

nous réserver, du fait des couplages non linéaires, qui dans ce cas précis ont trait aux processus radiatifs, dynamiques et chimiques qui régissent le comportement de la stratosphère polaire. Comme le montre R. Kandel, dans le domaine du changement climatique, certains modèles montrent ainsi que la circulation profonde de l'océan, qui prend naissance dans l'Atlantique Nord, se ralentit lorsque la Terre se réchauffe de manière significative. La modification des courants qui pourrait en résulter, en particulier celle du Gulf Stream, aurait certainement des conséquences importantes sur le climat de l'Europe de l'Ouest. De même, certaines mesures récentes semblent montrer que les risques de déstabilisation des marges glaciaires aussi bien dans l'Arctique que dans l'Antarctique Ouest ne sont pas négligeables à l'échelle de quelques décennies. Enfin, en ce qui concerne les conséquences sur la santé, une certaine

prudence par rapport à des affirmations définitives est probablement de mise, dans la mesure où l'état actuel des connaissances est loin de permettre une compréhension quantitative du problème et de ses liens avec les autres problèmes d'environnement.

Il conviendrait donc d'éclairer différemment le débat par une approche mesurée d'un système aussi complexe que celui de l'environnement terrestre, afin notamment d'éviter un travers classique dans l'exposé des problèmes d'environnement qui consiste, pour renforcer les arguments à l'appui d'une thèse, à minimiser d'autres aspects de la problématique. La création artificielle de controverses scientifiques n'aide certainement pas à clarifier un débat déjà fort complexe. Elle ne peut que contribuer à alimenter des discussions stériles sur l'incertitude scientifique et à fragiliser ainsi l'image de la science.

Expertise en situation d'incertitude : l'exemple des eaux continentales

HENRI DÉCAMPS

Henri Décamps
écologue,
UMR/CNRS écologie
des systèmes aquatiques
continentaux,
29, rue Jeanne-Marvig,
31055 Toulouse cedex 04,
France.
Tél. : 05 62 26 99 69
Fax. : 05 62 26 99 99
decamps@cesac.cemes.fr

Les rapports entre gestionnaires et scientifiques rappellent souvent une histoire bien connue des juristes. Deux aérostiers, dans leur ballon, dérivent emportés par le vent. Ils se perdent. Au loin, ils aperçoivent un homme dans un champ. Ils s'approchent à portée de voix et lui demandent :

– S'il vous plaît, où sommes-nous ?

L'homme les regarde et leur répond :

– Mais, vous êtes dans un ballon !

Et l'un des deux aérostiers de dire à l'autre :

– Cet homme doit être un juriste.

– Pourquoi ?

– Parce que son renseignement est parfaitement exact et cependant parfaitement inutile.

Cette histoire appelle au moins deux questions : pour le gestionnaire, l'homme dans le champ n'est-il pas plutôt le scientifique ? Et ce scientifique, ne peut-il pas livrer au gestionnaire des renseignements qui soient à la fois parfaitement exacts et parfaitement utiles ?

La santé des écosystèmes.

Au fond, particulièrement dans le domaine des eaux continentales, il est demandé à l'expert scientifique de se prononcer sur un état de santé, celui d'un système écologique. De se prononcer et de prévoir.

Un écosystème en « bonne santé » est stable et durable : il maintient la vigueur de son activité métabolique, sa structure et son organisation au fil du

temps. Il est aussi doué de résilience, c'est-à-dire capable de se recréer une structure et un fonctionnement suite à une perturbation. Cette définition a pu permettre de proposer un index de la santé des écosystèmes (Costanza et al., 1992) et elle a surtout conduit à de nouveaux efforts pour intégrer des points de vue issus des sciences de la nature, de l'homme et de la société (Rapport et al., 1998)

Pour le comprendre, replaçons avec Karr et Chu (1999) la notion de santé écologique le long d'un gradient, celui de l'influence humaine sur les milieux aquatiques (figure 1). À une extrémité du gradient, des milieux dans lesquels les systèmes vivants se structurent, fonctionnent et évoluent sous une influence humaine minimale : ils ont conservé leur « intégrité » biologique. À l'autre extrémité, des systèmes sans vie, totalement « dégradés » à force d'être exploités. On passe de l'intégrité biologique à la dégradation totale en traversant d'abord des conditions de « bonne santé », c'est-à-dire capables de soutenir durablement des systèmes vivants puis, à partir d'un seuil, des conditions de « mauvaise santé », incapables d'un tel soutien.

