

Évaluation des risques environnementaux pour la gestion durable des espaces : synthèse des concepts de l'écologie du paysage

Environmental risk assessment for sustainable spatial management: Review of concepts of landscape ecology

Sylvie VANPEENE-BRUHIER

Cemagref, Unité de Recherche Ecosystèmes et Paysages Montagnards - 2, rue de la papeterie, BP 76, 38402 Saint-Martin-d'Hères Cedex
Tél. : 04 76 76 27 87 - Fax : 04 76 51 38 03 - sylvie.vanpeene@cemagref.fr

Résumé

Le colloque de l'association IALE France a pour thème « l'évaluation des risques environnementaux pour une gestion durable des espaces ». Il regroupe des écologues du paysage, des spécialistes de diverses disciplines liées au risque et des gestionnaires d'espaces. Cet article a pour objectif de rappeler des définitions pour faciliter une approche d'écologie du paysage et de l'évaluation du risque pour la gestion du paysage. Il présente donc les concepts de contrainte, d'aléa, de vulnérabilité, de risque. Il liste une série de risques environnementaux développés ou non lors de ce colloque. Il définit ce que sont l'évaluation et la gestion du risque. Il présente enfin les principaux concepts d'écologie du paysage : mosaïque de paysage, connectivité des réseaux, fragmentation des paysages et des populations, notion d'échelle.

Abstract

The topic of the symposium held by the IALE France Association is "Environmental risk assessment for sustainable spatial management". The symposium will gather together landscape ecologists, specialists from various risk-related disciplines, and spatial managers. Since the aim of the article is to provide them with a common understanding of risk assessment/management and landscape ecology approaches, it discusses the concepts of stressor, hazard, vulnerability and risk, and defines risk assessment and risk management. It enumerates a series of environmental risks, some of which will be discussed during the meeting, and presents concepts of landscape ecology, going over the basis concepts of landscape mosaic, network connectivity, fragmentation of landscape and population, scales.

Mots-clés : risque environnemental, écologie du paysage.

Keywords: *environmental risk, landscape ecology.*

Introduction

Cet article introduit le colloque de l'association IALE France sur le thème « évaluation des risques environnementaux pour une gestion durable des espaces ». Ce colloque regroupe des écologues du paysage, des spécialistes de diverses disciplines liées au risque et des gestionnaires d'espaces. Cet article a

pour objectif de mettre en place au début de ce colloque, une culture commune sur l'évaluation et la gestion du risque et sur l'écologie du paysage.

De nombreux écosystèmes sont soumis, à des degrés divers, à des risques de modification par les activités humaines. Certaines ont des impacts globaux et planétaires (gaz à effet de serre, excès d'azote ou de polluants...) d'autres des impacts plus localisés (changement d'usage du sol, introduction d'espèces...) (Noss, 2000). C'est pourquoi de nombreux articles traitant de l'évaluation ou de la gestion du risque environnemental soulignent la nécessité d'aborder le problème à de grandes échelles (Lemly, 1997 ; Noss, 2000 ; Akçakaya, 2001 ; Kooistra *et al.*, 2001 ; Solomon et Sibley, 2002). L'approche proposée dans ces publications est cependant rarement une réelle approche d'écologie du paysage. Le manque de communication entre communautés de chercheurs spécialistes du milieu étudié et celle des chercheurs ou aménageurs s'intéressant à l'évaluation des risques est mentionné comme une lacune à combler (Lemly, 1997 ; Noss, 2000). Nous pouvons peut-être y ajouter un cloisonnement encore important entre chercheurs spécialistes d'un même milieu, entre ceux d'une même discipline ainsi qu'entre eux et les écologues du paysage. Le premier pas pour l'atténuer est d'avoir un langage commun et de s'assurer que chacun comprenne ce que l'autre énonce.

Cet article propose donc une mise à niveau du vocabulaire par un rappel des définitions des paradigmes de l'analyse des risques environnementaux et de l'écologie du paysage. Il présente rapidement les thèmes abordés dans les communications et posters présentés lors de ce colloque.

