éclairer les décisions futures.

11. «An activity out to be regarded as research when the focus of the work is on developing general theory or understanding specific causes and effects, usually by limiting the scale or number of factors manipulated. An activity should be regarded as adaptive management when the focus is on the landscape being manipulated and when complex interactions and responses are permitted, making the connections between specific causes and effects more difficult to understand» (Bormann *et al.*, 1999, p. 509).

Suivis de gestion

Une intégration moins forte entre gestion et recherche – correspondant à de la gestion adaptative passive telle que définie dans l'encadré sur la gestion adaptative – consiste à organiser des suivis de la « qualité » de la gestion du point de vue écologique, à partir de différents types d'indicateurs. La mise en place d'indicateurs de gestion durable pourrait se reconnaître un objectif double (idée formulée par J. Weber) : d'abord, trouver des indicateurs « consensuels », permettant une meilleure perception de la situation par la société et les décideurs afin, le cas échéant, de mieux infléchir leurs comportements et décisions ; ensuite, essayer d'approfondir les évolutions en cours, avec des indicateurs éventuellement plus compliqués, qui sont explicitement amenés à être testés et mis à jour par les scientifiques en fonction des connaissances. Bien entendu, l'interaction entre gestion et recherche se fera essentiellement dans ce second volet – d'approfondissement, et pourra le cas échéant nourrir le premier volet – de communication et de décision – quand les connaissances seront stabilisées.

Transfert, enseignement, vulgarisation

Enfin, une intégration plus faible de la gestion et de la recherche, mais probablement tout aussi importante à long terme, se fait de trois façons : à travers la formation initiale et continue des personnels (gestionnaires, décideurs...) ; à travers la possibilité pour certaines personnes d'alterner au cours de leur carrière postes de gestionnaires et postes de scientifiques ; et à travers la mise à jour périodique des consignes de gestion – générales ou pour un projet précis – en fonction de l'évolution des connaissances, par exemple à partir de synthèses.

Pour ce qui est de la formation des ingénieurs écologues, les deux premiers éléments de notre présentation impliquent qu'elle insiste sur l'intérêt du savoir d'expert de type empirique, développe les capacités à faire émerger des synthèses, des solutions, des consensus, y compris par des moyens non scientifiques, mais aussi, en même temps, que cette formation exerce à la critique méthodique de ces solutions, sur la base d'une culture scientifique forte (avec expérimentations, suivis, gestion adaptative... ; cf. Simberloff, 1999, pour un exemple d'expression de telles critiques).

L'éventuelle intégration du concept de gestion adaptative (encadré 2) dans la formation des ingénieurs écologues impliquerait néanmoins de travailler autour des paradigmes en présence, et notamment des paradigmes d'ingénieur « classiques », d'optimisation, prévision, simplification, prise de décision, et du paradigme écologique où le hasard tient une grande place et n'est pas conçu comme étant un problème (Gutiérrez, 1994). Cela pourrait être fait en croisant les cursus des ingénieurs et des chercheurs (Noon, 1986).

Conclusion

L'ingénierie écologique se distingue en premier lieu des autres formes d'ingénierie par sa discipline mère, l'écologie. Dans ce court article, nous avons souhaité mieux cerner la nature de ce lien, en abordant deux questions :

- pour le volet écologique de son activité, l'ingénieur écologue est-il « simplement » amené à appliquer les connaissances de l'écologie scientifique ? Nous avons ici insisté sur le fait que l'écologie scientifique ne peut pas prétendre être la seule source d'inspiration écologique de l'ingénierie écologique, et doit être complétée – au moins à l'heure actuelle – par des savoirs plus empiriques ; en même temps, l'écologie scientifique a une place privilégiée pour vérifier la qualité de solutions proposées, par exemple à travers des suivis ou la mise en place d'expériences ;

- ces dernières considérations nous conduisent à notre seconde question : comment envisager l'intégration entre la discipline scientifique et le travail d'ingénieur ? Différents niveaux d'intégration sont ici présentés : ils concernent soit la gestion elle-même – mise en place d'expérimentations ou de suivis de gestion, éventuellement dans le cadre du concept de gestion adaptative – soit les activités de transfert et de formation. Un des avantages de la forme la plus poussée de gestion adaptative nous semble être d'intéresser et d'intégrer les scientifiques en tant que scientifiques – et non en tant qu'experts – dans le processus de gestion. Nous avons insisté sur les limites d'application de la gestion adaptative dans les conditions actuelles, tout en plaidant pour l'essayer dans certains domaines, en vue de tester son applicabilité et, le cas échéant, de former des ingénieurs écologues à cette méthode. □

Remerciements

Merci à Philippe Bonneil, Frédéric Archaux, Marion Gosselin, Michaël Pontégnie et Patrick Blandin pour leur relecture de cet article.

