

Redécouvrir la théorie du risque en sciences de l'environnement
Eric PARENT, Jean-Jacques BOREUX, Jacques BERNIER

Introduction

Cet article cherche à convaincre l'ingénieur soucieux du respect de l'environnement, d'explorer de nouvelles pistes d'approche du risque en suivant une trace déjà ancienne, celle de l'analyse rationnelle par la modélisation probabiliste (Bernier et al., 2000). Jusqu'à la fin du XIX^{ème}, il n'y a pas de fossé entre les mathématiques et la philosophie. La critique littéraire rend compte de la création romanesque tandis que la vulgarisation scientifique rend compte des avancées de la recherche. Belle époque où *l'honnête homme* se préoccupait autant de lettres que de sciences ! La science est impliquée dans la vie de la cité et apporte avec elle des perspectives de progrès et des espoirs de changements de société.

Le réveil est brutal, car le siècle des lumières accouche d'un vingtième siècle de guerres et de génocides. De nos jours, l'opinion dominante voit la bombe atomique comme la plus menaçante des applications scientifiques. La connotation positive et progressiste de la science disparaît, arrive le temps du savant fou et de l'éparpillement inconvenant du savoir : l'ingénieur, qui ne connaît rien sur tout, coopère avec le chercheur qui connaît tout sur rien ! Au sommet de Rio, les dirigeants des pays industrialisés dressent un constat d'échec : ils reconnaissent l'impuissance de nos sociétés à maîtriser les conséquences environnementales du développement industriel. Le futur est toujours incertain mais, aujourd'hui, c'est l'avenir des générations futures qui est hypothéqué par l'explosion démographique et le réchauffement climatique. Plus que jamais, il faut apprendre à gérer le risque et développer une culture du risque (Cité des Sciences et de l'Industrie, 2002)

D'ailleurs, les expressions actuellement très prisées telles que « principe de précaution », « développement durable », etc. ne sont-elles pas révélatrices de cette préoccupation ? En même temps, ne sont-elles pas des moyens d'éviter d'employer ce mot « risque » ? Comme pour le diable, il s'agit d'éviter de prononcer Son nom ! Car voici venu le syndrome du refus du risque : OGM, ESB, inondations apparaissent comme des chambardements inacceptables. Le principe de précaution aurait-il pu conduire les hommes préhistoriques à refuser le feu ? Il faut par ailleurs bien reconnaître que notre culture et notre éducation cartésiennes ne nous prédisposent pas à apprécier les paris (Le Monde, 18/11/2002). Nous sommes marqués par le déterminisme et si douter est le début de la sagesse, c'est aussi reconsidérer le statut de l'ingénieur irrécusable, du médecin omniscient, du professeur érudit. Le hasard, car il faut bien l'appeler par son nom, intervient constamment et nos évaluations des risques doivent intégrer cette composante. Puisque toute prévision est par nature incertaine, certains courants de pensée proposent des méthodes pour prendre des décisions en avenir risqué sans explorer simultanément les choix de valeur et les données scientifiques. Aussi, paradoxalement, le doute sur l'état de la société s'accompagne du refus d'analyser rationnellement son expression concrète : la mesure du risque. D'une certaine façon, nos démocraties Européennes ont choisi de faire un premier pas sur cette voie en privilégiant les commissions, les comités d'experts etc. au détriment de la méthode scientifique. A propos de la crise de la vache folle, l'ENGREF s'est d'ailleurs interrogée sur le rôle des experts dans la décision publique (Soyeux et Wolfer, 1997) On réunit ces experts indépendants sous la houlette d'agence de veille et d'évaluation des risques (AFSAA, AFSE, INVS...), mais la qualification des risques supplante bien souvent leur quantification (Brunet et al., 2001). Il est vrai que cette dernière demande beaucoup plus d'efforts : en plagiant André Gide (Les Faux monnayeurs), on pourrait dire que

ceux qui « parlent » des risques descendent la pente (les skieurs) tandis que ceux qui tentent de les quantifier, la remontent (les alpinistes). Il arrive qu'ils se croisent. Il est en tout cas significatif que, contrairement aux Etats-Unis, la France a préféré cette stratégie plutôt que d'investir dans des instituts plus importants qui intégreraient une activité de recherche conséquente et permanente. L'argumentation développée par les « skieurs » est hélas une caricature d'approche rationnelle car ses promoteurs font presque toujours montre des cinq travers suivants:

- 1) ils n'emploient pas ou peu le conditionnel (car eux ils savent);
- 2) ils ne définissent pas le cadre de raisonnement dans lequel ils se placent ou en changent très souvent sans avertir le lecteur (ce faisant, ils négligent un principe fondamental de la recherche scientifique);
- 3) ils ne répondent pas à la problématique posée (et pour cause) mais critiquent ceux qui tendent de le faire sans proposer d'alternative crédible (ils parlent beaucoup des risques mais n'en prennent pas);
- 4) leur style d'écriture guindé est souvent incompréhensible de telle sorte qu'une connaissance tout à fait convenable de la langue française ne suffit pas ce qui justifie le rappel du fameux aphorisme de Boileau «tout ce qui se conçoit bien s'énonce clairement et les mots pour le dire viennent aisément»;
- 5) à la manière de l'horoscope, leur diatribe n'est pas falsifiable ...et nous connaissons la valeur des prédictions astrales.