Ce texte reprend un exposé présenté le 18 novembre 1999 lors du séminaire organisé par l'Agence de l'eau Adour-Garonne dans le cadre des journées de l'Académie des sciences à Toulouse. Il a bénéficié des remarques de Marcel Jollivet que je remercie vivement.

Le cœur du problème est d'identifier ce seuil. Où le placer ? Selon quels critères ? Quand la dégradation de la santé du système devient-elle irréversible ? Quand est-elle ressentie comme intolérable par le public ?

Nous nous heurtons ici, très précisément, à un aspect de la situation d'incertitude évoquée dans le titre de cet article, situation due à la diversité des perceptions. Pour l'irriguant, une rivière en bonne santé est celle qui lui apportera assez d'eau d'une certaine qualité en période estivale ; pour l'ingénieur, celle qui lui permettra de faire tourner ses turbines ; pour la ménagère, celle qui l'alimentera en eau pure ou purifiée ; pour le pêcheur, suffisamment de poissons, etc. Chacun tend à valoriser son propre usage. Or, bien sûr, c'est l'ensemble de ces usages qu'il faut prendre en compte. Et la conception de la santé d'une rivière qu'il nous faut élargir.

De même, les scientifiques se diversifient en fonction du questionnement auquel ils soumettent la nature. Du physicien et du chimiste au sociologue, en passant par le biologiste, l'écologue, l'économiste, l'anthropologue, chacun a sa méthode de questionnement, donc sa propre vision, forcément partielle du problème. Chacun, conformément au principe d'Heisenberg, observe non pas la nature elle-même, mais la nature exposée à ses méthodes de questionnement (Jordan et Miller, 1996). Chacun est ainsi conduit à placer le seuil de la *figure 1* à des niveaux distincts. D'autant plus que les scientifiques eux-mêmes diffèrent quant à leur sensibilité face aux questions d'environnement et qu'à l'incertitude scientifique s'ajoute une indétermination de nature sociale (Mormont, 1995). D'où le risque de fournir aux décideurs des indications tellement disparates qu'elles en deviennent inutiles.

Face à ce risque, l'expertise scientifique paraît d'autant plus utile :

- qu'elle s'appuie sur l'analyse de processus biologiques,
- qu'elle intègre l'éventail des disciplines scientifiques concernées, des sciences physicochimiques aux sciences humaines,
- qu'elle communique à la fois ses certitudes et ses incertitudes, non seulement au décideur, mais aussi, et peut-être surtout, au public.

La métaphore du lac eutrophe

Pour nous en convaincre, considérons l'exemple de l'eutrophisation des lacs, qui est un peu le modèle de prédilection en matière de recherche sur l'aménagement des ressources naturelles aquatiques. Modèle de prédilection et en même temps métaphore parce qu'il illustre comment un écosystème peut interagir avec les hommes et les femmes dont il dépend et qui en dépendent.

Soit donc un lac eutrophisé par des apports excessifs de phosphore diffus provenant d'activités agricoles réparties sur son bassin versant, un lac eutrophisé avec développements anarchiques d'algues, épuisement d'oxygène dissous, hécatombes de pois-

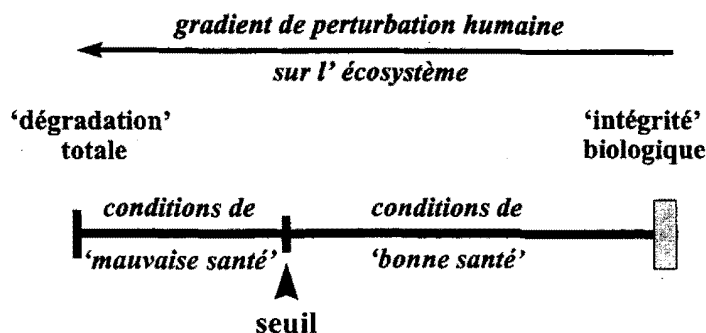


Figure 1. Évolution de l'état de santé d'un écosystème aquatique en fonction d'une influence humaine perturbatrice croissante (modifié d'après Karr et Chu, 1999).

sons. Il s'agit d'un des problèmes environnementaux les plus tenaces de nos pays d'Europe occidentale et d'Amérique du Nord, affectant non seulement les lacs, mais aussi les rivières et les zones humides.