1. De la notion de contrainte à celle de risque environnemental

Le risque est une notion composite, produit d'un aléa et d'une vulnérabilité. L'aléa dépend, lui, de l'exercice d'une contrainte. Il est donc nécessaire de définir ces termes avant de préciser la notion de risque, puis de risque environnemental.

1.1 Contrainte

A l'origine d'un événement négatif dont il faudra évaluer l'impact sur le milieu et les éventuels moyens de le pallier, il y a une contrainte¹ (*stressor* en anglais) qui peut être de différentes natures. La contrainte est, en effet, le facteur qui induit une réaction de l'écosystème ou d'une partie des composants de cet écosystème et qui a un impact sur l'environnement. Elle peut être globale telle la modification du climat qui va influencer par exemple la répartition de populations végétales d'altitude (Guisan et Theurillat, sous presse ; communication S. Arques). Elle est aussi locale tel un changement d'usage du sol qui va augmenter le risque d'érosion (communications J. Jammart et V. Herbreteau) et entraîner une pollution des eaux à la sortie d'un bassin versant (communication M. Desautels) ou diminuer la biodiversité (Noss, 2000).

¹ Le département affaires humanitaires des Nations Unies dans un glossaire de termes relatifs à la gestion des catastrophes (ONUG/DHA, 1992) utilise plutôt le terme de phénomène que celui de contrainte.

La contrainte peut être abiotique (polluant, climat, usage du sol...) ou biotique (espèce invasive, pathogène...). Une contrainte n'a un impact sur le milieu que si celui-ci y est sensible par l'une ou l'autre de ses composantes abiotiques ou biotiques, par sa structure ou l'une de ses fonctions (Lemly, 1997).

1.2 Aléa, menace

L'aléa (*hazard* en anglais), terme issu du vocabulaire des probabilités, désigne « un événement menaçant ou une probabilité d'occurrence dans une région ou au cours d'une période donnée d'un phénomène pouvant engendrer des dommages » (ONUG/DHA, 1992). Il est défini par une probabilité qui prend en compte l'occurrence et l'intensité du phénomène considéré et qui est fonction de la durée et de l'espace considérés (Dauphiné, 2001). Un aléa ne peut donc provoquer des dommages que si les organismes ou milieux y sont exposés. Ainsi l'aléa « pollution par un pesticide donné » est fonction de la capacité de ce polluant à être toxique pour l'écosystème et de sa potentialité à être présent dans le milieu de manière à y occasionner des nuisances (OCDE, 1982).

Ceci peut se résumer dans l'équation suivante :

$$\text{Aléa} = \text{exposition} \times \text{effets nuisibles}$$

Ainsi un pesticide peut être très toxique pour le milieu aquatique. Cependant si aucun agriculteur du bassin versant étudié ne l'utilise, l'aléa de ce pesticide, pour la période donnée, sera nul car la faune aquatique de ce bassin versant n'y sera pas exposée.

En France, le terme d'aléa est souvent réservé à l'évaluation des événements catastrophiques pour l'homme ou ses activités. Pourtant cette distinction entre contrainte, aléa et risque, est applicable de manière plus large, nous le verrons dans certains thèmes développés dans ce colloque. La notion de menace est proche de celle d'aléa, mais elle est souvent utilisée pour désigner des activités humaines qui ont, volontairement ou involontairement, la potentialité de provoquer des effets négatifs pour l'environnement. On parlera ainsi fréquemment d'aléa « tempête », « inondation », « avalanche » ou « chute de bloc » mais, plutôt de menace de « pollution » ou « d'introduction d'espèces ».

1.3 Vulnérabilité et enjeux

Nous avons vu qu'il n'y avait aléa que s'il y avait exposition mais l'impact de cet aléa dépendra de la sensibilité de l'écosystème, ou plus généralement du milieu, à cet aléa. La vulnérabilité exprime le niveau de conséquences prévisibles d'un phénomène sur les enjeux. Les enjeux sont les domaines affectés par les risques, c'est-à-dire les hommes, leurs biens et les milieux dans lesquels ils vivent, nous y ajouterons les milieux naturels, les écosystèmes et les espèces. Les enjeux varient selon la nature de l'aléa.