Bref, les skieurs et les alpinistes ont bien du mal à faire du pluridisciplinaire; heureusement il est plus facile aux alpinistes de chausser les skis pour se laisser glisser sur des pistes toutes damées qu'aux skieurs d'apprendre à escalader une paroi hostile.

Les outils méthodologiques dont disposent les alpinistes des laboratoires de recherche pour attaquer la paroi et poser la première voie d'accès existent pourtant depuis longtemps! Il s'agit de la vieille théorie du pari et du calcul des probabilités. Certes, cet outil de mesure des risques provoque un haut-le-cœur chez l'étudiant ordinaire : pour conserver son auditoire, le professeur avisé sait bien qu'il faut aujourd'hui rebaptiser *cours de risque* l'enseignement de *statistique appliquée* d'hier. Il sait qu'il doit aussi convaincre. C'est pourquoi un plaidoyer pour une analyse rationnelle du risque par la modélisation probabiliste pourra s'articuler en trois parties :

1. Les risques environnementaux jettent de nouveaux regards sur une vieille théorie
2. Pourquoi la théorie probabiliste n'est pas appliquée
3. Pourquoi cette théorie, même imparfaite devrait être appliquée.

1 Les risques environnementaux jettent de nouveaux regards sur une vieille théorie

La vérité, ce n'est pas le certain, et l'incertain, ce n'est pas l'ignorance. Ilya Prigogine.

1.1 Qu'est ce que le Risque ? (Aléa + Enjeux + Décision)

Aujourd'hui le mot "risque" est à la une des médias. On parle de risque de guerre, de famine, d'inondation, de crash boursier etc. sans que la signification de ce concept soit clairement établie. Pour l'ingénieur, le risque est généralement identifié à la *probabilité* d'occurrence d'une défaillance du système qu'il contrôle ou qu'il a conçu. Pour un gestionnaire, un journaliste ou certains économistes le risque est plutôt associé à l'intensité des conséquences dommageables d'une défaillance, i.e. aux *coûts*. En fait, la notion de risque recouvre au moins ces deux aspects : le risque lié à une décision est une fonction d'un événement aléatoire préjudiciable et du coût total des dommages à supporter si cet événement se produit. Il est intéressant de remarquer que Le Petit Larousse confirme ce point de vue puisqu'il définit le risque comme "*un danger, un inconvénient plus ou moins probable auquel on est exposé*".

Cette définition associe implicitement la probabilité de l'occurrence redoutée à ses conséquences en cas de réalisation. Elle évoque aussi le concept d'exposition (d'un individu ou d'un groupe) dans un environnement donné. Par exemple, le risque d'accident de circulation est une fonction de sa composante "aléa" - la probabilité pour qu'une collision se produise dans un contexte donné - et de sa composante enjeu: la gravité de l'accident. De la même façon le risque d'inondation fait intervenir à la fois l'occurrence du phénomène physique, c'est à dire le débordement de la rivière, son intensité ou sa durée, et, d'un autre côté, la vulnérabilité du site, caractérisée par le type d'occupation des zones sous influence.

D'un point de vue décisionnel, il n'y a que trois moyens de *lutte* contre le risque. D'ailleurs, ces trois catégories de décisions élémentaires ne font en réalité qu'opérer des transferts (entre aléas et coûts) depuis une situation de risque initiale indésirable vers une situation de risque acceptable:

- *l'assurance* consiste à revendre la situation courante de risque (on échange un coût futur d'amplitude aléatoire contre la dépense certaine d'une prime d'assurances)
- la *protection* diminue le niveau de l'aléa (l'installation de pare-avalanches réduit la fréquence des déclenchements de coulée de neige; des digues diminuent la probabilité que la rivière sorte de son lit). Le terme du transfert est constitué par le coût d'investissement de l'ouvrage de protection
- la *prévention* consiste à réduire l'impact des dommages de l'événement: par exemple, on rend inconstructibles les zones fréquemment inondables ou l'on évite d'installer des remonte-pentes sur les coulées d'avalanches. Le transfert est ici constitué d'un manque à gagner qu'entraîne de telles opérations.

A contrario, l'événement "chute de météorites sur la Terre" associé aux dommages potentiels que nous encourons dans un tel cas ne constitue pas à proprement parler un risque. En effet, un risque ne se définit que dans un contexte décisionnel, absent dans cet exemple : jusqu'aujourd'hui on n'imagine pas de moyens de lutte (que ce soit assurance, prévention ou protection) contre un tel événement pourtant catastrophique. L'analyse du risque consiste à dresser la liste des décisions possibles et à évaluer le risque global associé à chacune d'entre elles. L'analyse du risque diffère de la gestion du risque, laquelle a pour objet de fournir des outils d'aide à la décision permettant de comparer les risques et, in fine, de recommander la meilleure décision.

