

Pour une définition de l'ingénierie écologique plus intégrée avec le développement durable et avec l'écologie

Frédéric Gosselin

En avant-propos, précisons que l'auteur n'est pas un professionnel de l'ingénierie écologique, et que l'argumentation présentée se place surtout sur un plan logique et scientifique. La place de l'ingénierie écologique dans les rouages de notre société – question abordée par exemple lors d'un séminaire du CNRS par Abbadie et Kalaora, 2002 – n'est pas abordée ici.

Comme beaucoup des concepts « modernes », le concept d'ingénierie écologique nous apparaît d'emblée comme séduisant, consensuel et intuitif : il marie en effet l'opérationnalité de l'ingénieur avec le savoir du scientifique écologue, le tout dans l'optique d'un respect croissant de la nature. Ce n'est certes pas un terme nouveau puisqu'il est utilisé en France depuis maintenant plusieurs décennies dans le monde de l'aménagement ou de la protection de la nature, comme en témoigne l'activité de l'AFIE créée en 1979¹. Alors, pourquoi ce concept d'ingénierie écologique est-il de plus en plus mis en avant par les scientifiques, les ingénieurs, les décideurs ? On le retrouve ainsi au centre de l'action coordonnée incitative « Écologie quantitative » du ministère de la Recherche ; certains établissements de recherche engagent des réflexions à son sujet (CNRS, Cemagref, INRA...) ; et Barbault et Pavé (2003), dans un rapport de l'Académie des Sciences, lui réservent une large place. En reprenant largement leur synthèse, nous tenterons d'expliquer pourquoi ce terme est de plus en plus récurrent dans nos discours.

S'il est de plus en plus utilisé, le terme d'ingénierie écologique ne recouvre pas toujours le même sens. À partir d'une réflexion sur les définitions et analyses rencontrées, mon objectif dans la seconde partie de ce texte est de définir l'ingénierie écologique en explicitant autant que possible les choix effectués. Ses relations avec les

formes actuelles de gestion des systèmes naturels, avec la science écologique et avec la notion de développement durable, m'amènent à proposer une définition plus large que celle habituellement retenue, qui est plus cohérente avec les raisons de la recrudescence du terme d'ingénierie écologique. Il me semble particulièrement important de ne pas restreindre l'ingénierie écologique à l'ingénierie écosystémique – pour ce qui est du volet écologique. Pour finir, nous discuterons certains des problèmes soulevés par cette définition.

Pourquoi le succès actuel de la notion d'ingénierie écologique dans le monde scientifique ? Bref historique

Même si la visée appliquée était bien présente dans l'esprit des pères fondateurs de l'écologie (Barbault et Pavé, 2003), le terme d'**ingénierie écologique** n'émergea que dans les années 1960, sous la plume de H.-T. Odum : très lié à l'écologie des écosystèmes (ou écosystémique), il fut d'abord formulé en termes de flux d'énergie : était qualifié d'ingénierie écologique tout aménagement, réalisation ou évaluation d'ingénieur dans lequel les flux d'énergie dépensés par l'homme étaient beaucoup plus faibles que les flux d'énergie mis en œuvre « naturellement » (Mitsch, 1996). Plus philosophiquement, l'ingénierie écologique était résumée comme un partenariat, une alliance [de l'humanité] avec la nature (Mitsch, 1996).

1. Association française des ingénieurs écologues : <http://www.afie.net>.

Les contacts

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

2. «*Ecological engineering is the design of sustainable ecosystems that integrate human society with its natural environment for the benefit of both*» (Mitsch, 1996).

3. Dans sa page « historique » : « L'ingénieur écologue est à la fois détenteur d'un savoir d'ordre scientifique et d'un savoir-faire d'ordre expérimental et technique ; le génie écologique, au-delà des sciences naturelles d'observation, permet de dresser des diagnostics pour accompagner la conception d'un projet, agir et construire compte tenu des lois de l'écologie, voire créer ou reconstituer certains types de milieux » ; dans sa page de présentation générale : « Généralistes de l'environnement et professionnels de l'écologie appliquée, ils ont une approche globale et systémique des questions d'environnement. De ce fait, ils inscrivent leur action dans le cadre du développement durable » (<http://www.afie.net/>).