Problème tenace parce que, au niveau de l'écosystème, il implique des interactions complexes entre des processus aux dynamiques très différentes les uns des autres. Certains processus sont rapides, comme le recyclage du phosphore (P) dissous dans l'eau de lac. D'autres sont beaucoup plus lents, comme le recyclage de ce même phosphore (P) lorsqu'il est fixé aux particules du sol ou des sédiments.

Problème tenace aussi parce qu'il implique tout un ensemble d'acteurs qui, constatant l'état actuel de l'écosystème, prévoient les régulations à venir, évaluent les bénéfices et les coûts, et décident des quantités de phosphore à utiliser. Ce qui, en retour, affecte l'écosystème et ses usages possibles.

Ainsi, l'état d'eutrophisation d'un lac traduit-il un compromis entre des bénéfices et des coûts. Bénéfices tirés de l'activité polluante - ceux du développement agricole. Coûts dus à l'abandon de certains services rendus par l'eau du lac comme la consommation d'eau potable, la pêche ou autres activités de loisir. Ce compromis suppose que soient prises des décisions collectives pour harmoniser l'état de l'écosystème et le comportement des acteurs (*figure 2*).

Le rôle du décideur est alors de cibler le niveau de phosphore désirable dans les eaux du lac, d'une part en fonction de la validation, du suivi et des prévisions des paramètres qui déterminent ce niveau, et d'autre part en fonction des performances économiques liées au coût du phosphore dans l'eau et aux bénéfices agricoles tirés de l'activité polluante. D'où une régulation avec des conséquences sur le marché et sur les acteurs, ces derniers pouvant en outre exercer un contrôle sur les décideurs, marqué par une flèche en retour sur le schéma de la *figure 2*.

Dans ce schéma, les experts scientifiques assurent une fonction de médiation qui, comme l'indique Danais (1995), prend « d'autant plus d'importance que les certitudes scientifiques sont faibles et les enjeux sociaux et culturels forts ». Cette fonction oriente notamment les interventions de l'écologue sur les paramètres du niveau de phosphore dans le lac, de l'économiste sur les performances économiques et la

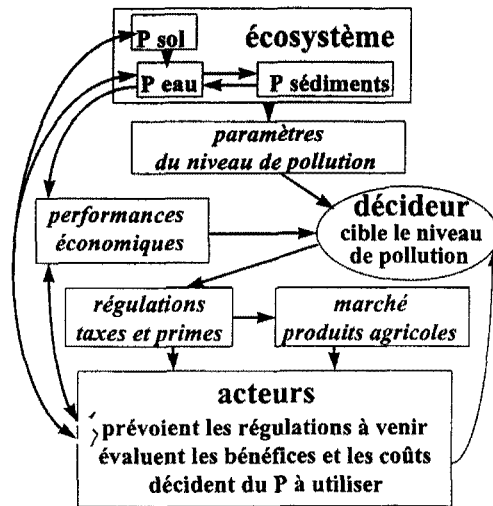


Figure 2. Relations entre l'état d'un écosystème lacustre susceptible d'eutrophisation et le comportement des acteurs : diverses informations scientifiques alimentent la médiation exercée par le décideur (modifié d'après Carpenter et al., 1999).

connaissance du marché, du juriste sur la réglementation, du sociologue sur le comportement des acteurs et des décideurs.

Comment optimiser le fonctionnement d'un ensemble aussi complexe, avec son écosystème aux dynamiques différentes et ses acteurs aux comportements multiples ? Le schéma de la figure 3, proposé conjointement par un écologue, un économiste et un mathématicien (Carpenter et al., 1999), peut nous