Finalement le risque associe à chaque décision une répartition de dommages et de bénéfices potentiels. La théorie de la décision formalise les moyens de comparer entre elles de telles répartitions de résultats potentiels.

1.2 En quoi les risques naturels sont spécifiques?

Les questions environnementales sont toujours complexes. Comme toutes situations de risque, elles échappent au déterminisme mécaniste car il est rare que l'on soit assuré que telles causes engendrent tels effets. Ainsi par exemple si la communauté scientifique s'accorde sur la question du réchauffement climatique, elle reste divisée sur la description des mécanismes essentiels. Le rôle des nuages par exemple est malaisé à anticiper : l'accroissement de teneur en vapeur d'eau de l'atmosphère un accroissement de la couverture nuageuse. Ces nuages supplémentaires auront ils un feedback positif ou négatif sur le réchauffement global? Difficile à dire (André, 1994) : les nuages hauts sont brillants et ont plutôt tendance à réfléchir le rayonnement solaire, rafraîchissant l'atmosphère tandis que les nuages bas semi-absorbants contribuent plutôt à augmenter l'effet de serre. De la même façon, le rôle des océans sur le système climatique à travers le cycle du carbone reste encore largement terra incognita (WCRP, 1991)

Mais, concrètement, les risques naturels (Cœur et Brun, 1998) présentent plusieurs caractéristiques qui rendent très spécifique leur analyse:

- l'expérimentation contrôlée à des fins d'études est souvent impossible, voire absurde (on ne pollue pas volontairement un écosystème dans le but d'étudier les effets de la pollution). Le scientifique se retrouve donc dans la pire position vis à vis de la collecte de l'information: confusion possible des facteurs d'influence, insuffisance de contraste entre les variables potentiellement explicatives, etc.

- l'homme est un élément de l'écosystème qu'il étudie; par conséquent l'étude des phénomènes environnementaux n'a jamais pour simple objectif l'augmentation gratuite des connaissances scientifiques mais bien la décision, parfois prise dans l'urgence. Les enjeux sont en effets considérables mais diffus (il est plus simple de chiffrer la perte économique qu'ont encouru les industriels en acceptant de ne plus utiliser de CFC que de mesurer l'influence de cette mesure sur la maîtrise de l'effet de serre). Par ailleurs, le refus d'agir constitue quand même une décision. Par exemple le temps de percolation des engrais azotés et des pesticides jusqu'aux nappes phréatique est si long que, si aujourd'hui on stoppait l'origine de la pollution en supprimant l'emploi de tels produits, le retour à une eau de haute qualité ne serait manifeste qu'au bout de plusieurs générations.

1.3 La longue histoire du risque

Dans un livre remarquable, Bernstein (1998) raconte la longue histoire du risque. Schématiquement après que les fondateurs (Pascal, Laplace, Bayes, Bernoulli) aient édifié les premiers soubassements, la recherche récente sur une théorie du risque s'est développée au sein de quatre écoles de pensée :

- un courant mené par des physiciens qui a débouché sur la mécanique quantique, les idées d'entropie. Quoique Einstein ait déclaré que Dieu ne joue pas au dés, l'utilisation des probabilités tient une place centrale dans ce premier mouvement.
- un courant conduit par des mathématiciens, cherchant à mesurer et à établir une théorie de la mesure des événements aléatoires (De Finetti, Kolmogorov, Savage, etc..)
- un mouvement emmené par des économistes cherchant à décrire le comportement de l'homo economicus rationnel (Von Neumann et. Morgenstern, Allais,...)
- une société de logiciens , tournés vers l'intelligence artificielle, cherchant à construire une machine à inférer (Jaynes, Tribus...)

Il est remarquable que ces quatre courants de pensée aient abouti à la même réponse : c'est la représentation probabiliste qui est le concept clé pour établir une théorie du risque. C'est d'ailleurs aujourd'hui l'outil indispensable des assureurs et des analystes financiers. Pourquoi ne serait il pas utilisé dans l'analyse des risques environnementaux?

1.4 La place de l'incertitude

On a pu argumenter que les phénomènes environnementaux qui sous-tendent les risques à établir dans un contexte décisionnel sont de nature si diverse et d'une telle complexité à décrire et à prévoir qu'il est illusoire de vouloir en quantifier, même approximativement, la marge d'incertitude. La notion même du risque varie d'un phénomène à l'autre. Ainsi, s'il s'agit d'un phénomène qui peut se répéter et pour lequel on dispose de séries de données observables comme dans l'études des phénomènes sismiques ou des avalanches, une composante du risque peut se mesurer par la fréquence d'apparition de l'événement dommageable et on parle de probabilité « fréquentielle » et du caractère aléatoire d'une

grandeur observable. Par contre, si l'on cherche la probabilité qu'une digue donnée cède ou qu'un cancer se déclare si la couche d'ozone actuelle se réduit de 50%, la notion de fréquence n'a plus aucun sens. On exprime alors une probabilité « subjective ». Faire la distinction entre ces deux types d'incertitudes, l'incertitude par essence et l'incertitude par ignorance garde une signification opérante en terme d'apprentissage : l'information supplémentaire réduit l'incertitude par ignorance mais ne modifie pas le caractère aléatoire d'un phénomène incertain par nature. Par contre cette distinction n'est pas opérationnelle pour la décision. Le point commun à toutes ces situations d'évaluation de risques est que l'on veuille quantifier l'incertitude du lendemain et qu'il faille parier sur une décision plutôt que sur une autre. En regard de chaque décision potentielle se trouve un éventail de coûts et de bénéfices à venir incertains. C'est la modélisation mathématique qui permet la quantification pour évaluer l'intérêt de chaque pari, grâce à l'emploi de probabilités à la fois subjectives et fréquentielles.