Résumé

L'ingénierie écologique est un champ de l'ingénierie défini par rapport à une discipline scientifique, l'écologie. L'ingénieur écologue est-il « simplement » amené à appliquer les connaissances de l'écologie scientifique ? Comment envisager l'intégration entre la discipline scientifique et le travail d'ingénieur ? En nous restreignant au champ de la gestion des écosystèmes continentaux, nous insistons sur le fait que l'écologie scientifique ne peut pas prétendre être la seule source d'inspiration de l'ingénierie écologique, mais qu'elle a une place privilégiée pour vérifier la qualité de solutions proposées, par exemple à travers des suivis. Nous présentons par ailleurs le concept de gestion adaptative, promettant une intégration forte entre recherche écologique et gestion. Nous insistons sur les difficultés de mise en oeuvre de ce concept, tout en proposant de le tester sur quelques cas à définir.

Abstract

Ecological engineering is defined relative to a scientific field, ecology. How do engineering and ecology relate? In particular, does ecological engineering merely apply the results of scientific ecology? In this note, restricted to the management of continental ecosystems, we insist that scientific ecology cannot be ecological engineering's only source of inspiration, although it has a central place in devising good evaluation procedures (including monitoring) of management quality. We then turn to the concept of adaptive management, which – in its «active» version – promises thorough integration of research and management. We insist on the difficulties inherent in applying this procedure under current conditions, and also propose to test it in several cases.

Bibliographie

- ALDRIDGE, C.-L. ; BOYCE, M.-S. ; BAYDACK, R.-K., 2004, Adaptive management of prairie grouse: how do we get there?, *Wildlife Society Bulletin*, 32, 1, p. 92-103.
- ANDERSON, D.-R. ; BURNHAM, K.-P. ; THOMPSON W.-L., 2000, Null hypothesis testing: Problems, prevalence, and an alternative, *Journal of Wildlife Management*, 64, 4, p. 912-923.
- BARBAULT, R. ; PAVÉ, A., 2003, Territoire de l'écologie et écologie des territoires, in CASEAU P. (Eds), *Études sur l'environnement : de l'échelle du territoire à celle du continent*, Paris, Tec et Doc Lavoisier, p. 1-49.
- BERGEN, S.-D. ; BOLTON, S.-M. ; FRIDLEY, J.-L., 2001, Design principles for ecological engineering, *Ecological Engineering*, 18, 2, p. 201-210.
- BERGÈS, L. ; GOSSELIN, M. ; GOSSELIN, F. ; DUMAS, Y. ; LAROUSSINIE, O., 2002, Prise en compte de la biodiversité dans la gestion forestière : éléments de méthode, *Ingénieries-EAT*, n° spécial, p. 45-55.
- BERRYMAN, A.-A. ; VALENTI, M.-J. ; HARRIS, M.-J. ; FULTON, D.-C., 1992, Ecological engineering – an idea whose time has come?, *Trends in Ecology & Evolution*, 7, 8, p. 268-270.
- BERSIER, L.-F. ; MEYER, D.-R., 1994, Bird assemblages in mosaic forests: the relative importance of vegetation structure and floristic composition along the successional gradient, *Acta Oecologica*, 15, 5, p. 561-576.
- BORMANN, B.-T. ; MARTIN, J.-R. ; WAGNER, G.-H. ; WOOD, G.-W. ; ALGERIA, J. ; CUNNINGHAM, P.-G. ; BROOKES, M.-H. ; FRIESEMA, P. ; BERG, J. ; HENSHAW, J.-R., 1999, Adaptive management, in SEXTON W.-T., MALK A.-J., SZARO R.-C. et JOHNSON N.-C. (Eds), *Ecological stewardship. A common reference for ecosystem management*, Oxford, England, Elsevier, p. 505-534.
- BUNNELL, F.-L. ; HUGGARD, D.-J., 1999, Biodiversity across spatial and temporal scales: problems and opportunities, *Forest Ecology and Management*, 115, 2-3, p. 113-126.
- CHAMBERLIN, T., 1965, The method of multiple working hypotheses, *Science*, 148, p. 754-759.