La notion de vulnérabilité a eu son sens élargi depuis une dizaine d'années (D'Ercole, 1994) à une vulnérabilité traduisant « la fragilité d'un système dans son ensemble et de manière indirecte, sa capacité à surmonter la crise provoquée par un aléa. Plus un système est apte à se rétablir après une catastrophe, c'est-à-dire plus il est résilient, moins il est vulnérable » (Dauphiné, 2001). Cette approche élargie s'applique aux sociétés humaines et aux écosystèmes et la notion de

résilience fait le premier lien entre le domaine du risque et celui de l'écologie. La résilience mesure la capacité d'un écosystème ou d'une société à absorber le changement, à persister au-delà d'une perturbation. Elle est parfois assimilée à la vitesse ou la durée que met un système pour retourner à son état initial (s'il y retourne).

La vulnérabilité² varie de 0 à 100 % et peut être fluctuante pour un même milieu selon la période de l'année et la localisation de la contrainte. Par exemple dans le cas d'une pollution d'un ruisseau par des pesticides, une zone de frayère en période de reproduction sera plus vulnérable qu'une autre portion du ruisseau ou que la même zone hors période de reproduction.

1.4 Risque

La notion de risque, comme celle de vulnérabilité, prend en compte l'estimation quantitative de la probabilité d'un effet négatif sur une cible exposée à une contrainte. Ainsi, si l'on s'intéresse à l'aléa « érosion » ou « inondation », il n'y aura de risque pour l'homme que si des installations humaines (voies de communication, habitation, industrie) sont menacées. De la même manière, si un aléa « éboulement » menace la station d'une espèce végétale endémique, il y aura risque pour cette espèce. L'aléa « pollution de l'eau » par une substance toxique n'aura pas le même impact pour tous les organismes aquatiques. Selon qu'ils sont fixés ou mobiles, ils n'auront pas la même vulnérabilité à l'aléa et en particulier, ne seront pas soumis à la même probabilité d'exposition. Le risque est ainsi défini comme « l'espérance mathématique de dommages à l'environnement³ au cours d'une période de référence et dans une région donnée, pour un aléa particulier » (ONUG/DHA, 1992).

Le risque se schématise habituellement ainsi :

$$\text{Risque} = \text{aléa} \times \text{vulnérabilité}$$

ou de manière moins simpliste (Dauphiné, 2001) :

$$\text{Risque} = F(\text{aléa}, \text{vulnérabilité})$$

où F est une relation qui dépend du problème analysé.

Le risque, comme la contrainte et l'aléa a un profil temporel et/ou spatial (Kamppinen et Wilenius, 2001). Il est situé dans le temps (diffusion dans le milieu à un moment donné ou de manière continue) et il a une réalité temporelle, car il peut avoir des impacts immédiats ou décalés. C'est le cas de l'épandage d'un pesticide en bordure de ruisseau qui aura à ce moment-là une action immédiate et relativement locale. Cependant, il aura un impact différé dans le temps et généralisé à l'ensemble d'un bassin versant et de son exutoire si des particules de sol contaminé sont emportées lors d'une pluie érosive. Cet effet différé n'est pas certain, car il dépend de l'apparition d'une pluie suffisamment forte dans un certain délai après l'épandage et entre autres, de la rémanence du produit sur le sol (Finizio et Villa, 2002). Le risque différé s'exerce aussi lors de la contamination de

² Nous n'aborderons pas ici la question complexe de la mesure de la vulnérabilité.