En 1992, la revue américaine *Ecological Engineering* voit le jour. Lui sont adossées une société internationale d'ingénierie écologique, créée en 1993 (*cf.* <http://www.iees.ch/iees.html>) et une société américaine d'ingénierie écologique, créée en 1999 (*cf.* http://swamp.ag.ohio-state.edu/ecoeng/AEES_a.html). La revue *Ecological Engineering* a reformulé la définition de l'ingénierie écologique ainsi : c'est la conception d'écosystèmes durables qui intègrent la société humaine avec son environnement naturel pour leur bénéfice mutuel (Mitsch, 1996)². Cette revue, assez ouverte sur les développements de l'ingénierie écologique à travers le monde, a notamment diffusé en Occident les réalisations chinoises en la matière (Mitsch, 1996). À remarquer enfin que, tout comme Odum, ce courant de l'ingénierie écologique est, de par sa focalisation sur la « conception d'écosystèmes », très axé sur l'écologie écosystémique – par exemple, utilisation d'écosystèmes naturels ou artificiels pour traiter un effluent polluant en étudiant les flux de matière dans l'écosystème, et développe assez peu de travaux en lien avec la biologie des populations ou l'écologie des communautés – il suffit de faire une interrogation par mots-clés des articles publiés dans *Ecological Engineering* pour s'en convaincre.

En parallèle, à la fin des années 1970, la profession d'**ingénieur écologue** s'est identifiée et organisée en France en réaction aux diverses lois mobilisant des ingénieurs pour mettre en œuvre des résultats, outils ou concepts de l'écologie : on pense en particulier à la loi de 1976 relative à la protection de la nature et à ses décrets, circulaires (de 1977, 1978...) concernant les études d'impact ; l'Association française des ingénieurs écologues s'est créée en 1979, notamment pour garantir ou demander un niveau de formation minimal des ingénieurs écologues et pour proposer un code de déontologie de l'ingénieur écologue. Elle propose sur son site web apparemment plusieurs définitions de l'ingénieur écologue³.

Enfin, plus récemment, des écologues scientifiques français, Robert Barbault et Alain Pavé, parmi d'autres, ont à nouveau promu le développement de l'ingénierie écologique, afin de réconcilier la discipline scientifique « écologie » avec les demandes de la société. En effet, l'écologie est devenue une science de plus en plus académique, conceptuelle, théorique, dont les objets sont plus les peuplements (ou communautés) et population (en lien avec la génétique et la théorie

de l'évolution), que les écosystèmes (Barbault et Pavé, 2003 ; *cf.* aussi Gosselin, 2005) ; l'écologie s'est ainsi éloignée de ce que visaient ses pères fondateurs, une science appliquée : c'est ce que di Castri (2000) a appelé la défaillance de l'écologie scientifique (Barbault et Pavé, 2003). Aujourd'hui, l'écologie se retrouve rappelée à l'ordre par la société, notamment avec l'émergence du concept de développement durable, qui comporte une forte composante écologique, et des interrogations sous-jacentes sur les atteintes de l'homme à son environnement (Barbault et Pavé, 2003). En parallèle, l'écologie a développé des sous-disciplines, des domaines de recherche ou des concepts qui peuvent être utiles à la société dans cette démarche : on pense notamment à la biologie de la conservation, à l'écologie du paysage (Barbault et Pavé, 2003), mais aussi à la biologie des populations spatialisée, ou à l'étude de la dynamique suite à une perturbation. Comme Barbault et Pavé (2003) l'expliquent, c'est la rencontre entre cette attente de la société, la recherche d'utilité sociale par l'écologie, et des concepts ou disciplines de l'écologie mûrs pour l'application, qui fait que le concept d'ingénierie écologique est aujourd'hui bien présent dans le monde scientifique.

Définir l'ingénierie écologique

Mais qu'entend-on par ingénierie écologique ? Comme nous l'avons vu, la définition « classique » de l'ingénierie écologique (au sens d'Odum et de la revue *Ecological Engineering*) est associée à l'idée de faire fonctionner les cycles « naturels » au profit de la société humaine et des écosystèmes eux-mêmes – dans une approche très écosystémique et dans le cadre d'un partenariat entre l'homme et la nature. Je propose ici d'élargir cette définition, après avoir défini quelques adjectifs qui, au gré des besoins, pourront préciser de quelle forme d'ingénierie écologique on parle.

Reprenons d'abord le problème de manière logique, avec les définitions de deux termes impliqués : ingénierie et écologie.

Comme le font fort justement remarquer Barbault et Pavé (2003), deux définitions peuvent être retenues pour le terme **ingénierie** : « conception, étude globale d'un projet sous tous ses aspects (techniques, économiques, financiers, sociaux...) », coordonnant les études particulières de spécialistes » ; ou : « discipline d'application scientifique ». Bien entendu, les deux définitions

ne sont pas antinomiques, mais elles désignent des réalités différentes. C'est pourquoi, si je les ai bien compris, Barbault et Pavé (2003) proposent d'appeler *ingénierie écologique* la discipline d'application de l'écologie et *ingénierie des systèmes écologiques* le volet lié aux projets de terrain. Mitsch (1996, p. 112) reprend à peu près cette distinction pour opposer *l'écologie appliquée*, restreinte au suivi des écosystèmes ou à l'exploitation de ressources naturelles, et *l'ingénierie écologique*, qui se doit de proposer des solutions aux problèmes posés par la société. Pour ma part, je distinguerai ces deux formes d'ingénierie écologique par les qualificatifs de « **pratique** » (i.e. *ingénierie écologique pratique*) pour l'ingénierie concrète de terrain (on aurait pu choisir : « prescriptive » à la suite de Mitsch, 1996, mais le terme n'existe pas ; concrète... ; mais pratique m'a semblé plus clair), et de « **scientifique** » (i.e. *ingénierie écologique scientifique*) pour la discipline d'application de l'écologie (on aurait pu aussi utiliser les adjectifs « technologique » ou « académique », mais je garde ici le terme scientifique, avec une acception large).