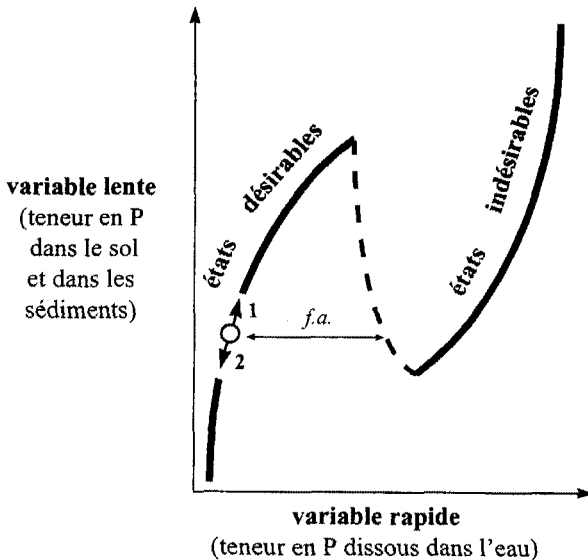


Figure 3. Représentation des multiples états d'équilibre d'un lac (modifié d'après Carpenter et al., 1999). Les deux courbes en continu figurent des états d'équilibres stables • désirables • (faibles teneurs en phosphore dissous) et • indésirables • (teneurs élevées en phosphore dissous). Elles sont séparées par une zone d'instabilité (en tirets). L'état d'équilibre marqué par le cercle peut être déplacé en fonction du choix 1 ou 2 d'aménagement. La distance *f.a.* mesure la « force d'attraction » vers une faible teneur en phosphore dans le lac, ou résilience.

aider à répondre à cette question. Il représente en effet les multiples états d'équilibres que peut prendre un lac sous l'influence à la fois de la variable lente P dans le sol ou dans les sédiments et de la variable rapide P dissous dans l'eau. Les deux courbes en continu figurent des états d'équilibres stables : d'une part, les équilibres désirables pour le lac, ceux qui correspondent à de faibles niveaux de phosphore dissous dans le sol et dans l'eau ; d'autre part, les équilibres indésirables, ceux qui correspondent à des niveaux élevés de phosphore. Entre ces deux courbes, les pointillés marquent les équilibres instables.

Soit une position possible de l'écosystème lacustre sur la courbe des équilibres stables désirables. Selon les critères économiques choisis, cet équilibre se déplacera dans un sens ou dans l'autre sur cette courbe. Dans le sens de la flèche 1, les bénéfices agricoles sont privilégiés et le système se rapproche d'un point de rupture d'où il peut s'effondrer et parvenir à un état indésirable. Dans le sens de la flèche 2, les services rendus par l'eau du lac sont privilégiés et le système se rapproche du domaine d'attraction vers l'état d'équilibre désirable « faibles teneurs en P ».

Dans ce schéma, la teneur optimale de phosphore dans le lac oscille sur la courbe des états d'équilibres désirables stables, en fonction :

- des aléas climatiques qui conditionnent le ruissellement,
- des variances des paramètres écologiques qui déterminent la dynamique de l'écosystème,
- des variances des valeurs économiques attachées aux différents coûts et bénéfices.

Une dynamique d'oscillations

Par suite, même dans les situations les mieux étudiées, l'incertitude demeure la règle, les analyses coûts-bénéfices sont toujours contestées, et le décideur doit prendre en compte toute une dynamique d'oscillations entre des périodes d'exploitation, de crise, d'apprentissage et de renouvellement.

Cette dynamique est illustrée par la figure 4, en fonction : 1) du niveau de P dans l'eau du lac, 2) de la proportion d'exploitations agricoles pratiquant un usage intensif de P et 3) de la force de l'attraction vers une teneur désirable faible de P dans l'eau du lac. La force d'attraction vers une condition désirable correspond à la résilience du système, c'est-à-dire à son aptitude à revenir à son état initial. Pour simplifier, cette force dépend de la position d'équilibre du lac sur l'une des deux courbes de la figure 3 : sur la branche haute, l'attraction vers la condition désirable est égale à zéro ; sur la branche basse, l'attraction vers la condition désirable tend vers l'infini, assimilé à la valeur 2.0 sur la figure 4. (La distance *f.a.* de la figure 3 en donne une mesure, fonction de la position d'équilibre du lac sur la courbe basse.)

Au départ (segment a), le système passe une longue période d'exploitation dans la partie gauche du diagramme : la force d'attraction y est modérée, la proportion de pratiques intensives d'usage du phosphore est élevée, et la teneur en phosphore dans le lac est relativement basse.

Peu à peu, le phosphore s'accumulant dans le sol, les conditions se trouvent réunies pour que ce phosphore du sol puisse passer par ruissellement dans les eaux du lac. Ce qui se produit, amenant une augmentation du phosphore dans l'eau du lac, en dépit des mesures visant à diminuer son usage agricole intensif (b). L'augmentation dans l'eau est en effet alimentée par le recyclage du phosphore précédemment accumulé dans le sol et dans les sédiments. L'attraction de l'écosystème vers la condition désirable tombe alors à zéro (c).