³ les pertes en vies humaines, blessés, dommages aux biens et atteinte aux activités économiques dans la définition d'origine du glossaire de termes relatifs à la gestion des catastrophes. Nous l'étendons dans cet article aux dommages environnementaux.

maillons initiaux de la chaîne alimentaire (Solomon et Sibley, 2002). Ainsi, au Japon, la maladie de Minamata apparaît en 1956, il a fallu 3 ans pour comprendre l'origine de la pollution au mercure des poissons (les rejets d'une usine). Et malgré un millier de décès, ce n'est qu'en 1973 que l'Etat japonais prit des mesures pour lutter contre cette pollution (Dauphiné, 2001). Le risque a une composante spatiale par la superficie qu'il touche après diffusion de la contrainte dans le milieu et dans le paysage.

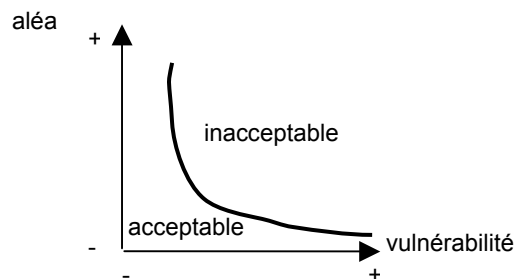
L'impact négatif d'un risque ne se manifeste dans certaines situations qu'au delà d'un certain seuil. C'est souvent le cas pour des phénomènes complexes qui interfèrent avec plusieurs systèmes et/ou espèces et pour lesquels les effets de seuil sont difficiles à mettre en évidence. Quand le seuil est compris et mesuré, il permet d'expliquer des fonctionnements qui étaient considérés comme inexplicables. Ainsi en Franche-Comté, plusieurs années de suivi de population ont été nécessaires pour mettre en évidence qu'en dessous d'un certain pourcentage de prairies permanentes, les cycles de pullulation de campagnols disparaissaient (Butet et Leroux, 1994 ; Giraudoux *et al.*, 1997).

Plusieurs auteurs signalent par ailleurs (Lemly, 1997 ; Kamppinen et Wilenius, 2002) que la notion de risque est intimement liée aux connaissances scientifiques acquises. Si rien n'est connu de l'effet d'une substance, il ne peut pas y avoir de risque identifié. En santé publique, le développement du SIDA et de la maladie de la vache folle relève de cette lacune lors de leur apparition.

Le risque comporte également une composante culturelle et sociale⁴, car le même risque n'est pas perçu de la même manière par des sociétés différentes. Une inondation dans un pays occidental est vécue comme un risque inacceptable alors qu'elle n'a que peu d'ampleur par rapport aux inondations survenant sur le continent asiatique. Au Bangladesh, les inondations utiles sont attendues pour leur apport de limon sur les terres et les inondations dévastatrices sont vécues comme une fatalité (Dauphiné, 2001).

Nous avons vu que le risque était défini par une relation entre aléa et vulnérabilité, il est donc possible à un expert d'un risque donné de tracer des courbes d'isorisques où tous les niveaux de risques égaux sont reliés. L'une de ces courbes possibles est celle qui trace la frontière entre risque acceptable et risque inacceptable (figure 1)

Figure 1 : Courbe isorisque frontière entre le risque acceptable et inacceptable



⁴ Nous ne développons pas ici le domaine de la perception du risque ni de son façonnement par les médias (voir Dauphiné, 2001).

Le choix de cette frontière ne dépend cependant pas de critères scientifiques ou d'expertise, mais de la décision publique. En effet, le risque acceptable est « le niveau de pertes humaines et matérielles (rajoutons environnementales) perçu par la communauté ou les autorités compétentes comme tolérable, dans le cadre des actions visant à minimiser le risque de catastrophe » (UNOG/DAH, 1992). Chaque société a un degré d'acceptation du risque différent pour des natures de risques variables⁵.

