AgEcon SEARCH
RESEARCH IN AGRICULTURAL & APPLIED ECONOMICS

The World's Largest Open Access Agricultural & Applied Economics Digital Library

This document is discoverable and free to researchers across the globe due to the work of AgEcon Search.

Help ensure our sustainability.

Give to AgEcon Search

AgEcon Search
http://ageconsearch.umn.edu
aesearch@umn.edu

*Papers downloaded from **AgEcon Search** may be used for non-commercial purposes and personal study only. No other use, including posting to another Internet site, is permitted without permission from the copyright owner (not AgEcon Search), or as allowed under the provisions of Fair Use, U.S. Copyright Act, Title 17 U.S.C.*

Décision séquentielle et Principe de Précaution

Nicolas TREICH

Cahiers d'économie et sociologie rurales, n° 55-56, 2000

Nicolas TREICH*

Sequential decision-making and Precautionary Principle

Summary *– The Precautionary Principle (Rio Conference, Maastricht Treaty) is becoming increasingly prominent in the environmental protection law or on health safety issues. Given the important literature on the Precautionary Principle in social sciences in general, this paper provides an economic approach to the Precautionary Principle.*

In crude terms, the Precautionary Principle encourages the prevention of a risk before that full scientific information is available about it. Since this Principle implies that a decision should be taken in advance, even if it may be revised later on, it implies that the decision process is sequential. As a result, this paper proposes an interpretation of the Precautionary Principle based on the sequential decision theory. We report some insights from sequential investment theory (Dixit and Pindyck, 1994) in order to bring closer the notion of option value to that of precaution.

We then introduce formally the notion of irreversibility and that of information structure. We also reinterpret the Bayes'rule as a rule that accounts for scientific progress in decision-making. This allows us to distinguish between a preventive and a precautionary strategy. Prevention is a static concept that refers to the management of a risk at a given time and given a stable probability distribution. Precaution is a dynamic concept that recognizes the evolution of scientific knowledge. A precautionary measure is defined as a prudent and temporary decision that permits to manage the current lack of scientific information.

In order to examine the efficiency of the Precautionary Principle, we raise the following question: does more scientific uncertainty lead to bias decisions in favor of less current risk exposure? We show that the Precautionary Principle may be justified on the grounds of irreversibility alone (Henry, 1974). We also generalize this pure 'irreversibility effect' to integrate risk aversion and consumption externalities (Gollier et al., 2000). We finally report some empirical results from macroeconomic models that recently assessed the impact of scientific uncertainty on optimal climate policy (Nordhaus, 1994).

Key-words:
precaution, irreversibility, sequential decision process, climate change, scientific uncertainty

Décision séquentielle et Principe de Précaution

Résumé – De plus en plus, le Principe de Précaution (Conférence de Rio, Loi Barnier) devient incontournable en matière de politique publique de gestion des risques. Cet article propose une lecture du Principe de Précaution basée exclusivement sur la théorie de la décision et l'analyse coût-bénéfice. Nous interprétons le Principe de Précaution à travers la question suivante : dans quelle mesure un contexte de plus forte incertitude scientifique conduit à intensifier les mesures de prévention ?

Nous introduisons d'abord un modèle de valeur d'option afin de préciser l'intérêt, dans un contexte d'incertitude, de définir une règle de décision séquentielle qui tient compte des opportunités d'information future et de la flexibilité inhérente à chacune des décisions (Henry, 1974). Nous reportons ensuite des résultats sur l'effet de l'incertitude scientifique dans des modèles dynamiques, comme par exemple ceux relatifs à la consommation d'un produit « douteux » (Gollier *et al.*, 2000) ou à la gestion d'un risque de changement climatique (Nordhaus, 1994).

Mots-clés :
précaution, irréversibilité, stratégie séquentielle, changement climatique, incertitude scientifique

* *INRA/UMR LEERNA, Université de Toulouse 1, Pôle Manufacture, Bât.F, 21 allée de Brienne, 31000 Toulouse*
e-mail : ntreich@toulouse.inra.fr

Je remercie mon directeur de thèse : Christian Gollier. Ce travail s'appuie sur une recherche commune développée sur ce thème depuis plusieurs années. Je remercie aussi Minh Ha-Duong et Sandrine Spaeter, ainsi que les deux rapporteurs de cet article.

"There are moments of history when we simply must act, fully knowing our ignorance of possible consequences, but to retain our full rationality we must sustain the burden of action without certitude, and we must always keep open the possibility of recognizing past errors and changing course."

Kenneth J. Arrow

A l'image de la crise récente de la vache folle, le Principe de Précaution est en passe de devenir en quelques années le principe général sur lequel la communauté nationale et internationale base ses politiques de protection de l'environnement et de santé publique. Ce principe fait actuellement l'objet d'interprétations diverses mais *« aucun accord général n'existe sur ce qu'il signifie et comment l'appliquer à divers systèmes socio-économiques ou culturaux »* [(1)]. Par exemple, le rapport de la Commission européenne sur le Principe de Précaution (CE, 2000) commence par la phrase suivante : *« Quand et comment utiliser le Principe de Précaution, tant dans l'Union européene que sur la scène internationale, est une question qui suscite de nombreux débats et donne lieu à des prises de position diverses, et parfois contradictoires »*. Dans ce contexte de débat controversé, nous proposons ici une lecture du Principe de Précaution exclusivement basée sur la théorie de la décision séquentielle (Treich, 1997).

Le Principe de Précaution nous parle de *« connaissances scientifiques du moment »*, de *« ne pas retarder l'adoption de mesures effectives »* [(2)]. Le Principe de Précaution a ainsi défini une norme de gestion des risques profondément nouvelle, basée sur l'idée de temporalité et de calendrier des décisions. D'un point de vue général, ce principe appelle à prévenir un risque *avant* même d'obtenir des informations tangibles sur ce risque. Il encourage le fait que la décision politique précède la connaissance scientifique, à l'inverse de la chronologie habituelle où la connaissance précède l'action. Comme le Principe de Précaution implique de prendre une mesure à temps, quitte à réviser ensuite les choix, il ne peut être mis en œuvre que si le processus de décision est séquentiel.