En second lieu, qu'entend-on par « **écologique** » dans ingénierie écologique ? Rappelons d'abord la définition de l'écologie : c'est la science qui étudie les relations des êtres vivants entre eux et avec leur milieu. Ajoutons que l'étude des êtres vivants peut se faire à différents niveaux d'organisation : celui d'une population avec son environnement ; celui d'une communauté ou d'un peuplement ; celui d'un écosystème local ; celui d'un écocomplexe dans un paysage...

Certains auteurs (Mitsch, 1996) ainsi que la revue *Ecological Engineering* mettent l'accent, de manière plus ou moins explicite, sur le caractère « écosystémique » de l'ingénierie écologique : on ne peut faire de bonne ingénierie écologique qu'en considérant l'ensemble de l'écosystème et en adoptant des outils de type approche systémique ou modélisation des flux d'énergie et de matière pour l'analyser. En corollaire, cette approche revient à ne pas considérer comme « écologiques » des formes anciennes d'ingénierie et d'aménagement des écosystèmes : agriculture, sylviculture, pêche... et certaines de leur sous-disciplines : contrôle des ravageurs, optimisation de la récolte...

À la suite de Berryman *et al.* (1992 ; cf. aussi Dunglas et Blandin, 1991), je propose d'élargir

le champ écologique couvert par l'ingénierie écologique, pour plusieurs raisons :

(i) d'abord, pour rester rigoureux au niveau sémantique. L'autécologie et l'écologie des communautés sont tout autant « écologiques » que l'écologie écosystémique ;

(ii) ensuite, pour garder le lien avec d'autres disciplines « appliquées » de l'écologie que l'ingénierie écologique écosystémique, par exemple, la biologie de la conservation, et l'écologie du paysage ;

(iii) aussi, pour marquer la continuité de cette approche avec des pratiques passées (agronomie, sylviculture, contrôle des ravageurs...) et des pratiques habituellement qualifiées d'ingénierie écologique (par exemple, revégétalisation pour stabiliser un terrain ou des berges, Fischesser, 1993 ; lutte biologique, Berryman *et al.*, 1992) ; ces pratiques sont tout à fait liées à l'écologie, même si c'est une forme d'écologie assez restrictive dans l'objet considéré et qui pose parfois problème d'un point de vue environnemental de nos jours ;

(iv) enfin, en reprenant les arguments de Blandin (1993), pour que l'ingénierie écologique puisse répondre à différents objectifs de gestion de la nature assignés par la société – faute de quoi l'implication de l'écologie dans le développement durable risque d'être réduite (cf. ci-dessous) ; or, parmi ces objectifs, il peut y avoir non pas le bon fonctionnement d'un écosystème ou un écosystème remplissant un certain rôle, mais la destruction ou l'artificialisation de certains écosystèmes, en lien par exemple avec la pratique de l'étude d'impact, ou le maintien ou le développement de la biodiversité, qui ne va pas forcément de pair avec le bon fonctionnement de l'écosystème (Simberloff, 1999).

On pourra ainsi qualifier différents types d'ingénierie écologique :

– suivant le niveau d'organisation retenu : **écosystémique ; relatif aux communautés ; populationnel** ;

– suivant l'objectif et le risque pour le milieu concerné : **d'impact** pour l'artificialisation ou la destruction de... ; **de conservation** pour... ; **de réhabilitation** ou **de restauration** pour...

Enfin, avant d'arriver à une définition de l'ingénierie écologique, il nous reste à faire un **choix de valeurs** (Berryman *et al.*, 1992, p. 268) : souhaiter-on insister sur l'alliance ou le partenariat entre

4. Pour ce qui est de l'ingénierie écologique scientifique, on pourrait la définir comme étant le développement scientifique d'outils, de méthodes, de concepts directement – ou presque – utilisables par l'ingénierie écologique pratique définie ci-dessus.

5. Surtout si on décline ce bénéfice en trois volets – économique, social et environnemental – et en bénéfice actuel et bénéfice futur, pour la composante intergénérationnelle du développement durable.