Ensuite, s'établit une période au cours de laquelle il faut encore réduire l'usage agricole intensif du phosphore pour ramener sa teneur dans le lac à une valeur acceptable (d). Alors, l'attraction vers l'état désirable peut revenir à des valeurs positives et entraîner à nouveau l'écosystème (e).

Les pratiques d'usage agricole intensif de phosphore reprennent (f), ce qui ramène la force de l'attraction à un niveau modéré (g) et enclenche une nouvelle phase d'exploitation (h), avec accumulation de phosphore dans le sol.

Ce même cycle peut être parcouru en faisant référence au rendement économique net à la place du P dans l'eau, avec, semblablement, un effondrement économique (segment c), suivi d'une période de reprise et, à un moment donné, réouverture de l'attracteur de conditions désirables pour l'écosystème (d), ce qui permet une nouvelle augmentation des pratiques d'usage agricole intensif de phosphore (f) et conduit à des conditions susceptibles d'enclencher un nouvel effondrement (h).

Comment enrayer ces retours réguliers à des situations de crise ? En maintenant la proportion d'exploitations intensives à des niveaux modérés par des actions portant sur la phase de renouvellement (f). Ces actions peuvent être définies à partir d'une série d'aménagements exploratoires qui sont autant d'ajustements de la cible, niveau de P dans le lac, par modifications successives de la proportion des usages intensifs de phosphore. En quelque sorte, un apprentissage des réactions du système aux variations des paramètres écologiques et économiques.

Ce modèle de l'eutrophisation d'un lac souligne la capacité d'auto-organisation des systèmes écologiques, économiques et sociaux. Il souligne également la difficulté de gérer ces systèmes car tous, utilisateurs, scientifiques, gestionnaires, nous en faisons partie. Et la façon dont nous les comprenons, l'idée que nous nous faisons de leur avenir pèsent sur leur évolution.

D'où deux leçons à tirer, tant pour les scientifiques que pour les gestionnaires.

Premièrement, nous n'aménagerons pas durablement les écosystèmes aquatiques en recherchant des points de stabilité, mais en nous adaptant aux processus de changement qui déterminent leurs états de santé. Ce qui implique des apprentissages pour intégrer la façon dont ces systèmes réagissent aux aménagements.

Deuxièmement, nous n'aménagerons durablement les écosystèmes aquatiques que si nous comprenons les processus lents (tel l'accumulation de P dans le sol ou dans les sédiments) et les relations que ces

processus lents entretiennent avec les processus rapides (tel un événement pluvieux qui déclenche un ruissellement massif). Ce qui impose bien sûr le long terme dans la pratique de la recherche.

Partenariat entre scientifiques et gestionnaires

On admet parfois que la réduction des incertitudes permettra d'aménager durablement les écosystèmes. Cette idée est fautive, voire dangereuse. Le véritable défi n'est pas de réduire les incertitudes, il est de « faire avec », autrement dit, d'agir en situation d'incertitude. Plus précisément, le véritable défi est de s'engager à agir en situation d'incertitude, cet engagement fondant le partenariat entre scientifiques et gestionnaires (Roqueplo, 1997).

Ce partenariat suppose en effet que les scientifiques et les gestionnaires s'accordent sur des objectifs communs, qu'ils définissent ensemble les conditions désirables et les voies pour y parvenir.

Ce partenariat suppose également des efforts constants d'explication, marqués par une véritable circulation des savoirs¹ : des gestionnaires aux scientifiques, des scientifiques aux gestionnaires, des deux vers le public et inversement (voir à ce sujet les « conférences de citoyens »).

Ce partenariat implique encore une meilleure intégration des disciplines scientifiques, par exemple pour ajuster les dynamiques écologiques aux dynamiques sociales et économiques. Il reste beaucoup à faire pour rendre ces ajustements moins caricaturaux et, surtout, pour intégrer les inégalités d'exposition aux risques, de manière à réduire « l'injustice environnementale » qui nous rend inégaux devant ces risques.

¹ Selon l'expression utilisée par Marc Mormont dans son exposé « Sociologie et expertise en environnement » lors du colloque *Sociologie et Environnement*, Paris, 9-10 novembre 1999.