2 Pourquoi la théorie n'est pas souvent appliquée?

2.1 Une situation paradoxale

Les spéculations intellectuelles édifiées par l'approche scientifique du risque englobent à la fois le calcul des probabilités et l'évaluation des enjeux dans un contexte incertain. En fait cette approche fait appel à plusieurs disciplines :

- Une discipline purement mathématique : le Calcul des probabilités. Les bases modernes ont été données en 1933 par Kolmogorov. Mais les fondements remontent à Pascal et Fermat (1654), Bernoulli (1713), Bayes (1763). Il est étonnant de voir combien cette discipline est indépendante des modes et combien les questions débattues par les précurseurs ont une résonance moderne : problème des paris, comportement de l'homme devant l'incertitude, évaluation des probabilités. Et bien qu'ancienne, elle est ludique pour certains et bien vivante puisque ses développements sont à la base des théories physiques les plus modernes comme la mécanique quantique.
- Une discipline de mathématique appliquée, notamment au travers du raisonnement statistique. En effet, le concept probabiliste a la prétention de servir à modéliser. Il est apparu aux chefs de file des écoles du siècle dernier : Pearson, Neyman, De Finetti, Savage, Jaynes, von Neuman que trois interprétations du concept probabiliste étaient également possibles :
 - L'interprétation fréquentielle, la plus répandue chez les praticiens,
 - L'interprétation subjective, issue du théorème de Bayes, plusieurs fois centenaires mais dont le renouveau actuel est particulièrement vigoureux,
 - L'interprétation de la probabilité considérée comme une nécessaire et directe extension de la logique formelle bivalente.
- Enfin une branche des sciences humaines où la psychologie expérimentale et les sciences dites cognitives se sont données récemment la mission de décrire le comportement en avenir risqué. Cette approche est au cœur des recherches du dernier prix Nobel d'économie (Kahnemann et al., 1982) et vulgarisée par Palmerini (1995) . Cette discipline a pour sujet d'étude l'homme, son comportement face à l'incertitude et ses mécanismes intellectuels, « ses heuristiques ». Dans quelle mesure ceux ci s'écartent des principes du Calcul des probabilités formel et dans quelle mesure peut on les quantifier, telles sont les questions sous investigation. L'outil de recherche est ici l'enquête descriptive auprès d'échantillons d'individus de formation et de milieux variés.

Bref, peu de domaines scientifiques ont montré autant d'intérêt et accordé autant d'efforts à l'applicabilité de leurs principes et méthodes et cherché à convaincre et faciliter la tâche des utilisateurs potentiels. C'est que cette applicabilité est universelle. Psychologie, économie, génie civil, médecine, disciplines physiques et géophysiques, etc.. peuvent en tirer des bénéfices importants. Nous n'aurions garde d'oublier ici le domaine multidisciplinaire de l'Environnement.

Ce trop long inventaire illustre le paradoxe d'une situation où la pratique de l'analyse du risque n'a finalement pas le succès que le potentiel résultant de ces efforts permettrait d'espérer au moins dans

certain domaines. On n'en veut pour preuve que celui du quasi refus de l'opinion dominante des groupes d'experts de l'Environnement. Est ce un problème de difficultés sémantiques, d'état de connaissances ? De fait les disciplines mathématiques et philosophiques de la Probabilité sont souvent assez mal enseignées et mal comprises aux niveaux même les plus élevés..

En tout état de cause le refus d'utiliser le Calcul des probabilités comme outil de mesure des risques devrait s'appuyer sur une connaissance sérieuse de la portée et des limites des techniques en cause avant de décréter « Cela ne sert à rien !

2.2 Le calcul des probabilités, ça ne sert à rien ?

Toute étude sérieuse de l'applicabilité de la théorie mathématique du risque devrait commencer par définir le cadre dans lequel la question doit être posée. Ce cadre peut être :

- normatif quand la valeur de la théorie et des principes sont mesurés à l'aune de la « rationalité » des choix que la théorie se fixe comme objectifs,
- descriptif quand les objets concrets de la théorie sont décrits pour ce qu'ils sont dans la réalité de leur comportement face au risque. Ses principes ne sont alors qu'une référence relative de comparaison et n'impliquent pas de jugement de valeur sur la « rationalité des individus ». Ce cadre est celui des multiples études de psychologie expérimentales (Allais,1953 ; Munier,1985). Ce cadre serait aussi celui d'une approche sociologique réellement objective.
- prescriptif quand il s'agit de définir, dans des situations concrètes données quels sont les principes et les choix résultants qui conviennent le mieux à un décideur ou un groupe de décideurs. Ces principes restent alors comme des « garde-fous » nécessaires. C'est le cadre privilégié des grands auteurs comme Savage et Von Neumann qui, tous mathématiciens, auteurs de théories normatives qu'ils aient été, en ont toujours privilégié l'interprétation « prescriptive » chère aux ingénieurs.