6. « Il privilégie les sciences du vivant et le vivant comme milieu, but et outil, donc le cyclique, le renouvelable, le réversible à long terme, le global » (Dunglas et Blandin, 1991, p. 12).

l'humanité et la nature, leur caractère inséparable (comme le fait l'école odumienne de l'ingénierie écologique), ou simplement mettre l'accent sur l'intérêt croissant de l'humanité pour la nature (cf. par exemple Blandin, 1993) ? Berryman *et al.* (1992) s'interrogent sur la facilité avec laquelle l'orientation d'Odum a prévalu en ingénierie écologique, alors qu'elle est contraire aux inclinations occidentales, et plus proche des systèmes de valeurs orientaux. Pour ma part, je garderai une approche anthropocentrée pour ce qui est de la définition des objectifs, ce qui aboutit à la palette de gestion la plus large, qui inclut des gestions d'écosystèmes artificialisés et la destruction raisonnée d'écosystèmes (Blandin, 1993), pour quatre raisons essentielles – les deux premières reformulant des arguments développés auparavant :

– si comme Barbault et Pavé (2003) le proposent, l'ingénierie écologique doit trouver sa légitimité dans le cadre du concept de développement durable, elle doit accepter dans certains cas de privilégier les aspects économiques et sociaux par rapport aux aspects environnementaux (cf. point (iv) ci-dessus) ;

– d'autre part, il ne faut pas oublier que les écosystèmes fonctionnant les plus naturellement ne sont pas forcément les meilleurs pour toutes les composantes de l'écosystème : on connaît ainsi certains cas où les activités de l'homme ont globalement promu la biodiversité (Blandin, 1993 ; cf. aussi le point (iv) ci-dessus) ;

– faire de la « Nature » ou de ses éléments des sujets de droit pose des problèmes pratiques et de cohérence ; cela nous ramène, d'un point de vue philosophique, aux questionnements autour de l'écologie radicale et des droits des animaux, visant à savoir si des sujets non-humains peuvent être des sujets de droit en dehors de tout jugement de valeur ou norme humain(e) (Bourg, 1992 ; Bourgeois, 1993 ; Comte-Sponville, 1995 ; Bourg, 1996) ;

– enfin se donner comme objectif « le bénéfice de la Nature » nécessite un traducteur attiré de qu'est un bénéfice pour la « Nature » ; cela risque de donner un pouvoir de décision à ce « traducteur » (l'ingénieur écologue, le naturaliste, l'ONG environnementaliste) ; il est à mon avis plus sain de donner ce pouvoir à la société dans le cadre de son fonctionnement normal.

Sur ces bases, on peut proposer les deux définitions suivantes de l'ingénierie écologique pratique⁴ :

– **une version « spécialisée » :**

« La conception, la mise en oeuvre et le suivi de la composante écologique d'un projet d'aménagement et/ou de gestion, pour le bénéfice de la société humaine, y compris de ses attentes en termes d'environnement, et en accord avec l'évolution des connaissances et des méthodes en écologie » ;

– **une version plus intégratrice :**

« La conception, la mise en oeuvre et le suivi d'un projet d'aménagement et/ou de gestion à fort enjeu et/ou niveau de compétences écologique, pour le bénéfice de la société humaine, y compris de ses attentes en termes d'environnement, et en accord avec l'évolution des connaissances et des méthodes en écologie ».

J'ai longuement hésité à faire explicitement figurer le terme de développement durable dans ces définitions, pour finalement décider de l'enlever, afin de rendre ces définitions plus souples. Il faudra peut-être revenir sur ce choix, si la composante intergénérationnelle du développement durable devait y figurer explicitement ; car pour l'autre composante majeure du développement durable – une prise en compte simultanée de l'économique, du social et de l'environnemental – implicitement reliée de mon point de vue à une vision humaniste ou anthropocentrique des problèmes d'environnement, elle est sous-jacente à l'expression « bénéfice de la société humaine, y compris de ses attentes en termes d'environnement »⁵, ainsi qu'aux choix de valeurs explicitées plus haut.

Par sa formation approfondie en écologie – et dans d'autres disciplines du vivant ou des sciences de la terre (Dunglas et Blandin, 1991, p. 14-15), et par son inscription dans la politique de développement durable – sous-jacente au « bénéfice de la société humaine » de nos jours, l'ingénieur écologue essaiera le plus souvent de se positionner dans l'optique odumienne de laisser le plus de place possible aux processus « naturels », c'est-à-dire fondés sur le fonctionnement propre des écosystèmes (Dunglas et Blandin, 1991 ; Lamotte *et al.*, 1996, p. 874)⁶, à partir notamment de l'énergie solaire ; mais il est prêt à formuler des solutions peu « naturelles » si les raisons socio-économiques sont suffisamment justifiées, assumées

et cohérentes avec la notion de durabilité. En fonction de ses responsabilités, il pourra alors aider à expliciter les raisons qui ont poussé à ces choix et leurs conséquences prévisibles, pour la société, les écosystèmes et les organismes vivants. Compte tenu des fortes pressions en jeu, et de la propension à faire passer pour de vraies raisons socio-économiques des intérêts particuliers, un code d'éthique est nécessaire à cette profession (Dunglas et Blandin, 1991 ; Jax, 1993 ; Fischesser et Dupuis-Tate, 1996 ; comme par exemple celui proposé par l'AFIE, <http://www.afie.net>), et des solutions à la fois anti-économiques et anti-écologiques doivent être dénoncées (Parthenay, 1993).