Or, préalablement à la montée en puissance de ce principe en tant qu'élément de doctrine du droit national et international, on a pu assis-

---

[(1)] *"No general agreement exists on what the Precautionary Principle means or how it is applied in different socioeconomic and cultural systems"* (International Conference on Biotechnoloy in the Global Economy, 2000).

[(2)] L'article premier de la loi Barnier du 2 février 1995 stipule que le Principe de Précaution est le principe selon lequel *« l'absence de certitude, compte tenu des connaissances scientifiques et techniques du moment, ne doit pas retarder l'adoption de mesures effectives et proportionnées visant à prévenir un risque de dommages graves et irréversibles à un coût économique acceptable »*. Des définitions presque équivalentes ont été énoncées lors de la déclaration de Rio en 1992, lors de la conférence de Maastricht, très récemment à Carthage pour la convention sur la biodiversité et existent aujourd'hui dans le droit de nombreux pays.

ter à la constitution progressive d'un corpus théorique permettant de l'asseoir sur des bases scientifiques mieux définies. Il s'agit d'une branche relativement récente de la micro-économie qui se base sur la théorie de la décision séquentielle sous incertitude. Initialement développée vers le milieu des années 70 (Henry, 1974), autour de la notion d'effet d'irréversibilité en économie de l'environnement, on retrouve aujourd'hui ses implications tant en théorie de l'investissement qu'en finance (Dixit et Pindyck, 1994). Dans cet article, nous présenterons les développements récents de ces idées dans un modèle d'externalité de consommation (Gollier *et al.*, 2000). Cela nous amènera à proposer une lecture micro-économique du Principe de Précaution. Puis, en nous fondant sur des modèles macro-climatiques récents (Nordhaus, 1994), nous montrerons comment l'effet d'irréversibilité peut éclairer un problème de décision aussi complexe que celui relatif au changement global.

Il est important de souligner que cette interprétation est basée sur la théorie de la décision « standard », c'est-à-dire sur les axiomes de choix de von-Neumann et Morgenstern et la révision des croyances conformément à la règle de Bayes. Il ne nous sera donc pas donné d'embrasser l'ensemble du débat autour des choix en univers controversé, comme par exemple ceux relatifs aux différents critères possibles de prise de décision sous incertitude (Starmer, 2000), à certaines méthodes courantes utilisées par les ingénieurs de sécurité (Morgan et Henrion, 1990) ou à la littérature sur la rationalité limitée (Conlisk, 1996).

En nous plaçant à un niveau normatif, nous n'aborderons pas non plus les questions de politiques décentralisées de gestion de risque, comme par exemple celles relatives au choix des instruments de régulation. Nous n'étudierons pas non plus les questions relatives à la régulation avec information imparfaite et/ou celles liées à l'économie politique de la régulation des risques[(3)].

Au contraire, nous nous limiterons à quelques idées fondamentales de la théorie de la décision séquentielle présentées de manière simple. L'objectif premier de cette contribution est de rendre accessibles ces idées de façon à montrer le rapport direct qu'elles entretiennent avec l'idée de précaution. L'objectif second est de souligner que des amendements mineurs de l'analyse coût-bénéfice permettent de capturer les dimensions importantes des nouveaux risques technologiques ou environnementaux.

[(3)] Pour une approche formelle de ces questions, voir par exemple Laffont et Tirole (1993) ; pour une étude empirique, voir par exemple le papier de Cropper *et al*. (1992) relatif à la politique de régulation des pesticides dans les pratiques agricoles aux Etats-Unis.

Valeur d'option : un exemple

La méthode la plus employée pour fonder économiquement une décision publique est l'analyse coût-bénéfice [4]. Selon cette analyse, une décision d'investissement est justifiée si la valeur actualisée des bénéfices et des coûts, ou valeur actualisée nette (VAN), est positive.

Considérons une situation très simple pour commencer. Un agent a en charge les choix de la société. Il peut investir dans un projet sur deux périodes $t = 1,2$, le présent et le futur. Ce projet consiste par exemple à construire un barrage ou à introduire une innovation technique. Les bénéfices et les coûts associés à ce projet sont notés Bt et Ct. Le taux d'escompte d'une période à l'autre est noté r. Dans ce cas, la VAN de ce projet s'écrit :

$$\text{VAN} = (B1 - C1) + (1/(1+r))\,(B2 - C2).$$

Les bénéfices futurs du projet sont inconnus: $B2$ dépend en fait d'un « état du monde » S, et on notera d'ailleurs maintenant $B2 \equiv B2(S)$. On associe une probabilité d'occurrence $P(S)$ à l'« état du monde » S. La valeur espérée est notée:

$$E_S\,(B2(S)) = \sum_S P(S)\,B2(S).$$

Sous incertitude, deux éléments doivent être pris en considération dans l'analyse coût-bénéfice. Le premier élément est l'*irréversibilité*. Le deuxième élément est relatif à la perspective de recevoir des *informations plus précises* sur la rentabilité du projet. Un exemple numérique va aider à comprendre pourquoi la prise en compte de ces éléments est nécessaire (voir par exemple Dixit et Pindyck, 1994).

Supposons que le coût initial pour mettre en œuvre le projet d'investissement soit $C1 = 500$. Le bénéfice courant du projet est $B1 = 200$. Deux états du monde sont possibles, $S = 1, 2$, avec une probabilité $P(1) = P(2) = 1/2$. La rentabilité future du projet sur sa durée de vie est estimée à $B2(1) - C2 = 1\,000$. Dans l'autre cas, avec probabilité $P(2) = 1/2$, la situation sera défavorable et les bénéfices couvrent juste les coûts $B2(2) - C2 = 0$. En supposant un taux d'escompte de $r = 10\,\%$, on peut calculer la VAN espérée du projet à la date 0 :

$$\text{VAN (investir en 0)} = -500 + 200 + (1/1.1) \times (1/2 \times 1000 + 1/2 \times 0) = 154.54.$$

[4] Aux Etats-Unis, depuis 1981, une loi (Executive Order 12291) impose que toute politique de régulation dont les impacts sont plus importants que 1 million de dollars soit évaluée selon une analyse coût-bénéfice. Ainsi, Morgenstern (1997) reporte les analyses coût-bénéfice menées par l'EPA (Environmental Protection Agency) depuis plusieurs années. Celles-ci ont été appliquées par exemple aux questions suivantes : pollution de l'eau, dégradation de la couche d'ozone, élimination de l'amiante, accumulation de déchets souterrains, préservation d'un site dans le Grand Canyon, développement des pesticides dans l'agriculture et sécurité routière.