On notera que ces trois catégories correspondent aux trois domaines d'étude du paragraphe précédent et c'est donc selon elles que l'utilité de la théorie probabiliste du risque devrait être jugée. C'est pourquoi, les jugements trop péremptaires concernant son inutilité et son inadaptation au réel doivent alors être relativisés. Citons en quelques uns :

- *...les règles des principes de décision face au risque sont trop strictes donc inapplicables....* Sans doute est ce vrai dans un cadre normatif axiomatique mais les jugements informels des individus peuvent être pris en compte dans le cadre prescriptif plus souple.
 - *...les probabilités des événements environnementaux rares sont difficiles sinon impossibles à estimer...* Peut-être selon la conception fréquentielle, mais la méthode bayésienne « du pari subjectif » en permet une évaluation cohérente.
- *...la conception bayésienne « subjective » est personnelle, donc relative à chaque individu ou décideur isolé. Or les décisions face au risque environnemental ne peuvent être que collectives...* Certes, mais ce n'est pas parce qu'une collectivité doit intervenir que chacun de ses membres est exempt d'une certaine « rationalité personnelle » qui devrait s'effacer devant des règles de comportement de groupe. Les attitudes individuelles face au risque quelles qu'elles soient n'excluent la responsabilisation et les échanges. Mais du point de vue de la rationalité ce type de règles de groupe a bien sûr fait l'objet d'études éminentes (théorie du choix social, Condorcet, Borda, Arrow). Il en est résulté certaines méthodes prescriptives dont l'application au contexte de risque est cependant difficile (méthodes multicritères).
- *...Il y a une différence entre le risque choisi par le ou les décideurs et le risque perçu par les membres de la cible du risque...* Certes, mais l'approche complète du risque avec ses aspects normatif, descriptif et prescriptif en tient compte.

2.3 Des concepts trop difficiles à comprendre

Il n'en demeure pas moins que trop souvent les interrogations critiques sur les méthodes sont le fait d'incompréhensions qui suscitent maintes hésitations et présentations fallacieuses dont

nous donnerons quelques exemples. En sciences, l'expression d'un savoir passe par l'écriture d'un modèle. Malheureusement ce modèle est souvent présenté comme une boîte noire, hérissée d'équations mathématiques. S'il est vrai que l'aide à la décision utilise des outils mathématiques, parfois sophistiqués, les idées fondamentales et les résultats sous-jacents doivent être présentées et discutées dans la langue maternelle des individus concernés. Par exemple, s'il s'agit d'installer une station d'épuration en milieu rural, le Maire et les Conseillers municipaux n'ont, en général, pas le goût des mathématiques avancées et on peut parfaitement comprendre leur méfiance naturelle à l'égard d'un outil d'aide à la décision présenté sous la forme d'une boîte noire. Trois points rebutent particulièrement les responsables des collectivités.

→ **Le sens concret attribué au concept de probabilité :**

On rapporte qu'Haroun Tazieff, éminent géophysicien -et de surcroît ministre- déclara que la ville de Nice, située en zone sismique, était menacée à très court terme de tremblements de terre destructeurs de période de retour centennale puisqu'il s'était écoulé bien plus d'un siècle depuis les derniers événements dommageables en Provence. La faille de la Durance, en effet, a été le siège de séismes importants à intervalles à peu près réguliers: Manosque, 1708; Beaumont-de-Pertuis, 1812; Lambesc, 1909. Cette affirmation témoigne d'une incompréhension très répandue du concept probabiliste de période de retour -la durée moyenne qui sépare deux événements dommageables d'intensité fixée- et qui est calculée sous une hypothèse d'indépendance. Malgré l'emploi du terme "période", cette théorie ne stipule aucun caractère périodique et la probabilité qu'un tremblement de terre d'intensité donnée se produise à Nice est la même chaque année et indépendante d'année en année. Par conséquent, le temps d'attente moyen d'un événement de gravité centennial -la période de retour- à Nice est, aujourd'hui comme hier, de 100 ans.

Quand bien même il en comprendrait les concepts, l'homme rationnel doit-il suivre les résultats du calcul des probabilités ? L'homme de la rue lui, même de formation scientifique utilise des raccourcis cognitifs – les heuristiques- pour régir son comportement en situation d'incertitudes et qu'il passe en revue dans un livre vulgarisant les théories récentes de la psychologie de la décision. Ainsi par exemple, pour le commun des mortels, la somme des probabilités d'un événement et de son contraire ne fait pas 100%, comme en témoigne la dissymétrie insupportable que le langage introduit entre les deux propositions suivantes, pourtant relatives au même projet: "Ce nouveau barrage arrêtera 97% des crues " et "Ce nouvel ouvrage de protection hydraulique laissera passer 3% des crues".