Quelques exemples

La définition retenue est large. Elle ne remet pas en cause en elle-même des pratiques séculaires (agronomie, sylviculture...) ni des pratiques plus récentes (étude d'impacts...). Pour prendre quelques exemples, l'ingénierie écologique – surtout de type scientifique – inclura très probablement des activités aussi variées que les suivantes (Barbault et Pavé, 2003) :

- proposer des indicateurs caractérisant l'état d'un système écologique ; plus généralement, concevoir des procédures et techniques de diagnostic et de surveillance ;
- grâce à des scénarios, prévoir les effets possibles d'actions humaines alternatives sur les systèmes écologiques ;
- définir des modes d'action pour piloter un écosystème vers un état désiré ;
- inciter au développement de recherches scientifiques spécifiques pour répondre aux problèmes qui lui sont posés et qu'elle se pose.

Parmi les grands types d'objectifs qui peuvent lui être alloués, citons entre autres :

- (i) utiliser des écosystèmes naturels ou inspirés d'écosystèmes naturels pour réduire ou annuler un problème de pollution (exemples : traitement des déchets [compostage], traitement des eaux usagées...) (Jorgensen et Mitsch, 1989) ;
- (ii) restaurer des écosystèmes après une perturbation importante par l'activité humaine (réhabilitation ou restauration de carrières, de mines... ; restauration de rivières ou de lacs...) (Jorgensen et Mitsch, 1989 ; Barbault et Pavé, 2003) ;

(iii) utiliser les écosystèmes pour certaines de leurs ressources tout en préservant le bon fonctionnement écologique de l'écosystème (en agriculture, pêche, sylviculture...) (Jorgensen et Mitsch, 1989 ; Barbault et Pavé, 2003) ;

(iv) gérer des écosystèmes en vue de maintenir ou d'améliorer leur biodiversité (objectif proche de la biologie de la conservation) (Jorgensen et Mitsch, 1989 ; Barbault et Pavé, 2003) ;

(v) évaluer l'impact d'un aménagement ou d'une gestion sur les écosystèmes environnants (Blandin, 1993 ; Barbault et Pavé, 2003).

Enfin, en apparence du moins (*cf.* partie suivante), la notion d'ingénierie écologique n'est pas étrangère à certains nouveaux concepts de gestion. La notion de gestion écosystémique (Meffe et Carroll, 1997 ; Samson et Knopf, 1996 ; Kaufman *et al.*, 1994 ; Hemstrom et Thomas, 1996), qui met l'accent sur la gestion des processus physiques (et notamment des perturbations), sur la gestion à l'échelle du paysage et sur la gestion de plusieurs espèces en même temps peut inspirer des solutions à l'ingénieur écologue. Il en va de même pour l'agriculture biologique, qui s'attache à laisser jouer au maximum les processus naturels (notamment au niveau de l'humus). Au niveau plus institutionnel, les parcs naturels régionaux français, ainsi que les réserves de biosphères de l'UNESCO (Barbault et Pavé, 2003) semblent aussi relever d'une vision proche de l'ingénierie écologique au sens large, appliquée à l'aménagement du territoire. Nous renvoyons le lecteur au dernier chapitre de Fischesser et Dupuis-Tate (1996) pour une série d'exemples *a priori* cohérents avec la notion d'ingénierie écologique.

Développer la culture de l'expérimentation, intégrer la multiplicité des enjeux écologiques

Au vu des exemples donnés, il semble donc que l'ingénierie écologique ne change pas grandement nos pratiques de gestion des écosystèmes : elle peut englober la manière dont on a géré les écosystèmes, elle peut permettre, le cas échéant, de détruire certains écosystèmes... Quel est donc l'apport de la définition de l'ingénierie écologique que nous avons proposée ? Et quelles seront les difficultés qu'elle devra surmonter ?