La VAN étant positive, l'analyse coût-bénéfice standard stipule qu'il est socialement efficace d'investir.

Mais cette conclusion n'est pas correcte car elle ignore les deux éléments mentionnés plus haut. Il faut en effet imputer à la valeur intrinsèque du projet d'investissement, une *valeur d'option* qui reflète la possibilité de reporter dans le temps la décision d'investissement. Pour voir cela, il suffit de recalculer la VAN du projet, mais en supposant que l'on peut repousser la décision jusqu'au moment où la rentabilité du projet sera connue. Durant la première période, il n'y aurait donc ni dépenses, ni revenus. Et, l'investissement se fera ensuite dans le cas favorable. On peut ainsi calculer à nouveau la VAN du projet à la date 0 :

$$\text{VAN (investir en 1)} = 0 + 1/1.1 \times (1/2(-500 + 1000) + 1/2 \times 0) = 227.27.$$

La VAN est plus élevée si on prévoit d'attendre, plutôt que d'investir dès la date 0. Pourquoi ? Ceci reflète le coût d'une décision irréversible: investir et ne pas pouvoir désinvestir. Si la dépense $C1$ était récupérable, il serait toujours optimal d'investir dans un premier temps et revenir sur sa décision ensuite si l'on apprend que la rentabilité est 0. Mais d'une manière générale, il est toujours plus coûteux de faire et de défaire que de ne rien faire. En termes économiques, il existe des coûts d'ajustement.

La valeur d'option (222.27 – 154.54) provient pourtant de la flexibilité qui est offerte à celui qui met en œuvre le projet : ne rien faire mais pouvoir reconsidérer sa décision ensuite. Cette flexibilité résiduelle dans la décision permet alors de tirer parti de l'information à venir.

C'est donc la valeur de l'information qui est à l'origine de la valeur d'option, comme l'ont souligné très justement Henry (1974) et plus tard Jones et Ostroy (1984) et Gerbach (1997). Sans ces deux éléments, irréversibilité et arrivée d'informations, la valeur d'option serait nulle.

Analyse coût-bénéfice, irréversibilité et progrès scientifique

Ainsi, l'idée fondamentale qui est ressortie de ces développements relatifs à la valeur d'option est que la question de la taille et celle de la valeur d'un projet d'investissement ne comptent pas moins que celle de la date opportune pour le réaliser. Cette littérature a largement répandu l'idée qu'il fallait envisager une décision d'investissement dans un contexte dynamique où les bénéfices engendrés par une décision doivent être sans cesse réévalués. L'investissement peut alors être fractionné, il peut être reporté à un coût plus ou moins important et cela dépend des opportunités d'information à venir. Investir est rarement une décision à

prendre à un moment précis connu à l'avance, d'une manière définitive, dans un environnement certain et non évolutif.

Les liens entre ces développements récents de l'analyse coût-bénéfice et les choix relatifs à l'environnement ou la santé publique sont évidents. Les pertes en terme de biodiversité consécutives à la construction d'un grand projet ou à un changement de climat peuvent être irréversibles. De même, les conséquences de l'introduction d'une innovation (dans l'alimentation des bovins par exemple) peuvent être irréversibles. De plus, les bénéfices à long terme de ces innovations sont souvent inconnus. Par exemple, il existe souvent un temps de latence entre l'exposition au risque et la manifestation de ses effets. Dans ce contexte de forte irréversibilité et d'incertitude, le coût, aujourd'hui, d'aller dans la mauvaise direction peut être très élevé. Mais, comme les progrès de la connaissance vont réduire l'incertitude, il convient de développer des stratégies séquentielles qui anticipent et s'adaptent progressivement à l'amélioration des connaissances scientifiques. C'est l'approche que nous allons proposer par la suite.

Pourtant, il faut savoir que cette approche n'est que très peu développée. La plupart des techniques de gestion de risques n'intègrent pas l'aspect dynamique et en particulier les perspectives de progrès de la connaissance dans le temps. Les analyses coût-bénéfice ou coût-efficacité restent fondamentalement statiques (Glickman et Gough, 1990). Ainsi l'argument principal développé dans l'article est qu'il est crucial de tenir compte des progrès scientifiques et des différents degrés d'irréversibilité dans les politiques de prévention des nouveaux risques technologiques ou environnementaux. Ne pas tenir compte de ceux-ci, c'est en effet prendre le risque de dépenser des sommes importantes pour des risques «fantômes» tandis que des sommes insuffisantes sont consacrées à la prévention des risques catastrophiques.

Les trois dernières décennies sont entachées d'exemples de mauvaises politiques de prévention relatives aux nouveaux risques technologiques ou environnementaux (Viscusi, 1998). Le drame de l'amiante ou celui du SIDA sont des exemples de risques catastrophiques qui ont été sous-estimés au premier chef. Les efforts de prévention ont été tardifs, avec les conséquences que l'on sait.

Un exemple typique est la gestion internationale de la dégradation de la couche d'ozone. Le protocole de Montréal a été signé en 1987, deux ans après seulement la découverte du fameux trou dans la couche d'ozone qui choqua l'opinion publique. Pourtant, il faut savoir que dès 1974 la communauté internationale avait conscience que le chlore, à très haute altitude, pouvait détruire les molécules d'ozone. Ainsi, il aura fallu attendre 13 ans pour commencer à infléchir significativement les émissions de CFC dans l'atmosphère. Il s'agit d'une attitude très attentiste, de type laisser-faire. Certes, en 1974, la probabilité d'une catastrophe était faible et les coûts de réduction des émissions auraient sûrement lar-

gement dépassé les bénéfices espérés. Mais raisonner comme cela, c'est nier l'irréversibilité du problème physique, la dynamique des coûts d'ajustement et celle des connaissances. Quel aurait-été le résultat d'une analyse coût-bénéfice « appropriée » développée dès 1974 ? [(5)]. La suite de l'article donne des éléments de réponse à cette question.