→ **enjeux : multiples**

Dans une situation de risque toute occurrence d'un événement est associée à des conséquences dommageables pour l'individu ou le groupe cible. En effet selon l'acception courante, gagner le gros lot au loto est une chance pour un individu, non un risque. Caractériser un risque implique nécessairement qu'une des issues du pari comporte des "conséquences négatives", des dommages. Ces dommages peuvent être de natures extrêmement diverses. S'agissant des problèmes environnementaux : effets sur la faune, sur la flore, sur l'esthétique des paysages, nuisances sur la santé, sur l'activité socio-économique des groupes, sur la consommation, les loisirs, etc. Il résulte aussi de cette diversité que la quantification des dommages est complexe et difficile voire impossible dans certains cas si elle veut être complète et exprimée dans une même unité monétaire. C'est pourquoi, l'évaluation des dommages est souvent partielle. La quantification prend des aspects divers: monétaires, économiques, sociaux, sanitaires, légaux et juridiques. On dit souvent que ces problèmes d'évaluation des conséquences sont multi-attributs et les décisions en situation de risques multicritères (Roy, 1985). Le critère final considéré est souvent une pondération des divers critères rendant compte d'un aspect particulier du problème. Beaucoup de ces aspects

sont "intangibles" et s'ils peuvent être mesurés, ils ne peuvent pas être directement comparés entre eux. En dehors même des difficultés d'évaluation, peut-on mettre en rapport direct les dommages résultant du déversement accidentel d'un polluant dans une rivière avec les conséquences sociales de l'arrêt, même temporaire, du fonctionnement de l'installation industrielle responsable? Une évaluation monétaire est certainement réductrice et insuffisante. Une étude quantitative peut toujours être entreprise sur la base d'un indicateur de dommages, monétaire ou autre, convenablement choisi. Comme exemple d'indicateur non monétaire, signalons un de ceux qui sont utilisés dans l'industrie nucléaire pour évaluer les dommages potentiels à l'environnement humain résultant d'un rejet accidentel d'effluents radioactifs dans l'atmosphère. Un rejet est ainsi exprimé en "équivalent de dose radioactive" exprimée en sieverts (Sv) ou ses sous-multiples pour tenir compte des effets biologiques des doses de rayonnements absorbés par l'homme. Ainsi l'équivalent de dose des rayonnements naturels sur la Terre varie de 1 à 3 mSv.

→ **oser exprimer ses préférences**

Un dernier obstacle à la mise sur pied de systèmes formels d'aide à la décision en avenir risqué provient de la réticence du décideur à livrer, même sous forme multicritère non monétaires, ses préférences. Peut-on avoir accès au jugement intime du décideur, sans que l'homme d'études ne le travestisse en mesures pondérées des risques? Et se prêter au jeu de la quantification, n'est ce pas pour le décideur se déposséder quelque part de son pouvoir? Finalement la justification essentielle du rôle (et souvent de la rémunération) d'un décideur est de lever l'incertitude : il est celui qui tranche et qui assume les avatars et les aléas. Il procède généralement par expérience et par intuition. Nul besoin d'une étude quantitative des risques!

3 Pourquoi la théorie des probabilité, même imparfaite, devrait être utilisée

3.1 Un outil pour comprendre pourquoi les attitudes individuelles diverses face au risque n'excluent pas la responsabilisation et les échanges

En ce qui concerne le risque choisi, les aversions au risque différentes d'un individu à l'autre permettent d'imaginer comment constituer un marché régulateur. Ainsi, sous réserve qu'il soit informé (par un plan d'exposition au risque ou par son notaire) l'acquéreur d'un bien situé en zone inondable paiera moins cher son achat immobilier (et plus cher sa prime d'assurances) en contrepartie du risque auquel il s'expose. A l'échelle des nations, c'est par un mécanisme analogue de titres de droit à polluer qu'on recherche des solutions à la réduction des émissions de gaz à effets de serre. Les prix du marché révèlent les préférences des acteurs et les paris sur l'avenir qu'ils entreprennent. Là encore c'est la théorie des probabilités qui permet de comprendre les différentes stratégies en concurrence.

En matière de risque subi, la notion de risque acceptable permet à la société d'aménager des normes en matière de génie civil, de pollutions bactériologie ou chimique, etc. Encore une fois un risque "acceptable" ne se définit que par rapport à la théorie du pari : c'est une frontière mathématique où s'échange de la vulnérabilité contre de l'aléa. Par exemple en matière de crues, les aménageurs pourront négocier une inondation chronique de terres agricoles contre une inondation plus rare d'une zone habitée.

