

ANALYSE ÉCONOMIQUE ET GESTION DES RISQUES CLIMATIQUES

JEAN-CHARLES HOURCADE

Comment concevoir l'analyse économique pour qu'elle soit utilisée de façon rigoureuse et non pas comme un langage de justification, dans l'indispensable négociation internationale qu'appelle une question aussi controversée que celle des risques climatiques ?

Résumé en anglais p. 211

La présence du dossier « effet de serre » sur l'agenda des négociations internationales a poussé les pouvoirs publics à poser deux questions aux économistes :

- faut-il agir ou non en face d'un danger hypothétique ?
- quel devrait être le contenu d'une action efficace et dont la charge serait équitablement répartie entre Nations ?

Force est cependant de constater que cette « économicisation » du dossier effet de serre ne va pas de soi. Un procès pour « réductionnisme » menace en effet toujours les économistes ; ne vont-ils pas, par réflexe, traiter la thématique du développement durable selon des schémas de rationalité isomorphes à celui du financier maximisant le rendement de ses placements ou à celui de l'ingénieur-économiste planifiant un programme hydroélectrique ? Ce soupçon légitime ne doit cependant pas masquer à quel point l'économie imprègne les polémiques autour des risques climatiques. C'est un philosophe, L. Ferry, qui

écrit après avoir repris à son compte la thèse du dossier effet de serre comme « manipulation planétaire » (Lenoir, 1992) : « en jouant sur l'idée d'un "risque majeur", on gagne à tout coup, d'autant que nul, ou presque, ne songe que l'argent ainsi engagé ne l'est pas ailleurs » (Ferry, 1992). Ainsi, comme Monsieur Jourdain prosifiait sans le savoir, nous faisons de l'économie plus souvent qu'il n'y paraît et nous nous adonnons, *volens nolens*, à un réductionnisme pratique lors de tout débat autour de l'affectation de ressources rares à tel ou tel projet visant à améliorer le bien-être collectif.

Nous nous interrogerons ici sur la façon la moins absurde « d'économiciser ». Tel est après tout le problème originel de l'économie publique : prévenir l'arbitraire dans les décisions d'intérêt collectif, là où on ne peut compter sur la seule initiative privée. Pour reprendre la formule de C. Henry (1989), le calcul économique doit être surtout vu comme un langage de négociation ; il donne un ensemble de règles permettant d'explicitier

les intérêts, les choix de valeur et les visions du futur tout en les forçant à se situer par rapport à l'intérêt collectif, et fixant des critères pour éviter que la mise en œuvre de décisions collectives ne soit abandonnée au gré des conjonctures politico-administratives.

C'est typiquement à ce genre de risque que nous expose le résultat de la Conférence des Nations Unies à Rio de Janeiro (1992), où un accord s'est fait sur deux principes intuitivement raisonnables, mais dont on perçoit aisément le caractère potentiellement contradictoire : le principe de précaution et le principe d'efficacité économique. La coexistence délicate de ces deux principes leur interdit de fournir des garde-fous minimaux contre des décisions (ou des non décisions) non maîtrisées.

Nous essayerons ici de contribuer à cette recherche de garde-fou en revenant sur la nature logique du problème décisionnel posé. Nous montrerons ensuite, à partir d'un modèle à visée purement heuristique, que seule une approche séquentielle de la décision peut donner un contenu opératoire au principe de précaution tout en prémunissant contre des décisions économiquement arbitraires.

COÛT-BÉNÉFICE VERSUS SURPRISE MINIMALE ?

Devant les incertitudes autour de l'effet de serre, nous avons en fait le choix entre deux critères de décision que Pearce (1990) qualifie ainsi : « *cost-benefit versus minimum surprise* ». Le premier implique qu'une action visant à la diminution des émissions de

RÉSUMÉ : Analyse économique et gestion des risques climatiques

Cet article vise à expliciter les conditions de la décision collective en face des risques climatiques. Il montre pourquoi celle-ci ne se réduit pas à un problème classique de décision sous incertitude pour lequel on appliquerait une analyse coût-bénéfice incluant des distributions de probabilités sur les dommages et un coefficient d'aversion au risque. On montre ensuite la nécessité d'une approche séquentielle à la décision pour tenir compte à la fois de l'inertie des dynamiques sociotechniques et la valeur de l'information.