Théorie de la décision séquentielle

Il est utile pour la suite d'écrire le problème de choix présenté au début comme un programme de maximisation. Appelons ainsi X_1 la décision de première période et X_2 la décision de deuxième période. Le programme initial sans tenir compte de l'arrivée d'information s'écrit alors :

– *Programme 1*

$$\underset{X_1 \in \{0,\,1\}}{MAX} \; X_1 (B1 - C1) + (1/(1+r)) \{\underset{X_2 \in \{X_1,\,1\}}{MAX} \; X_2 (E_S B2(S) - C2)\}.$$

Dans ce programme, choisir $X_1 = 1$ signifie « investir ». Dans ce cas, l'espérance d'utilité est bien $(B1 - C1) + (1/(1+r))\,(E_S B2(S) - C2)$.

Il est important de souligner que l'irréversibilité est représentée ici par le fait que la décision de première période X_1 affecte les choix possibles en deuxième période, $X_2 \in \{X_1, 1\}$ [(6)]. Ainsi, la décision $X1 = 1$ est irréversible au sens où elle implique $X2 = 1$; il est impossible de se désengager du projet si on a déjà investi. En revanche, choisir $X_1 = 0$ est flexible puisque cette décision laisse le choix libre en deuxième période d'investir ou pas, $X_2 \in \{0, 1\}$.

Remarquons que dans l'exemple numérique ci-dessus, la décision optimale conduisait précisément à choisir la décision irréversible $X_1 = 1$: « investir ». Mais ce programme ne tenait pas compte des opportunités d'information futures.

Si le décideur intègre la perspective de recevoir une information parfaite avant de décider X_2 le programme formel n'est que peu modifié et s'écrit :

---

(5) Pour une analyse rétrospective de cette question, voir par exemple Ha-Duong *et al.*, 2000.

(6) Dans la littérature économique, on précise souvent qu'il s'agit ici d'une forme d'irréversibilité forte. On pourrait en effet envisager de manière moins extrême qu'il existe des coûts d'ajustement relatifs aux positions respectives de $X2$ par rapport à $X1$. Ici, implicitement, on suppose que ce coût est soit nul, soit infini.

– Programme 2

$$MAX_{X_1 \in \{0,1\}} X_1 (B1 - C1) + (1/(1+r))\ E_S \{MAX_{X_2 \in \{x1,\ 1\}} X_2 (B2(S) - C2)\}.$$

L'opérateur *MAX* a commuté avec l'opérateur espérance car la décision optimale de deuxième période se prendra *après* la connaissance de l'« état du monde » *S*.

Ainsi, une façon d'intégrer la valeur d'option dans le premier programme consiste à amender celui-ci pour tenir compte du fait que la deuxième période est contingente à l'« état du monde ». Cela revient en fait à remarquer que la différence entre les programmes 1 et 2 provient de la valeur de l'information *VI*. Formellement celle-ci vaut :

$$VI = E_s(MAX_{X_2} (B2(S) - C2)) - MAX_{X_2} E_s(B2(S) - C2)$$

Autrement dit, quand les structures d'informations sont différentes, les choix de court terme vont être différents. Dans l'exemple numérique, la solution du programme 1 est $X_1 = 1$ alors que celle du programme 2 est $X_1 = 0$. Nous arrivons ici à un point crucial de l'analyse. La problématique de la précaution comme présentée ici va se ramener à étudier les effets anticipés de l'information sur les décisions courantes. Avant d'étudier cet effet, il convient de mieux préciser ce que l'on entend par structure d'information.

Révision bayésienne des probabilités

Prenons un exemple simple. Un individu doit décider s'il prend un parapluie avant de partir de chez lui. Sa décision a des conséquences incertaines car il ne connaît pas à l'avance le temps qu'il va faire. Autrement dit, la Nature choisit un « état du monde » (ou plutôt état du ciel) *S* et cet état est inconnu de l'individu. La distribution de probabilité *P(S)* rend alors compte de ses croyances subjectives sur l'état du ciel.

Mais cet individu peut s'informer, par exemple en écoutant un bulletin météorologique qui va lui donner le message *M.* Bien sûr, avant de s'informer, le message est encore inconnu. On note *Q(M)* la probabilité de recevoir le message *M.* Ainsi les croyances qui traduisent la vraisemblance que la Nature choisisse tel ou tel état du ciel *S* pourront être révisées après la réception du message. La distribution de probabilité deviendra alors conditionnelle au message, notée *P(S/M).*

Clairement les décisions basées sur *P(S/M)* sont « meilleures » que celles basées sur *P(S)* puisqu'elles utilisent l'information disponible. Mais formellement, comment passe-t-on de *P(S)* à *P(S/M) ?* La théorie

de la décision postule que ce processus de révision des croyances s'effectue selon la *règle de Bayes :*

$$P(S/M) = P(S) \times Q(M/S)/Q(M).$$

En mots, la probabilité a posteriori de l'« état du monde » *S*, après réception du message *M*, notée *P(S/M)*, est égale à la probabilité a priori *P(S)* multipliée par la vraisemblance de recevoir un message *M* alors que l'« état du monde » est *S*, notée *Q(M/S)* et divisée par la probabilité de recevoir le message *M*.

Ainsi le décideur révise la probabilité d'un « état du monde » à partir de l'observation d'un message *M* et de la connaissance de la relation statistique entre les messages *M* et des « états du monde » *S.* Cette relation statistique est traduite ici par la probabilité *Q(M/S)*. Si *Q(M/S)* est élevé, à la limite égal à 1, cela signifie que si le vrai « état du monde » est *S*, beau temps par exemple, alors le bulletin annoncera avec probabilité 1 qu'il fera beau temps. Il n'y a pas d'erreur de prévision [(7)].