3.2 Faute de quantification, ce serait le règne de l'arbitraire

Aujourd'hui, la question n'est plus d'être pour ou contre la prise en compte de l'environnement dans la conduite de la cité mais bien de la gérer sans hypothéquer les droits de ceux qui l'habiteront demain et après. En d'autres termes, un développement soutenable passe par le partage équitable des ressources naturelles, ce qui suppose leur sauvegarde. Dans cette optique, sachant que les décisions réversibles sont plutôt rares, la seule véritable question est donc *comment reconnaître une bonne décision d'une mauvaise ?* Sans conteste, une décision

qui s'avère être bonne pour un individu ou un groupe d'individus peut être inacceptable pour d'autres. Il y a des intérêts contradictoires et, partant, des conflits à arbitrer. Certains voient là la justification profonde du *relativisme*, nouvelle tendance en *sociologie des sciences*, qui prétend que la validité d'une affirmation est relative à un individu et/ou à un groupe social, que la rationalité scientifique est une illusion (Sokal et Bricmont, 1997). Dès lors, *les relativistes* contestent la pertinence des réponses quantifiées et, de ce fait, méprisent la statistique et le calcul des probabilités qui ont justement pour objet de fournir un cadre logique cohérent à la prévision des risques et donc à la décision environnementale.

En fait deux approches sont possibles et, nous le croyons, régulièrement pratiquées.

On peut bien sûr fonder des décisions graves sur des intuitions, des croyances ou des perceptions, éventuellement partagées. Dans une telle procédure de décision, c'est souvent celui qui parle le mieux qui emporte l'adhésion du groupe et qui impose son option.

On peut aussi apprécier le risque global associé à chaque alternative et, sur cette base, fonder la décision finale. Dans ce cas, il est impossible de substituer la rhétorique à la rigueur mathématique.

Nonobstant certains succès de la première approche et certains échecs de la seconde, les manuels d'histoire et les chroniques judiciaires présentent de nombreux exemples où *l'art de l'éloquence et de la persuasion* a conduit à des décisions stupides à l'origine d'échecs avérés. Les tenants de la seconde approche privilégient l'observation, l'expérimentation et exigent la cohérence du raisonnement. C'est en distinguant les faits des opinions et en quantifiant les risques que l'on contrôle le mieux la subjectivité inhérente aux activités humaines. C'est ici que la statistique et le calcul des probabilités trouvent leur justification profonde. D'ailleurs sur la voie de la quantification il n'y a pas d'alternative. Que proposer d'autre ? Des coefficients de sécurité extraordinaires ? La politique de l'autruche ? Tant qu'il y aura des hommes pour penser et agir, il y aura des objectifs désignés et des stratégies en compétition pour les atteindre. Si, dans une société civilisée qui reconnaît la primauté de l'intelligence sur la force, on ne se met pas d'accord sur une définition précise du risque et sur un moyen de le quantifier (parfois un ordre de grandeur suffit) alors on ne décide plus, on subit : tantôt au gré du hasard, le plus souvent c'est la raison du plus fort qui l'emporte. Et l'aide à la décision, inutile, ne réfère plus alors aux principes généraux suivants :

- un objectif étant défini, pour quantifier le risque, il faut modéliser le problème,
- pour modéliser, il faut simplifier la réalité et aller à l'essentiel.

3.3 Débats et Information du citoyen sur les nouveaux risques

Porter le débat sur les nouveaux risques en place publique pose un problème difficile. Pour l'appréhender, il faut faire la distinction entre « connaître » et « savoir ». Ainsi nos ancêtres savaient construire des cathédrales sans connaître la physique ni la résistance des matériaux. Tout le monde sait au moins quelque chose mais les érudits, eux, « connaissent » un domaine. Ainsi le citoyen « sait » juger un pari sans « connaître » le calcul des probabilités. On retrouve là le vieux concept de « risque perçu » - lié à un savoir diffus - et de « risque effectivement encouru » - lié à un travail spécifique selon une méthode éprouvée pour explorer les profondeurs du réel. Alors les uns, les plus nombreux, vont privilégier le savoir diffus pour justifier leur position. Une simple observation leur suffit pour « savoir » quelque chose et défendre mordicus un point de vue bien arrêté. Les autres, en plus petit nombre, s'engagent sur le chemin de la Connaissance, voie autrement exigeante qui laisse toujours une place au doute. On retrouve ici l'idée de plus forte pente chère à André Gide : la descente est plus aisée que la montée. Faut-il pour autant mépriser l'avis du citoyen ? Certes non. De la même façon que l'impérialisme de la connaissance aboutit à la technocratie, l'exploitation sans vergogne du savoir diffus conduit à la « démocrature », néologisme bâti sur les mots « dictature » et

« démocratie ». En effet, sous couvert de rencontrer les préoccupations de la population (voyez par exemple l'émotion soulevée par la récidive de criminels qui ont été jugés et qui ont purgé leur peine), on peut vouloir mettre en place des « solutions » scabreuses en ce sens qu'elles tournent le dos à des principes constitutionnellement établis (le droit de recommencer une nouvelle vie quand on a payé sa dette à la société). Une solution consisterait peut-être à demander aux citoyens de faire quelques pas en remontant la pente (la suppression de la peine de mort, guère populaire lorsqu'elle fut instaurée, n'est elle pas aujourd'hui majoritairement adoptée par les Français?) et aux experts de prendre quelques plaisir à se laisser glisser pour arriver à un point où les efforts des premiers n'anéantiraient pas ceux des seconds, où les recommandations des seconds prendraient appui sur l'adhésion des premiers. C'est ici que la vulgarisation scientifique prouve son utilité : puisque savoir diffus il y a, alors autant qu'il soit de bonne qualité. La télévision est un vecteur excellent. Voyez des émissions qui nous racontent la vie sauvage, les pressions exercées par l'homme sur elle, notamment celles dues aux changements climatiques. Serait-il possible de présenter le calcul des probabilités de façon attrayante, sans bien sûr entrer dans les détails, pour réduire - autant que faire se peut - la méfiance naturelle qu'ont la plupart des gens vis-à-vis des méthodes quantitatives ? La question est posée et ouverte.