Du point de vue de l'ingénieur écologue, l'application de l'écologie académique récente n'est pas forcément toujours évidente, tant elle a privilégié les concepts dans leur généralité par rapport à des approches plus proches de la réalité de gestion (Barbault et Pavé, 2003 ; Bunnell et Huggard, 1999 ; Gosselin, 2005), et tant elle semble aujourd'hui peu capable de faire des prédictions à la fois sur le devenir de populations particulières et sur le fonctionnement d'un écosystème (Jax, 1993). Mais il faut compter sur l'apport de contributions non strictement scientifiques (savoir d'expert de type empirique...) pour résoudre les problèmes (Dunglas et Blandin, 1991 ; Gosselin, 2005), et à plus long terme sur le développement du caractère opérationnel de l'écologie à la suite d'un éventuel couplage entre écologie et ingénierie écologique. En attendant, l'ingénieur écologue devra donc probablement faire appel à des connaissances empiriques pour proposer des solutions ainsi qu'à des expérimentations et à des suivis pour évaluer son action (Simberloff, 1999 ; Gosselin, 2005). Ce couplage entre proposition de solutions et vérification de leur qualité, s'il est promu, me semble être un apport de ma définition de l'ingénierie écologique – contenu dans l'expression « en accord avec l'évolution des connaissances et des méthodes en écologie » : s'il y a un point sur lequel l'écologie moderne peut faire évoluer la gestion conservatoire des écosystèmes naturels, c'est bien la culture de l'expérimentation, bien développée en agronomie et en sylviculture, mais qui fait aujourd'hui cruellement défaut en gestion conservatoire des écosystèmes (Simberloff, 1999 ; Gosselin, 2005). Ce point a un impact direct sur la formation des ingénieurs écologues : ils doivent non seulement avoir de bonnes connaissances en écologie mais aussi avoir une culture expérimentale certaine, et, plus globalement, une bonne faculté à organiser leur raisonnement et à se poser des questions.

Un second apport sous-jacent à ma définition par rapport à la définition classique – écosystémique – de l'ingénierie écologique est qu'elle insiste non pas vraiment sur la complexité des écosystèmes – aussi développée dans l'approche classique, mais sur la multiplicité des enjeux. Un développement de l'ingénierie écologique principalement ou exclusivement autour de l'aspect écosystémique – et surtout les outils de modélisation et d'analyse systémique – serait dangereux car cela l'isolerait de développements récents en écologie (des populations, des communautés, du paysage)

et ne favoriserait pas le dialogue entre ingénieurs et scientifiques. Plus précisément, des concepts d'ingénierie écologique de type écosystémique (par exemple, la gestion écosystémique ou l'agriculture biologique ; cf. ci-dessus) font souvent appel aux notions d'équilibre de la nature, de santé ou d'intégrité des écosystèmes naturels (cf. par exemple Simberloff, 1999) ; ils font aussi souvent l'hypothèse que si l'écosystème fonctionne correctement du point de vue des flux de matière et d'énergie, les composantes de l'écosystème – et notamment les espèces – s'en porteront bien (Simberloff, 1999 ; c'est ce qu'on peut appeler l'« effet de sillage »). Ces énoncés sont problématiques du point de vue de l'écologie des populations et des communautés, d'une part parce qu'ils peuvent être non falsifiables car trop flous ou non quantifiables (Simberloff, 1999), d'autre part parce que d'après nos connaissances actuelles, un écosystème appauvri en espèces peut fonctionner tout à fait correctement (Simberloff, 1999). L'ingénierie écologique, si elle souhaite rester en lien avec l'écologie, nécessite donc une attention portée au tout – persistance ou durabilité du bon fonctionnement de l'écosystème – en même temps qu'aux parties – persistance des espèces ; notamment, il apparaît bien dangereux de remplacer systématiquement la gestion en faveur d'espèces menacées par une gestion écosystémique (Jax, 1993 ; Gutiérrez, 1994 ; Simberloff, 1999). Cet apport de l'ingénierie écologique a bien entendu d'abord un impact sur la formation des ingénieurs écologues (l'écologie au sens large et non uniquement l'écologie écosystémique) et sur les outils qu'ils seront amenés à manipuler : pas uniquement l'approche systémique et la modélisation, mais aussi le reste de l'écologie, l'évaluation multicritère, les statistiques, les outils de suivi et d'évaluation, l'expérimentation et la théorie du contrôle (Berryman *et al.*, 1992). Cette attention portée au tout en même temps qu'aux parties est aussi une difficulté : on ne pourra pas organiser, dans tous les projets d'aménagements, des suivis et des évaluations de l'écosystème et de ses composantes. Des choix seront forcément à faire, par exemple dans la réflexion autour d'indicateurs, ou dans la volonté de mener certains projets assez loin au niveau scientifique alors que d'autres projets seraient plus légers dans leur évaluation (Gosselin, 2005). Mais c'est dans la nature même de l'écologie d'avoir affaire simultanément à une multitude d'objets, définis à des échelles différentes. Même si les objectifs principaux d'un

ingénieur écologue pour un projet donné lui sont assignés par des personnes extérieures, il est fort probable qu'il devra en supplément avoir une considération – à la fois grâce à des capacités de questionnement et de réflexion scientifiques et grâce à une capacité à bien sentir et connaître les réalités de terrain – pour ces différents niveaux d'organisation des êtres vivants et pour ces différentes échelles (Barbault et Pavé, 2003). Il devra pour cela d'une part développer une forte expérience personnelle afin d'articuler ces niveaux dans une démarche d'ingénieur, et d'autre part, plus collectivement et avec l'aide de l'écologie, raisonner des choix, des stratégies sur la façon de considérer ces différents niveaux dans le temps de l'ingénieur.