En examinant cette règle, nous voyons que, toutes choses étant égales par ailleurs, plus fiable est le bulletin météorologique, plus la distribution de probabilité a posteriori *P(S/M)* ressemblera à la vraisemblance *Q(M/S)* plutôt qu'à *P(S).* En effet, si le test est très fiable, la vraisemblance *Q(M/S)* se situe proche de 0 ou 1. Or *P(S)* est multiplié par *Q(M/S)* dans l'équation. Ainsi si *Q(M/S)* est plus précis (plus proche de 0 ou 1), la valeur de *P(S/M*) sera plus écartée de *P(S).*

Remarquons aussi qu'un message « surprenant », avec une faible probabilité de sortie, aura un impact plus fort sur le processus de révision. En effet, une valeur de *Q(M*) proche de zéro au dénominateur fait diverger la probabilité a posteriori *P(S/M)* de la probabilité a priori *P(S).*

Nous venons de rappeler comment on caractérise et interprète dans la théorie de la décision séquentielle la variation des croyances au cours du temps [(8)]. Cette caractérisation est celle qui est la plus développée empiriquement (voir par exemple Viscusi et Magat, 1987). A ce stade, nous avons donc jeté les bases du corpus théorique que nous avions évoqué au

[(7)] Dans la pratique, la fiabilité d'un système d'information peut être particulièrement élevée si on a la possibilité de répéter les tests un grand nombre de fois. Souvent cette répétition provient de l'observation sur une longue période des états du monde. Mais de manière assez typique, l'expérimentation et l'observation sont difficilement possibles pour les risques environnementaux ou technologiques. En revanche, des recherches intensives sont menées pour comprendre les causes de ces risques et pour quantifier leurs conséquences.

[(8)] Au delà de cette représentation, il est important de mesurer le degré de variabilité des croyances. Celui-ci sera en fait d'autant plus fort en moyenne que le système d'information est fiable. Un cas particulier de mesure (inverse) de l'information que l'on retrouve dans plusieurs disciplines comme en théorie des communications, ou en thermodynamique est la fonction d'entropie*:* $\Sigma_M Q(M) \times Log(P(S/M))$.

début. Avant d'aller plus loin, il est peut-être utile d'utiliser ce corpus pour proposer de distinguer le concept de risque de celui d'incertitude.

Risque *vs* incertitude

Depuis Knight (1921), les économistes ont en effet pris l'habitude de distinguer le risque, qui est caractérisé par une loi de probabilité *objective*, fondée sur la réalisation d'événements aléatoires ayant une certaine réalité physique, et l'incertitude, qui ne repose sur aucune base précise d'information. Et de manière très schématique, il est alors usuel de poser la formule: la prévention est au risque ce que la précaution est à l'incertitude. En quoi cette formule nous éclaire-t-elle ?

Pour répondre à cette question, nous allons suivre le chemin de pensée classique. En 1954, dans *The Foundations of Statistics*, Savage critique cette distinction risque/incertitude. Que la probabilité d'un événement soit « objectivement » 1 % ou que l'agent estime « subjectivement » cette probabilité à 1 %, quelle différence après tout ? Savage montre en fait que cela revient au même. D'un point de vue pratique, il est de toutes façons difficile de se passer des probabilités, et les théories actuelles en univers non probabilisé ne sont pas encore opérationnelles, ni même encore satisfaisantes. La distinction risque/incertitude est-elle stérile ?

Nous proposons ici la distinction suivante : l'incertitude est définie comme une situation risquée, mais telle que la perception du risque évolue au cours du temps. La loi de probabilité actuelle est *P(S)*, mais dans le futur celle-ci pourra être différente, c'est-à-dire *P(S/M)*. Faire cette distinction, c'est reconnaître que l'incertitude n'est pas indépendante des connaissances et n'est donc pas un concept statique. Avec l'accumulation du savoir, l'incertitude se résout, au moins partiellement, permettant ainsi de réviser les décisions.

Ainsi quand le Principe de Précaution nous parle d'ignorance scientifique, on est typiquement dans une situation d'incertitude [(9)]. En philosophie, Kuhn, Bachelard et beaucoup d'autres ont précisément caractérisé une Science par la puissance d'évolution des concepts qu'elle peut générer; par la capacité d'un domaine de pensée à tester les acquis, à mettre à l'épreuve les connaissances dans des contextes nouveaux. Par définition, la connaissance scientifique est provisoire ; elle va évoluer.

Un bon exemple d'évolution récente des croyances scientifiques est relatif à l'affaire de la « vache folle ». Dans les années 70, les recherches sur les encéphalopathies des ruminants, dont l'exemple le plus connu est la tremblante du mouton, optaient pour la thèse d'un virus nouveau non

[(9)] On parle d'incertitude scientifique et non pas de risque scientifique.

encore identifié. Mais, depuis le début des années 80, la communauté scientifique penche pour la thèse d'un agent transmissible appelé prion. Cette thèse explique la transmission tant orale que maternelle et rend aussi plus plausible la transmission de la maladie à l'homme. Pourtant, les observations les plus récentes sur le développement de la maladie ne sont pas encore parfaitement compatibles avec cette dernière thèse et ont conduit récemment à même envisager d'autres voies de transmission. On peut parier que les efforts de recherche développés actuellement vont conduire à éliminer dans les prochaines années les doutes scientifiques qui planent encore sur cette maladie.

Ainsi, dans de tels contextes, fortement évolutifs, il faut réfléchir à des modes de prévention profondément dynamiques, qui intègrent l'évolution des connaissances.

La décision du Parlement européen du mercredi 12 avril 2000, qui autorisait à nouveau la culture confinée de plantes transgéniques, est ainsi une décision prise dans un contexte d'incertitude [(10)]. Mais elle s'inscrit dans un processus de décision séquentiel qui s'adapte aux connaissances du moment. En effet, ces autorisations interviennent *après* que des mesures de prudence ont été prises au premier chef, dans un climat de plus grande incertitude. Ainsi cette décision revient sur une directive européenne 90/220 qui interdisait la production d'OGM et sur le moratoire adopté en France en conseil des ministres en juin 1999. De plus, ces autorisations sur la production d'OGM sont limitées à dix ans et pourront être à nouveau levées ou renforcées si les recherches scientifiques révélaient leur dangerosité ou leurs bienfaits. En attendant, l'étiquetage est imposé à tous les stades, de la production jusqu'à la mise sur le marché.

Ainsi, pour revenir sur la formule évoquée en début de cette section, on pourrait dire que la prévention est relative à la gestion du risque tandis que la précaution est relative à la gestion de l'attente d'information.

Effet de l'incertitude scientifique

Précédemment, nous avions montré comment il était possible de tenir compte de l'évolution des connaissances dans un programme d'optimisation. La problématique de la précaution développée dans l'article consiste alors à étudier les effets de cette variabilité des connaissances sur la décision courante. Autrement dit, la question posée est : *Comment la perspective d'une amélioration des connaissances demain affecte-t-elle les décisions à prendre aujourd'hui ?*

[(10)] Voir par exemple *Le Monde* du 14 avril 2000.