Conclusions

En sciences de l'environnement, les faits sont incertains et les données disponibles sont souvent rares et imprécises. En outre, l'irréversibilité de la plupart des dégradations à l'environnement presse la décision. L'évaluation des risques exige un minimum de compréhension des phénomènes en jeu et nécessite des modèles qui tiennent compte de la dimension aléatoire des phénomènes naturels. En construisant un modèle, l'environnementaliste mobilise ses connaissances scientifiques et n'est pas neutre. L'important n'est pas de rejeter ses *a priori*, mais bien de les reconnaître comme tels, de les prendre en compte avec leurs incertitudes et donc de contrôler leurs impacts sur les résultats de l'analyse. Ce sont les incertitudes proprement dites qui imposent l'étroite solidarité entre les différentes phases de la démarche d'étude : collecte des données, modélisation, vérification relative aux objectifs poursuivis.

Finalement, l'évaluation numérique du risque encouru par chaque décision :

- impose de poser le problème dans sa globalité et de le faire clairement en ne cachant aucune hypothèse;
- soutient la cohérence du raisonnement en s'appuyant sur la rigueur de la démarche;
- contrôle les critères subjectifs.

Ainsi une vieille théorie, celle du pari probabiliste, malgré ses limites et ses détracteurs, offre une base solide pour la comparaison des diverses alternatives dans l'univers risqué où se développe le génie de l'Environnement. A l'ENGREF, le laboratoire de Gestion des Risques En Sciences de l'Environnement (GRESE, <http://www.engref.fr/grese.htm>) s'est lancé dans une telle aventure, en rassemblant des chercheurs et doctorants en modélisation statistique appliquée aux sciences de l'environnement au sens large, dans le cadre de contrats de partenariat avec des entreprises ou des organismes de recherche aussi variés que la Compagnie Générale des Eaux, l'INERIS, l'INRA, le CEMAGREF, Nestlé, EDF, etc...

Quelques Références

- Allais M. (1953) Le comportement de l'homme rationnel devant le risque : critique des postulats et axiomes de l'école américaine. *ECONOMETRICA*, 21(4).
- Andre J.C. (1994) Numerical models for the simulation of natural and anthropogenic climate variations in Duckstein L., Parent E. (eds) : Engineering Risk in Natural Resources

- Management with Special References to Hydrosystems under Changes of Physical or Climatic Environment. *NATO ASI Series E : Applied Sciences Vol. 275, KLUWER Academic Publishers, p 81-96*
- Bernier J., Parent E., Boreux. JJ. (2000) Statistique pour l'Environnement. Traitement Bayésien de l'Incertitude. *LAVOISIER, Eds TEC et DOC.*
- Bernstein P. (1998) Against the Gods: the Remarkable Story of Risk, *JOHN WILEY & SONS.*
- Brunet S., Bergmans A., Bertrand A. et Biren P. , eds (2002) L'expertise en questions : Domestiquer l'incertitude dans la société du risque, éditions *PETER LANG-PRESSES - Inter-universitaires Européennes(PIE)*, Bruxelles.
- Cité des Sciences et de l'Industrie (2002) Société du Risque, Dossier Sciences Humaines n°124, Février 2002.
- Cœur D. et Brun C. (1998) Des disciplines à la rencontre de l'événement risque naturel. Séminaire du Groupe Interdisciplinaire de Recherche sur les Risques naturels. Grenoble du 27 mars 1998. *CEMAGREF*
- Kahnemann D., Slovic P.& A.Tversky (1982). Judgment under Uncertainty : Heuristics and Biases. *CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS.*
- Le Monde (18 11 02) Les écoles se lancent dans l'apprentissage du doute
- Munier B. (1995) Entre Rationalités Instrumentale et Cognitive : Contributions de la Dernière Décennie à la Théorie du Risque. *REVUE D'ECONOMIE POLITIQUE*, 105 (1). pp. 1-67.
- Palmarini M. P.(1995) : La Reforme Du Jugement ou Comment Ne Plus Se Tromper. Paris, *ODILE JACOB*
- Roy B. (1985) Méthodologie multicritère d'aide à la décision, *Economica*, coll "Gestion", Paris, 423 p., 1985.
- Sokal A. , Bricmont J.(1997) Impostures intellectuelles, Paris, *ODILE JACOB*
- Soyeux Y. et Wolfer B. eds (1997) Evaluation et Gestion des Risques. Expertise scientifique et Décision publique. coordinateur. Table ronde *ENGREF.*
- WCRP (World Climate research program) (1991) World Ocean Circulation experiment. *WCRP*, Geneva, 32p.