1.5 Nature des risques environnementaux

Les risques pour l'homme sont bien souvent les seuls types de risques pris en compte pour des actions de gestion. Les risques spécifiques pour des espèces non-humaines et leurs habitats commencent à peine à être pris en compte pour eux-mêmes et non pour leur utilité pour l'homme (Noss, 2000). Cependant, dans les arguments pour la défense de la biodiversité, celui de l'utilité encore non connue, mais possible pour l'homme (source de médicaments par exemple), est plus fréquemment mis en avant que la nécessité éthique de protéger la biodiversité en tant que telle. La distinction entre risque direct et indirect n'est pas aisée. Ainsi, dans le cas de l'érosion, il y a risque direct pour l'activité agricole quand l'outil de production qu'est le sol de la parcelle agricole disparaît ou qu'un village est menacé. Il y a aussi risque indirect quand l'apport de sédiments pollués à l'exutoire d'un bassin versant provoque une perte de qualité de l'eau (eutrophisation ou pollution par des pesticides nuisant à des intérêts touristiques ou ostréicoles par exemple). C'est pourquoi, contrairement à Noss, dans cet article on ne distinguera pas risques directs et indirects.

Les risques environnementaux (*ecological risk assessment* en anglais) peuvent concerner : les incendies, les inondations, les avalanches, les chutes de bloc, l'érosion, la pollution de la chaîne alimentaire et de l'eau, les contaminations radioactives ou par des allergènes, les maladies transmissibles à l'homme, la perte de diversité par introduction d'espèces invasives ou par modification des pratiques... Les différentes sessions du colloque regroupent les communications sur certains de ces risques : érosion (K. Vézina, V. Herbreteau, J. Jammart, F. Rey, M. Desautels), conséquences des modifications de pratiques sur un milieu (la Camargue dans la communication de A. Dervieux), les conséquences de modifications de pratique sur la faune, des fourmis aux éléphants, (G. Boudjema, F. Dubs, S. Aviron, F. Ricouart, P. Clergeau, S. Said), sur la flore (F. Clement, P. Saccone, C. Georges, P. Clergeau). Les impacts sur la flore du changement de climat sont abordés par S. Arques et ceux liés à l'extension d'une plante invasive par S. Decout. Les risques pour la santé publique sont abordés par S. Lamarque en ce qui concerne la contamination radioactive et par F. Raoul dans le cas de la diffusion d'une maladie. Quelques grands domaines sont cependant absents, sans doute parce qu'il s'agit de risques très étudiés et faisant l'objet de colloques spécifiques (avalanche, incendie, inondation, chute de blocs, invasion biologique...).

⁵ Entre les Etats-Unis et la France, il y a inversion du degré d'acceptation des risques de mortalité par accident de voiture et par arme à feu : acceptation faible du 1^{er} et forte du 2^{ème} pour les USA et l'opposé pour la France.

Le rôle de la société n'est pas oublié puisqu'une session regroupe les communications relatives à l'économie et la sociologie de l'évaluation de risques (A. Young, C. Georges, S. Perichon, E. Dumas, S. Ferrari). Nous retrouvons ici, dans les participations proposées pour ce colloque d'écologie du paysage, une marque du cloisonnement des disciplines évoqué en introduction. Cependant, les débats qui ne manqueront pas de suivre les présentations orales permettront sans doute de fragmenter une partie de ces cloisons pour augmenter les interfaces...

2. De l'évaluation à la gestion d'un risque environnemental

Comment passer de l'identification d'un risque aux mesures de gestion pour éviter ou limiter ses impacts ? C'est-à-dire comment transformer une étape d'évaluation à caractère scientifique en une prise de décision d'ordre socio culturel, économique et politique ?

2.1 L'évaluation de l'aléa

L'évaluation de l'aléa (*hazard assessment* en anglais) est précédée d'une étape d'analyse qui permet de caractériser l'aléa et ses impacts sur l'environnement-cible (une espèce, un écosystème, un milieu) et, en particulier, de le spatialiser. Ainsi, si l'on prend l'exemple de l'aléa « érosion de terres agricoles », l'évaluer permet de déboucher sur une carte des zones potentielles d'érosion (communication V. Herbreteau).

2.2 L'évaluation du risque

En poursuivant notre exemple, l'évaluation des risques (*risk assessment* en anglais) sera obtenue par croisement de la carte des zones potentielles d'érosion avec celle de l'emplacement des habitations, des routes afin d'obtenir la carte des risques pour les activités humaines liés à l'aléa « érosion » (communication J. Jammart).