Si cette perspective conduit à privilégier une décision plus prudente, alors, d'une certaine manière, l'application du Principe de Précaution est économiquement justifiée. Remarquons que cette approche est d'ordre qualitatif. On cherche le signe d'un effet, et ses déterminants, sans rechercher une appréciation quantitative de cet effet. Nous pensons que cette interprétation qualitative n'est pas contradictoire mais, au contraire, profondément compatible avec la formulation générale, sans contenu pratique, du Principe de Précaution.

A ce stade, rappelons l'exemple numérique donné au début. Celui-ci était tel que la prise en compte d'une amélioration des connaissances futures conduisait à reporter la mise en œuvre d'un projet d'investissement, pourtant profitable dès aujourd'hui (VAN>0). Ce résultat est standard quand une décision est irréversible: on parle de stratégies "*learn then act*" ou "*wait and see*". Suite aux travaux de Henry (1974), bon nombre d'articles théoriques traitent spécifiquement des décisions irréversibles en environnement comme la construction d'une autoroute au milieu d'une forêt ou celle d'un barrage dans un parc naturel. Ces articles montrent qu'il est souvent opportun de reporter leur mise en œuvre [(11)].

Considérons maintenant un modèle plus général que les programmes 1 et 2 précédents. Soit un modèle d'externalité de consommation qui est peut-être plus à même de capturer les problématiques actuelles relatives à l'application du Principe de Précaution.

A chaque période t, un agent consomme une quantité Xt d'un produit. Pour simplifier, nous supposons que son utilité $U(Xt)$ – avec $U(.)$ croissante et concave – ne provient que de la consommation de ce produit sur deux périodes, le présent et le futur. Le produit peut s'avérer toxique (ou bénéfique) dans le futur. L'espérance d'utilité du consommateur s'écrit ainsi :

$$\underset{X_1 \in D}{MAX} \; U(X_1) + (1/(1+r)) \sum_M Q(M) \; \{\underset{X_2 \in D(X_1)}{MAX} \; \sum_S P(S/M)\, U(X_2 - T(\delta X_1 + X_2, S))\},$$

où $T(\delta X_1 + X_2, S)$ est le terme représentant la « toxicité » du produit; δ étant un facteur de rémanence. Ce facteur est crucial puisqu'il contrôle l'effet de la décision présente sur le niveau d'utilité futur (dans le cas où $\delta = 0$, on peut montrer que l'on se ramène à un modèle de valeur d'option comme présenté précédemment). S représente l'« état du monde », inconnu à ce jour mais mieux appréhendé demain grâce aux nouvelles informations scientifiques M. Les symboles D et $D(X_1)$ représentent les ensembles de choix en première et deuxième période.

[(11)] Voir aussi Jones et Ostroy (1984) pour une analyse générale de cette question. Pour un survol en français de cette littérature, le lecteur peut se reporter au survol de la littérature publié dans cette revue : Amigues (1987).

Ce problème est relativement général dans la mesure où il représente des situations où l'effet d'un produit dépend de son niveau de concentration $\delta X_1 + X_2$ dans un certain médium (eau, sol, air, corps…) et pas seulement de son taux annuel de déposition. Le niveau de consommation socialement efficace dépend ainsi de l'aversion au risque du consommateur (forme de $U(.)$), du degré d'irréversibilité des décisions (forme de $D(X_2)$) ainsi que de la non-linéarité du dommage (forme de $T(.)$) et de la distribution de probabilité du risque $P(S)$.

Comment l'incertitude scientifique affecte-t-elle le degré d'exposition au risque ? Autrement dit, comment l'écart attendu entre $P(S/M)$ et $P(S)$ affecte-t-il le niveau X_1 ? Ce problème théorique vient d'être résolu récemment (Gollier *et al*., 2000).

Il s'avère que sous des conditions «plausibles» sur la forme de la fonction d'utilité $U(.)$ et sur celle de la fonction de dommage $T(.)$, la consommation du produit toxique est d'autant plus faible que l'information à venir est forte. Ainsi le consommateur ayant de telles préférences se conformerait en quelque sorte au Principe de Précaution : la prise en compte de l'incertitude scientifique l'incite à être plus prudent dès aujourd'hui.

On peut se demander ce qui est à la base de ce résultat. Autrement dit, pourquoi la perspective d'une meilleure connaissance scientifique sur la toxicité d'un produit incite-t-elle à en diminuer sa consommation aujourd'hui ? On pourrait en effet penser que les progrès de la connaissance justifieraient plutôt une attitude de type laisser-faire, qui permettrait d'adapter les efforts à la sévérité du risque.

En fait, l'étude isole précisément deux effets qui jouent en opposition. D'un coté, les perspectives de progrès de la connaissance conduisent à moins se soucier du futur, et à augmenter sa consommation présente du produit. « Je consomme normalement, et si le produit s'avère toxique, j'arrête ! ». Mais, d'un autre coté, la perspective de recevoir bientôt des informations plus précises sur le risque est une source supplémentaire de risque. La distribution de probabilité est inconnue à ce jour, reflétant par exemple les doutes qui pèsent sur la nature des découvertes scientifiques. Cette double source d'incertitude fait qu'il peut être optimal pour un consommateur suffisamment prudent de réduire dès aujourd'hui la consommation du produit potentiellement toxique. Si ce deuxième effet l'emporte, alors l'action de précaution est optimale.

Ces résultats jettent en quelque sorte les bases d'une justification micro-économique de l'idée de précaution. C'est bien l'effet pur de l'incertitude scientifique qui a été mesuré (et non pas l'effet classique du risque dont on a vu qu'il était relatif à la prévention). On a montré que cet effet justifie un supplément de réduction de la consommation du produit potentiellement toxique.

La question suivante que l'on va se poser est relative au caractère opérationnel de notre approche. Que peut dire par exemple ce modèle sur

le *timing* des efforts de réduction de gaz à effet de serre ? Imaginons que *Xt* représente la consommation mondiale d'énergie fossile et que ses effets à long terme *T(.)* sont encore inconnus aujourd'hui mais seront mieux connus demain. La prochaine section présente les premiers résultats empiriques sur cette question.