En conclusion...

Après avoir rapidement cerné pourquoi l'ingénierie écologique semble trouver un écho favorable dans les milieux scientifiques, j'ai proposé une définition large de l'ingénierie écologique,

compatible avec son insertion dans la notion de développement durable et avec les disciplines écologiques, notamment appliquées ; j'exclus notamment une ingénierie écologique purement écosystémique, au motif qu'on ne peut prétendre avoir un « effet de sillage » du bon fonctionnement du tout – l'écosystème – sur la persistance des parties – les habitats, les espèces. Cette définition pourrait donc apparaître comme peu exigeante car elle ne rejette pas d'emblée les pratiques anciennes de gestion des écosystèmes ; je pense au contraire qu'elle les renouvelle par les exigences de la notion même de développement durable et par les exigences bilatérales du rattachement d'une pratique d'ingénieur à une discipline académique scientifique. Il reste à voir si l'ingénierie écologique ne pourrait pas être à l'origine d'un rapprochement de disciplines appliquées comme l'agronomie, la sylviculture, la biologie de la conservation..., entre elles et avec l'écologie académique – comme Mitsch (1996, p. 123 notamment) le sous-entend. □

Lexique succinct

(issu de Gosselin et Larroussinie, 2004 et Fischesser et Dupuis-Tate, 1996)

Autécologie : n.f. Sous-discipline de l'écologie qui étudie les rapports d'une seule espèce avec son milieu.

Biocénose (Biocœnose) : n.f. C'est l'ensemble des êtres vivants qui coexistent à l'intérieur de certaines frontières spatiales et temporelles. La biocénose regroupe la zoocœnose (ensemble des animaux) et la phytocœnose (ensemble des végétaux).

Biotope : n.m. Ensemble des éléments physicochimiques et climatiques (abiotiques) d'un écosystème, sur un espace bien défini.

Communauté : n.f. Une communauté désigne, à l'intérieur de certaines frontières *taxinomiques*, spatiales et temporelles définies, un ensemble de populations d'espèces différentes et éventuellement les interactions qui existent entre elles. Il s'agit donc d'un sous-ensemble taxinomique de la biocénose, *i.e.* l'ensemble des êtres vivants qui coexistent à l'intérieur de certaines frontières spatiales et temporelles, défini en fonction de l'objet de l'étude.

Écologie : n.f. C'est l'étude des relations des organismes avec leur environnement.

Écologie des communautés : n.f. Discipline scientifique qui étudie les liens entre les communautés et leur environnement.

Écosystème : n.m. Subdivision élémentaire de la biosphère constituée d'un réseau trophique et du biotope où il se déploie. Un écosystème est formé d'un biotope, d'une biocœnose, et des interactions qui existent entre eux. D'un point de vue structural, on peut écrire : écosystème = biocœnose + biotope. D'un point de vue fonctionnel, l'écosystème représente les interactions (flux d'énergie, de matière) entre biocœnose et biotope, et à l'intérieur de chacun d'entre eux.

Écosystémique (= des écosystèmes) : adj. Se dit de ce qui relève de l'écosystème. Sur le plan académique, l'écologie écosystémique concerne tout ce qui est propre au niveau de l'écosystème et ne peut être étudié aux niveaux « inférieurs » (de la biocœnose notamment). C'est pourquoi les problèmes purement inter-spécifiques ou biotiques ne font généralement pas partie de l'écologie écosystémique (*cf.* Lamotte et Duvigneaud, 1996), qui est souvent davantage centrée sur l'étude des flux d'énergie, de matière voire d'information au sein des écosystèmes.

 Remerciements

Merci à Philippe Bonneil, Bénédicte Boisseau, Michaël Pontégnie, Patrick Blandin et Marion Gosselin pour leur relecture de cet article, et à mes collègues pour leurs réactions lors d'une réunion-discussion sur le thème de cet article.

Résumé

L'ingénierie écologique est une notion qui date de plusieurs décennies, à la fois dans la sphère scientifique et, en France, dans la gestion. Elle semble néanmoins monter en puissance depuis quelques années, sous forme de discipline académique, et dans les discours des scientifiques. Après avoir résumé les propos de Barbault et Pavé (2003) expliquant cet état de fait, l'auteur propose une définition de l'ingénierie écologique qui soit compatible avec les deux déterminants principaux qui justifient sa ré-émergence : la notion de développement durable, et les disciplines appliquées de l'écologie. L'auteur précise ensuite certains des problèmes et caractéristiques associés à cette définition de l'ingénierie écologique.