L'évaluation des risques écologiques estime la probabilité que des effets écologiques négatifs puissent avoir lieu en raison de l'exposition à une ou plusieurs contraintes (US EAP, 1992). Ces effets écologiques concernent, dans cette définition, tous les changements environnementaux biologiques, ou non biologiques, que la société perçoit comme indésirables. Cette notion a donc des composantes culturelles et dépend des niveaux d'exigences et d'information des sociétés.

Cette démarche inclut toujours une part d'incertitude liée à l'impossibilité de tout comprendre du fonctionnement d'un écosystème. Elle a pour objectif de faire diminuer la part d'incertitude, mais ne peut pas tout prédire, même si dans certains domaines la modélisation apporte des résultats intéressants. Comme le but de l'évaluation est de pouvoir ensuite proposer une gestion du risque, elle doit produire des instruments d'aide à la décision simples, transparents et pragmatiques (Finizio et Villa, 2002).

Cette étape de simplification et de production d'outil est un compromis scientifique raisonnable entre une approche scientifique rigoureusement validée, mais trop coûteuse en temps et en moyens, et les attentes d'un gestionnaire. Pour cela, le scientifique et le gestionnaire des risques ou le preneur de décision politique doivent réussir à se comprendre et à communiquer clairement.

2.3 La gestion du risque

Une fois qu'un instrument d'aide à la décision est au point, la gestion du risque est le processus par lequel des décisions sont prises afin de d'éviter ou de limiter la réalisation d'un risque qui a été évalué. La gestion du risque comprend également les moyens à mettre en œuvre pour protéger la santé publique et l'environnement. C'est donc une étape qui relève des sphères politiques, économiques et sociales et non plus du seul domaine scientifique. Les conclusions issues de la phase évaluation du risque doivent être confrontées avec les réalités économiques, les valeurs sociales et culturelles (niveau et/ou nature de risque accepté par la population) et les contraintes politiques. Les parties prenantes aboutissent ainsi à un ou plusieurs compromis de gestion du risque en acceptant une certaine probabilité d'impact rapportée au coût accepté pour la protection. Ainsi, dans le domaine des inondations, selon le type de milieu menacé (zone agricole, zone résidentielle, zone industrielle avec des installations classées, centrale nucléaire...) les risques de l'aléa « inondation » sont de nature et de degré très différents (de la perte de récolte à une catastrophe majeure pour l'humanité). Les normes de protection seront donc différentes et en particulier basées sur des probabilités différentes de retour de crue (décennale, centennale...) en lien avec l'impact éventuel pour la santé publique de l'arrivée de cette inondation et de ses conséquences.

Après ces définitions des concepts de risque, voyons maintenant quels concepts d'écologie du paysage peuvent s'appliquer dans une évaluation du risque environnemental.

3. Des concepts de l'écologie du paysage

Ce paragraphe se réfère beaucoup aux définitions⁶ de F. Burel et J. Baudry (Burel et Baudry, 1999 ; Baudry *et al.*, 2003).

L'écologie du paysage selon ces auteurs est une discipline qui « prend en compte l'espace de façon explicite, qui reconnaît l'homme comme partie intégrante du système écologique et qui reconnaît l'hétérogénéité spatiale et temporelle des milieux étudiés ». Elle est apparue dans les années 1980 « devant le constat du rôle des structures spatiales (taille des habitats, présence de corridors, etc.) sur la distribution des espèces ». Nous pourrions sans doute y ajouter, à l'issue de ce colloque, leur rôle sur la distribution et l'impact des risques environnementaux. L'écologie du paysage considère que « la géométrie des milieux et les effets de voisinage sont des facteurs de contrôle de la présence d'individus d'une espèce et

⁶ Chaque définition entre guillemets est tirée de l'un de ces deux ouvrages et pour alléger le texte, nous ne les citerons pas à chaque fois.

de la dynamique des populations car les déplacements et dispersions d'espèces sont des processus clés liés à la structure du paysage ».