Mesures de précaution et risque de changement climatique

Très rapidement, les débats sur la question des politiques de prévention pour réduire le risque de changement climatique se sont principalement concentrés sur le fait de décider s'il fallait agir maintenant ou plus tard (Hammitt *et al.*, 1992). Toute politique de prévention décidée aujourd'hui devant être révisée plus tard à la lumière d'une meilleure connaissance scientifique du phénomène. La question de la flexibilité et des coûts d'ajustements était alors cruciale dans ce débat.

Plusieurs éléments déterminent le calendrier optimal des mesures de prévention : les progrès scientifiques, l'inertie des processus physiques (le CO2 se stocke pour plus de cent ans dans l'atmosphère…), les potentielles non-linéarités dans le dommage climatique, les changements techniques et démographiques, les irréversibilités environnementales et socio-économiques. En tenant compte de tous ces éléments, certaines études se sont intéressées à l'effet des progrès scientifiques sur le niveau d'effort de réduction des émissions. La méthode utilisée correspond à celle présentée plus haut, mais explorée numériquement dans des modèles macro-climatiques de long terme. Il faut noter qu'intégrer l'arrivée d'information dans ces modèles accroît de manière exponentielle les chemins à explorer dans un modèle d'optimisation. Ainsi ce n'est que grâce au développement récent des capacités de calcul et des méthodes numériques qu'une telle exploration est devenue possible [(12)].

Ces recherches ont clairement montré qu'il existait finalement un avantage modeste à contrôler dès aujourd'hui les émissions par rapport à un report d'une dizaine d'années de ces efforts (Manne et Richels, 1992; Nordhaus, 1994). Ainsi, compte tenu des hypothèses de ces modèles sur la dynamique du problème de changement climatique, des actions de précaution prématurées ne seraient donc pas vraiment optimales pour prévenir le risque de changement climatique. Ces résultats ont suscité

[(12)] Dans un modèle numérique, cette méthode se ramène à l'opération suivante sur le code du modèle (voir par exemple Nordhaus, 1994). Appelons *X(t,S)* le niveau d'émissions au temps *t* et dans l'état du monde *S*. Appelons *Tinfo* la date où l'état du monde est connu (ou l'information parfaite est reçue). Rendre compte de cette date de résolution des incertitudes, *Tinfo,* revient alors à ajouter au code la contrainte : *X(t,S)=X(t)* si et seulement si *t* est inférieur ou égal à *Tinfo*. Autrement dit, la politique est contingente à l'état du monde *S* seulement après *Tinfo*. Avant cette date, elle est identique pour tous les états du monde.

nombre de controverses qu'il serait trop long de développer ici (voir par exemple Ha-Duong *et al.*, 1997).

Mais, dans tous les cas, l'approche séquentielle a significativement influencé le débat scientifique sur la politique climatique [(13)]. Cette approche souligna en particulier l'intérêt d'une collaboration multidisciplinaire pour développer des modèles d'optimisation « intégrés » : les critères économiques de décision en incertain permettant de sélectionner les scénarios climatiques à envisager parmi tous ceux possibles proposés par les physiciens.

Cette approche a aussi, paraît-il, influencé de manière significative les négociations internationales. Ainsi le Protocole de Kyoto peut être vu comme une première étape d'un programme mondial de stabilisation des émissions. Il fixe des objectifs de réduction à court terme, et, afin de faciliter l'adaptation future, le protocole introduit divers degrés de flexibilité. Le Protocole est par exemple défini en termes de paniers de gaz à effet de serre et il autorise le recours à différents instruments comme l'implémentation jointe, les échanges de permis ou les mécanismes de développement propres.

Il est très probable que l'approche séquentielle s'étendra à l'étude de la plupart des risques, en particulier ceux relatifs aux politiques de santé publique, comme cela est déjà fait couramment aux Etats-Unis par l'Environmental Protection Agency (Morgenstern, 1997). Dans un rapport récent, la commission européenne fait d'ailleurs explicitement appel à cette approche [(14)] pour diverses catégories de risques mais souligne néanmoins ses limites dans certains contextes, comme celles relatives aux évaluations des conséquences «non économiques».

C0NCLUSI0N

On a vu que le Principe de Précaution a introduit dans le droit national ou international l'idée de temporalité. Comme à l'occasion du débat sur le réchauffement climatique, la précaution a ainsi mis l'accent sur le calendrier optimal des décisions de prévention et non pas sur le niveau de prévention à un moment donné, dans un contexte figé.

Ainsi il ne s'agit pas de planifier pour les 100 ans à venir la politique de prévention du changement climatique. De même, il ne s'agit pas au-

[(13)] "*The challenge is not to find the best policy today for the next 100 years, but to select a prudent and flexible strategy and to adjust it over time*" (IPCC, 1995).

[(14)] Les *« mesures adoptées présupposent l'examen des avantages et des charges résultant de l'action ou de l'absence d'action »*. Les *« mesures basées sur le Principe de Précaution doivent être réexaminées à la lumière des nouvelles données scientifiques »* (CE, 2000).

jourd'hui d'invoquer le Principe de Précaution pour décider une fois pour toutes si un produit transgénique doit être interdit ou pas. Il s'agit seulement de définir une stratégie prudente qui sera ajustée au cours du temps, avec l'arrivée de nouvelles informations scientifiques.

On a souvent dit que la précaution renvoyait à l'expression populaire *« dans le doute, abstiens-toi »*. Pour éviter tout malentendu, il convient de compléter ce vieil adage pour dire: *« dans le doute, abstiens-toi de prendre une décision risquée et définitive et opte pour une décision prudente et provisoire »*. Dans ces conditions, la question que doit se poser la collectivité n'est plus seulement celle de l'acceptabilité sociale d'un « niveau » de risque, ni celle du choix d'un investissement « raisonnable » dans la prévention de tel risque technologique ou de tel risque environnemental. Il s'agit de définir des stratégies intermédiaires et qui offrent de larges degrés de flexibilité pour les générations futures.

Dans la tradition de l'économie publique, nous nous sommes placés à un niveau normatif. Un individu représente la société : Que doit-il faire ? Comment doit-il intégrer les progrès futurs de la connaissance ? Comment tenir compte de l'irréversibilité ? L'incertitude scientifique justifie-t-elle l'intensification des efforts de prévention aujourd'hui ?