Abstract

Ecological engineering was defined several decades ago, both in the academic field and – at least in France – in management. However, ecological engineering seems to be re-emerging as an academic field and as a cornerstone concept in French ecologists' writings. We first summarize Barbault et Pavé (2003)'s point of view on why ecological engineering now seems rehabilitated. We next propose a definition of ecological engineering, in accordance with the two reasons for its re-emergence, *i.e.* the prevalence of the concept of sustainable development and the development of applied ecological sub-disciplines. We end the paper by discussing some problems and characteristics of ecological engineering that stem from this definition.

Bibliographie

- ABBADIE, L. ; KALAORA, B., 2002, *L'ingénierie écologique en France : aspects et enjeux techniques, sociaux et politiques. Perspectives dans le contexte institutionnel et culturel français*, ENS Ulm.
- 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.
- 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.
- BLANDIN, P., 1993, Le génie écologique, un nouvel outil pour une nouvelle stratégie de développement ?, in anonymous (Eds), *Ressources Naturelles et développement montagnard*, Cemagref, p. 93-96.
- BOURG, D., 1992, Droits de l'homme et écologie, *Esprit*, 10, p. 80-94.
- BOURG, D., 1996, Le débat sur la gestion durable et les grands courants de la pensée écologiste, *Revue forestière française*, 48, SPEC. ISSUE, p. 31-42.
- BOURGEOIS, G., 1993, L'écologie, une responsabilité humaniste ? (Ferry vs Jonas), *Esprit*, 12, p. 176-182.
- 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.

- COMTE-SPONVILLE, A., 1995, Sur les droits des animaux, *Esprit*, 12, p. 140-148.
- DI CASTRI, F., 2000, Ecology in a context of economic globalization, *Bioscience*, 50, p. 321-332.
- DUNGLAS, J. ; BLANDIN, P., 1991, *Le génie écologique. Rapport d'étape*, Cemagref, 27 p.
- DUNGLAS R, B. ; DUPUIS-TATE, M.-F., 1996, *Le guide illustré de l'écologie*, Éditions de la Martinière/Cemagref Éditions, 319 p.
- FISCHESSER, B., 1993, Synthèse de la table ronde sur le génie écologique, in anonymous (Eds), *Ressources Naturelles et développement montagnard*, Cemagref, p. 119-124.
- GOSSSELIN, F., 2005, Intégrer recherche scientifique et gestion dans le cadre de l'ingénierie écologique : intérêts et limites, *Ingénieries-EAT, numéro spécial Ingénierie écologique*, p. 113-120.
- GOSSSELIN, M. ; LARROUSSINIE, O. (Coord.), 2004, *Gestion Forestière et Biodiversité : connaître pour préserver*, Antony, Coédition GIP Ecofor/Cemagref Éditions, 320 p.
- GUTIÉRREZ, R.-J., 1994, Conservation planning: lessons from the spotted owl, in COVINGTON W.-W. ; 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.
- HEMSTROM, M.-A. ; THOMAS, J.-W., 1996, La gestion des écosystèmes, *Revue forestière française*, 48, n° spécial, p. 117-130.
- JAX, K., 1993, Ecological Engineering, *Trends in Ecology & Evolution*, 8, 1, p. 36-37.
- JORGENSEN, S.-E. ; MITSCH, W.-J., 1989, Classification and examples of ecological engineering, in MITSCH W.-J. et JORGENSEN S.-E. (Eds), *Ecological Engineering - An introduction to Ecotechnology*, New York, USA, John Wiley, p. 13-19.
- KAUFMAN, M.-R. ; GRAHAM, R.-T. ; BOYCE, D.-A.-J. ; MOIR, W.-H. ; PERRY, L. ; REYNOLDS, R.-T. ; BASSETT, R.-L. ; MAHLHOP, P. ; EDMINSTER, C.B. ; BLOCK W.-M. ; CORN, P.-S., 1994, *An ecological basis for ecosystem management*, Fort Collins, Co, USDA Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment station, 22 p.
- LAMOTTE, M. ; DUVIGNEAUD, P., 1996, Écosystèmes, in Anonyme (Eds), *Encyclopaedia Universalis*, Paris, Encyclopaedia Universalis, p. 902-908.
- LAMOTTE, M. ; SACCHI, C.F. ; BLANDIN, P., 1996, Écologie, in Anonyme (Eds), *Encyclopaedia Universalis*, Paris, Encyclopaedia Universalis, p. 861-875.
- MEFFE, G.-K. ; CARROLL, C.-R. (Eds), 1997, *Principles of conservation biology*, Sunderland, Massachusetts, Sinauer associates, 673 p.
- 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.
- PARTHENAY, D., 1993, Rôle et utilité du génie écologique, in anonymous (Eds), *Ressources Naturelles et développement montagnard*, Cemagref, p. 112-113.
- SAMSON, F.-B. ; KNOPE, F.-L., 1996, *Ecosystem management. Selected readings*, Springer, 462 p.
- SIMBERLOFF, D., 1999, The role of science in the preservation of forest biodiversity, *Forest Ecology and Management*, 115, 2-3, p. 101-111.