- DE MONTGOLFIER J. ; NATALI J., 1984, Vers une gestion patrimoniale des espaces naturels. Une méthode d'analyse et d'aide à la décision, *Aménagement et nature*, 73, p. 9-12.
- DUNGLAS, J. ; BLANDIN P., 1991, *Le génie écologique. Rapport d'étape*, Cemagref, 27 p.
- FISCHESSE, B., 1993, Synthèse de la table ronde sur le génie écologique, in anonymous (Eds), *Ressources Naturelles et développement montagnard*, Cemagref, p. 119-124.
- FRANKLIN, A.-B. ; ANDERSON, D.-R. ; GUTIERREZ, R. ; BURNHAM K.-P., 2000, Climate, habitat quality, and fitness in Northern Spotted Owl populations in northwestern California, *Ecological Monographs*, 70, 4, p. 539-590.
- GOSSELIN, F., 1996, *A journey into the country of spotted owls*, Paris, ENGREF, 258 p.
- GOSSELIN, F., 1997, *Modèles stochastiques d'extinction de population: propriétés mathématiques et leurs applications*, thèse de doctorat, Laboratoire de probabilités, université Paris 6, 297 p.
- GOSSELIN, F., 2004, Influence de la composition et de la richesse spécifique du peuplement arboré sur la biodiversité, in GOSSELIN M. et LAROUSSINIE O. (Eds), *Biodiversité et gestion forestière : connaître pour préserver*, Antony, Cemagref Éditions, p. 127-148.
- GOSSELIN, F., 2005, Pour une définition de l'ingénierie écologique plus intégrée avec le développement durable et avec l'écologie, *Ingénieries-EAT*, n° spécial Ingénierie Écologique, p. 139-147.
- GUNDERSON, L., 1999, Stepping back: assessing for understanding in complex regional systems, in JONHSON K.-N. et al. (Eds), *Bioregional assessments: science at the crossroads of management and policy*, Washington, D.C., Island Press, p. 27-40.
- GUTIÉRREZ, R.-J., 1994, Conservation planning: lessons from the spotted owl, in COVINGTON W.-W. et DEBANO L.-F. (Eds), *Sustainable Ecological Systems: Implementing an Ecological Approach to Land Management*, Fort Collins, CO, USDA Forest Service, Rocky Mountain Range and Experiment Station, p. 51-58.
- HANEY, A. ; POWER, R.-L., 1996, Adaptive management for sound ecosystem management, *Environmental Management*, 20, 6, p. 879-886.
- HARRISON, S., 1991, Local extinction in a metapopulation context – an empirical evaluation, *Biological Journal of the Linnean Society*, 42, 1-2, p. 73-88.
- JAX, K., 1993, Ecological Engineering, *Trends in Ecology & Evolution*, 8, 1, p. 36-37.
- MCLAIN, R.-J. ; LEE, R.-G., 1996, Adaptive management: Promises and pitfalls, *Environmental Management*, 20, 4, p. 437-448.
- MITSCH, W.-J., 1996, Ecological engineering: a new paradigm for engineers and ecologists, in SCHULZE P. (Eds), *Engineering within ecological constraints*, National Academy of Engineering, p. 111-128.
- MOIR, W.-H. ; BLOCK, W.-M., 2001, Adaptive management on public lands in the United States: Commitment or rhetoric?, *Environmental Management*, 28, 2, p. 141-148.
- NOON, B.-R., 1986, Summary: biometric approaches to modeling - the researcher's viewpoint, in VERNER J., MORRISON M.-L. et RALPH C.-J. (Eds), *Wildlife 2000, Modeling habitat relationships of terrestrial vertebrates*, Madison, Wi. (USA), The University of Wisconsin Press, p. 197-201.
- PARROTT, L., 2002, Complexity and the limits of ecological engineering, *Transactions of the Asae*, 45, 5, p. 1697-1702.
- RICHARD, E., 2004, *Réponse des communautés de carabiques à la coupe de régénération et au cycle sylvicole, lors de la conversion vers la futaie régulière de chêne : lien avec les caractéristiques écologiques des espèces*, Sciences de l'Environnement, thèse de doctorat, Paris, ENGREF, 406 p.
- ROQUEPLO, P., 1994, Effet de serre. Impasses politiques et incertitudes scientifiques, *Esprit*, mai 1994, p. 129-155.
- ROTENBERRY, J.-T., 1985, The role of habitat in avian community composition: physiognomy or floristics?, *Oecologia*, 67, p. 213-217.
- SIMBERLOFF, D., 1988, The contribution of population and community biology to conservation science, *Annual Review of Ecology and Systematics*, 19, p. 473-511.
- SIMBERLOFF, D., 1998, Flagships, umbrellas, and keystones: Is single-species management passe in the landscape era?, *Biological Conservation*, 83, 3, p. 47-257.
- SIMBERLOFF, D., 1999, The role of science in the preservation of forest biodiversity, *Forest Ecology and Management*, 115, 2-3, p. 101-111.
- STANKEY, G.-H. ; BORMANN, B.-T. ; RYAN, C. ; SHINDLER, B. ; STURTEVANT, V. ; CLARK, R.-N. ; PHILPOT, C., 2003, Adaptive management and the Northwest Forest Plan - Rhetoric and reality, *Journal of Forestry*, 101, 1, p. 40-46.
- WIENS, J.-A., 1989, *The ecology of bird communities. Volume 1: Foundations and patterns*, Cambridge, Cambridge University Press, xviii, 539 p.
- YAFFEE, S.-L., 1996, The Spotted Owl controversy in the United States and its implications for the practice of sustainable forestry, *Revue forestière française*, 48, SPEC. ISSUE, p. 51-64.
- YOCCOZ, N.-G. ; NICHOLS, J.-D. ; BOULINIER, T., 2001, Monitoring of biological diversity in space and time, *Trends in Ecology and Evolution*, 16, 8, p. 446-453.