En revanche, nous n'avons pas étudié la question de la faisabilité de ces politiques. Comment mettre en œuvre une politique de précaution ? Il s'agit là d'une question cruciale qui nécessite la représentation des institutions – au sens large – de gestion du risque. Ainsi une question fondamentale que soulève le Principe de Précaution est celle de la volonté de mettre en place des structures juridiques et politiques qui favorisent la flexibilité du processus de décision.

L'aspect politique est crucial pour la mise en œuvre des stratégies de précaution. On l'a vu récemment avec l'affaire de la vache folle. Sous des conditions de forte incertitude, il existe toujours des acteurs sociaux (décideur politique, agence de régulation, lobbies, entrepreneur, médias, expert…) qui mettent en avant les coûts d'une action prématurée, comparés aux bénéfices encore incertains de cette action.

L'incertitude et l'irréversibilité sont précisément des arguments en faveur du *statu quo*, d'une politique de type "*learn then act*". Ainsi, dans les années 86-87, les décideurs politiques anglais ne se sont vraisemblablement pas conduits en décideurs représentatifs des intérêts de la Société. Peut-être préoccupés par des échéances électorales et/ou par les pressions du secteur de l'élevage anglais, ils ont préféré remettre à plus tard des interdictions relatives à l'utilisation de farine animale dans l'alimentation des bovins, avec les conséquences que l'on connaît.

De tels comportements opportunistes sont ceux qui sont précisément visés par le Principe de Précaution. En rendant plus responsables les décideurs qui auraient reporté la mise en œuvre de mesures préventives, le Principe de Précaution peut contribuer à développer suffisamment tôt

les bonnes mesures de prévention. Autrement dit, quand il y a un danger, et même s'il existe de fortes incertitudes sur l'existence du danger, la précaution impose l'action à celui qui est en charge de décider. Dans «précaution», il y a « peur », mais il y a aussi « action ».

BIBLIOGRAPHIE

AMIGUES (J.-P.), 1987 — L'effet d'irréversibilité en économie de l'environnement, *Cahiers d'Economie et Sociologie Rurales*, 4.

ARROW (K. J.), 1972 — Rationality: Individual and social, *The Limits of Organizations*, New York, Norton.

COMMISSION EUROPÉENNE (CE), 2000 — *Communication sur le Principe de Précaution*, voir www.europa.eu.int/.

CONLISK (J.), 1996 — Why bounded rationality?, *Journal of Economic Literature*, 34.

CROPPER (M.), EVANS (W.), BERARDI (S.), DUCLA-SOARES (M.) et PORTNEY (P.), 1992 — The determinants of pesticide regulation: A statistical analysis of EPA decision making, *Journal of Political Economy*, 100.

DIXIT (A. K.) et PINDYCK (R. S.), 1994 — *Investment Under Uncertainty*, Princeton University Press.

GERBACH (H.), 1997 — Risk and the value of information in irreversible decisions, *Theory and Decision*, 42.

GLICKMAN (T.) et GOUGH (M.), 1990 — *Readings in Risk*, Resources for the Future, Washington.

GOLLIER (C.), JULLIEN (B.) et TREICH (N.), 2000 — Scientific progress and irreversibility: An economic interpretation of the "Precautionary Principle", *Journal of Public Economics*, 75.

HA-DUONG (M.), GRUBB (M.) et HOURCADE (J.-Ch.), 1997 — Influence of socioeconomic inertia and uncertainty on optimal CO2 emission abatement, *Nature*, 390.

HA-DUONG (M.), MÉGIE (G.) et HAUGLUSTAINE (D.), 2000 — On costs and effectiveness of alternative ozone deleting substances emission reduction scenarios, mimeo Paris, CIRED.

HAMMITT (J.), LEMPERT (R.) et SCHLESINGER (M.), 1992 — A sequential-decision strategy for abating climate change, *Nature*, 357.

HENRY (Cl.), 1974 — Investment decisions under uncertainty: The irreversibility effect, *American Economic Review*, 64.

INTERNATIONAL CONFERENCE ON BIOTECHNOLOY IN THE GLOBAL ECONOMY, 2000 — *Science and the Precautionary Principle*, organisé par l'IISD (International Institute for Sustainable Development), voir www.iisd.ca/.

INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC), 1995 — *Economic and Social Dimensions on Climate Change*, Cambridge University Press.

JONES (R.) et OSTROY (J.), 1984 — Flexibility and uncertainty, *Review of Economic Studies*, 1984.

KNIGHT (F.), 1921 — *Risk, Uncertainty and Profit*, New York, M. Kelley.

LAFFONT (J.-J.) et TIROLE (J.), 1993 — *A Theory of Incentives in Procurement and Regulation*, MIT Press.

Le Monde, vendredi 14 avril 2000 — Le Parlement européen rouvre la voie à la culture d'OGM, p. 2.

MANNE (A.) et RICHELS (R.) 1992 — *Buying Greenhouse Insurance: The Economic Cost of C02 Emissions Limits*, Cambridge, MIT Press.

MORGAN (G.) et HENRION (M.), 1990 — *Uncertainty: A Guide to Dealing with Uncertainty in Quantitative Risk and Policy Analysis*, Cambridge University Press.

MORGENSTERN (R. D.), 1997 — *Economic Analyses at EPA: Assessing Regulatory Impacts*, Resources for the Future, Washington.

NORDHAUS (W. D.), 1994 — *Managing the Global Commons*, Cambridge, MIT Press.

SAVAGE (L.), 1954 — *The fondations of Statistics*, New York, Wiley.

STARMER (C.), 2000 — Development of non-expected utility models: The hunt for a descriptive theory of choice under risk, *Journal of Economic Literature*, 38.

TREICH (N.), 1997 — *Economie de l'Incertain: Analyse de la Précaution*, Thèse de Doctorat soutenue au GREMAQ, Université de Toulouse.

VISCUSI (K.) et MAGAT (W.), 1987 — *Learning about Risk: Consumer and Worker Responses to Hazard Information*, Harvard University Press.

VISCUSI (K.), 1998 — *Rational Risk Policy*, Oxford University Press.