3.1 Le paysage est une mosaïque de milieux connectés

Le paysage peut être ainsi vu comme la résultante d'une confrontation continue entre la société et son milieu. Il est alors « un niveau d'organisation des systèmes écologiques supérieur à l'écosystème qui se caractérise essentiellement par son hétérogénéité et par sa dynamique gouvernée pour partie par les activités humaines ». Sa dimension spatiale va, dans ce contexte, de l'hectare à quelques centaines de km², c'est-à-dire la taille d'un espace de concernement des activités humaines⁷.

Parmi les moyens possibles pour décrire le paysage, celui-ci peut être considéré comme une mosaïque de milieux structurés. « La matrice est l'élément dominant dans le fonctionnement du paysage. En son sein, on distingue des taches d'autres milieux (bosquets, habitation, lacs...) et des corridors qui sont des structures linéaires. L'ensemble des taches et de la matrice constitue une mosaïque et l'ensemble des corridors, un réseau. L'arrangement spatial de la mosaïque et des réseaux constitue le patron paysager. Cependant, cette proposition est simplificatrice et il est souvent plus adapté de représenter un paysage comme une mosaïque d'éléments.

Les concepts de fragmentation, degré d'hétérogénéité et connectivité, permettent de décrire la structure physique de cette mosaïque paysagère. La fragmentation d'un habitat est une mesure géométrique du nombre, de la taille et de la distance entre taches d'un même habitat. Elle joue un rôle important dans le fonctionnement des populations. L'hétérogénéité se compose de la diversité des taches du paysage et de la complexité de leur relation spatiale. De nombreuses méthodes, non développées ici, sont proposées pour la calculer. Plus un milieu est hétérogène, plus il faudra d'informations pour décrire les relations entre deux types d'éléments.

3.2 L'importance des échelles d'analyse

De nombreuses études d'écologie du paysage ont apporté des réponses intéressantes sur la multiplicité des facteurs et sur les différents niveaux d'organisation qui influencent les peuplements animaux et végétaux et leur fonctionnement au sein d'un paysage. Il s'agit en particulier de travaux sur la dépendance d'échelle dans le cadre de la théorie de la hiérarchie (Allen et Starr, 1982) qui prédit que les niveaux englobants ont une vitesse de fonctionnement inférieure à celle des niveaux inférieurs. Ainsi, pour une même espèce, on aura des déplacements journaliers (pas de temps court) d'individus de quelques dizaines de mètres (résolution fine). Sur plusieurs années (pas de temps intermédiaire) on pourra observer des déplacements de la population de l'ordre du

⁷ Le changement global de climat ou la pollution atmosphérique ont des espaces de concernement bien supérieurs, mais leurs impacts sont souvent analysés dans la gamme de surfaces définie ici.

kilomètre (résolution intermédiaire). A l'échelle de plusieurs décennies et de la région, des invasions biologiques pourront être constatées.

3.3 Les apports de la modélisation en écologie

La modélisation de la dynamique de végétation ou de populations dans des paysages virtuels a permis de mieux comprendre certains fonctionnements écologiques. La conception de modèles spatialement explicites permet un calibrage des données de terrain et facilite le dialogue avec les gestionnaires. Dans ce domaine, l'apport de la modélisation (communications S. Lavorel, L. Le Mire Pecheux, S. Decout et A. Evette) est fondamental. En effet, modéliser la dynamique d'une population sur un paysage virtuel ou spatialement explicite permet de mettre en évidence des effets de seuil, très importants dans l'évaluation du risque. Ces effets de seuil sont en outre difficiles à appréhender par l'expérimentation dans des délais et à des coûts et moyens humains raisonnables.