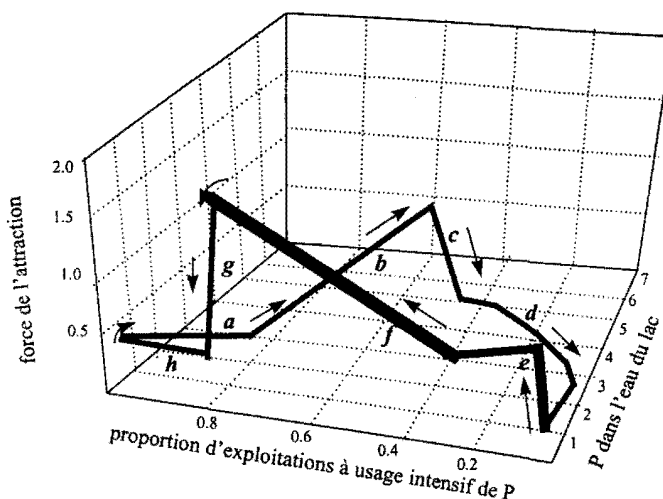


Figure 4. Dynamique des oscillations de la teneur en phosphore dans un lac (modifié d'après Carpenter et al., 1999). Représentation d'un cycle entre des périodes d'exploitation (a), de crise (b, c) et de renouvellement (f). Le niveau du phosphore dans l'eau du lac varie de 0 à 7 selon une échelle de nombre sans unités. Les exploitations agricoles pratiquant un usage intensif de phosphore sont considérées par opposition à celles pratiquant un usage conservatoire. La force d'attraction – ou résilience – varie jusqu'à une valeur fixée arbitrairement à 2.0.

Enfin, le partenariat entre scientifiques et gestionnaires implique de nouvelles pratiques de la recherche. Nouvelles pratiques pour expliquer des changements inévitables, souvent inattendus, parfois imprévisibles, et dont les effets, jamais isolés, se répètent dans le temps et dans l'espace. Nouvelles pratiques aussi pour imaginer les stratégies qui nous permettront non seulement de comprendre les causes de ces changements, de prévoir leurs conséquences, mais aussi de nous y adapter.

Les fruits de l'arbre de science

La métaphore du lac eutrophe illustre une règle essentielle : nous devons cueillir les fruits de « l'arbre de science », quel que soit leur niveau, branches hautes et branches basses, pour ceux à qui ils appartiennent : les gens du lac, tous les gens du lac.

Mettre les fruits de l'arbre de science au service des citoyens ! Après tout, n'est-ce pas le sens profond de l'activité d'expertise ? Une activité sans doute exaltante, mais non sans dangers pour le chercheur, ni sans surprise quant à la hauteur à laquelle il faudra parvenir pour répondre aux questions des gestionnaires. Une activité qu'il convient de cultiver. Dans le domaine de l'environnement, elle peut aussi conduire aux découvertes scientifiques les plus inattendues et les plus fondamentales.

BIBLIOGRAPHIE

- Carpenter S., Brock W. et Hanson P. 1999. Ecological and social dynamics on simple models of ecosystem management. *Conservation Ecology* 3 (2): 4, <http://www.consecol.org/vol3/iss2/art4>.
- Costanza R., Norton B.G. et Haskell B.D. (eds) 1992. *Ecosystem health: new goals for environmental management*. Island Press, Washington D.C., USA.
- Danais M. 1995. L'expertise en situation d'arbitrage ou l'expert catalyseur : le cas de la tourbière de Quimper (et commentaires par M. Mormont). *Natures Sciences Sociétés*, 3 (3), 224-235.
- Jordan C.F. et Miller C. 1996. Scientific uncertainty as a constraint to environmental problem solving: large-scale ecosystems, in : J. Lemons (ed.) *Scientific uncertainty and environmental problem solving*. Blackwell, Cambridge, Massachusetts, USA, 91-117.
- Karr J.R. et Chu E.W. 1999. *Restoring life in running waters. Better biological monitoring*. Island Press, Washington DC., USA.
- Mormont M. 1995. Expertise scientifique et action publique : le cas du changement climatique dans trois pays européens. *Natures Sciences Sociétés*, 3, 16-25
- Rapport D.J., Costanza R. et McMichael A.J. 1998. Assessing ecosystem health. *TREE*, 13, 397-402.
- Roqueplo P. 1997. *Entre savoir et décision, l'expertise scientifique*. Inra Editions, Paris.