Conclusion

L'évaluation du risque en utilisant les concepts de l'écologie du paysage permettrait sans doute de mieux appréhender des phénomènes complexes et spatialement dépendants. Modéliser ferait aussi partager plus facilement des résultats de recherche avec des gestionnaires du risque ou des espaces et, en testant plusieurs scénarios, améliorerait la recherche de compromis indispensable à la gestion du risque. Modéliser permettrait, en outre, en les développant dans le cadre de paysages spatialement explicites, de tester des scénarios de gestion du risque et de les confronter avec la demande sociale. Ce colloque organisé en 7 sessions consacrées à des disciplines diverses aura pour rôle important de permettre à différentes communautés de chercheurs de mieux se connaître et d'échanger leurs expériences.

Bibliographie

- Akçakaya H. R., 2001. Linking population-level risk assessment with landscape and habitat model, *The Science of the total environment*, 274 : 283-291.
- Allen T. F. H., Starr T. B., 1982. *Hierarchy. Perspectives for ecological complexity*, the University of Chicago Press.
- Baudry J., Jouin A. (eds), 2003. *De la haie aux bocages. Organisation, dynamique et gestion*, Paris, INRA éditions, 435 p.
- Burel F., Baudry J., 1999. *Ecologie du paysage : concepts, méthodes et applications*, Paris, Lavoisier, 359 p.
- Butet A., Leroux A. B. A., 1994. Spatial and temporal density fluctuations in common vole populations in a marsh in western France, *Pol. Ecol. Stud.*, 20 : 137-146
- D'Ercole R., 1994. La vulnérabilité des sociétés et des espaces urbanisés : concepts, typologie, mode d'analyse, *Revue de Géographie Alpine*, tome LXXXII (4) : 87-96.

- Dauphiné A., 2001. *Risques et catastrophes : observer - spatialiser - comprendre – gérer*, Armand Colin, Paris, 288 p.
- Finizio A., Villa S., 2002. Environmental risk assessment for pesticides: a tool for decision making, *Environmental Impact Assessment Review*, 20 : 235-248.
- Forman R. T. T., Godron M., 1986. *Landscape ecology*, New York, John Wiley and Sons, 619 p.
- Giraudoux P., Delattre P., Habert M., Quéré J.P., Deblay S., Defaut R., Duhamel R., Moissenet M.F., Salvi D., Truchetet D., 1997. Population dynamics of fossorial water vole (*Arvicola terrestris scherman*): a land usage and landscape perspective. *Agriculture Ecosystems Environment*, 66 : 47-60.
- Guisan A., Theurillat J.-P., (sous presse). Appropriate Monitoring Networks are required for testing Model-based Scenarios of Climate Change Impact on Mountain Plant Distribution. In Bugmann, H. et al. (Eds), *Global Change and Mountain Regions*, Kluwer Acad. Publ., Advances in Global Change Research series.
- Kampinen M., Wilenius M., 2001. Risk landscapes in the era of social transition, *Futures*, 33 : 307-317.
- Kooistra L., Leuven R. S., Wehrens R., Buydens L. M. C., Nienhuis P. H., 2001. A procedure for incorporating spatial variability in ecological risk assessment of Dutch river floodplains, *Environmental Management* 28 (3) : 359-373
- Lemly A. D., 1997. Risk assessment as an environmental management tool: considerations for freshwater wetlands, *Environmental Management*, 21 (3) : 343-358
- Noss R. F., 2000. High-risk ecosystems as foci for considering biodiversity and ecological integrity in ecological risk assessments, *Environmental Science and Policy*, 3 : 321-332.
- OCDE, 1982. *OECD Hazard Assessment Project, STEP System Group: final report*, Stockholm, February 1982.
- ONUG/DHA, 1992. Glossaire international multilingue agréé de termes relatifs à la gestion des catastrophes, <http://www.unisdr.org/unisdr/glossaire.html>, 98 p.
- Solomon K. R., Sibley P., 2002. New concepts in ecological risk assessment: where do we go from here ?, *Marine pollution bulletin*, 44 : 279-285.
- White D., Minotti P. G., Barczak M. J., Sifneos J. C., Freemark K. E., Santelmann M. V., Steinitz C. F., Kiester A. R., Preston E. M., 1997. Assessing risks to biodiversity from future landscape change, *Conservation Biology*, 11 (2) : 349-360.