Un modèle simple illustre l'écart entre ces deux approches ; il montre l'importance d'articuler investissements sur la connaissance de climats, innovation technologique et décisions à court terme, dites « sans regrets ». Il fait surtout apparaître que, même s'ils sont modérés quantitativement, ces potentiels « sans regrets » ont un impact décisif pour la viabilité à long terme du développement en raison de leur capacité à allonger considérablement le temps d'apprentissage vis-à-vis des risques potentiellement majeurs mais controversés.

gaz à effet de serre (GES) n'est légitime que si ses bénéfices collectifs (les dommages évités) l'emportent sur son coût ; le second requiert le lancement de telles actions en fonction d'objectifs de précaution fixés normativement.

Les non-économistes pourront être surpris de ce que la difficulté d'évaluer les dommages évités de façon scientifiquement fondée, n'empêche pas des chercheurs comme Nordhaus, Pearce, Frankhauser ou Cline de recourir à divers modes d'approche coût-bénéfice pour tenter d'éclairer les politiques climatiques. Or, à notre faible niveau de connaissance des impacts du réchauffement, se rajoutent deux contraintes imposées par la cohérence interne du calcul économique :

- les difficultés bien connues de la « révélation monétaire des préférences » c'est-à-dire de l'expression sur une même échelle de valeur de composantes très disparates du bien-être, et qui vont de la valeur esthétique d'un paysage au coût du déracinement lié aux migrations en passant par le contenu symbolique d'un monument ou le degré de solidarité avec les générations futures ;

- le traitement de l'incertitude ; comme on ne peut, dans le cas présent, se fonder sur des distributions tirées de lois statistiques ou de probabilités logiques, on recourt à des probabilités subjectives sur le coût des dommages et à des coefficients d'aversion au risque. Or premièrement, cette approche se heurte à la non indépendance entre l'aversion au risque et la distribution des probabilités telle qu'elle est perçue à un moment donné¹ : il n'y a de plus aucune raison pour que les probabilités sub-

jectives soient égales aux probabilités objectives et il y a enfin incertitude sur les critères de décision à utiliser (maximin, maximax, Hurwicz, Bayes-Laplace, minimax regret).

En fait, la contradiction dans laquelle se trouve un auteur comme Pearce lorsqu'il s'en tient au « *cost-benefit analysis framework* » tout en soulignant « its conceptual deficiencies » s'explique par la difficulté d'opérationnaliser le principe de surprise minimale et par le caractère incontournable d'une mise en balance de coûts et de bénéfices quel que soit le contenu donné à ces deux termes. On ne peut s'y soustraire en effet que par négation absolue du problème ou par un choix de précaution absolue impliquant de revenir « à n'importe quel prix » aux niveaux d'émissions préindustriels.

Il importe dès lors de vérifier la sincérité des préférences individuelles et collectives affichées, de s'assurer qu'elles ne sont pas les purs produits d'un phantasme passager ou d'une habile coalition d'influences. Forcer leur chiffrage en termes marchands permet au prix d'approximations hardies de s'assurer que les coûts consentis le sont en pleine connaissance de cause. Cela vaut pour l'évaluation monétaire des dommages, mais aussi pour le recours à des probabilités subjectives ; dans la négociation d'une action, les différences « d'aversion au risque » ou de « confiance » dans l'information scientifique doivent être en effet explicitées au même titre que la préférence pour le présent, par exemple, qui guide le choix du taux d'actualisation².

La question est alors de savoir si un tel langage de négociation peut conduire à des

1. Concrètement, cela revient au constat que les comportements observés diffèrent fortement en face de deux loteries offrant la même espérance de gain mais où la première offre une possibilité d'un gain très élevé avec une faible probabilité et le risque d'un gain très faible (voire d'une perte) alors que la seconde offre deux possibilités de gains modérés.

2. Le taux d'actualisation est le paramètre qui prend en compte le fait qu'un franc dépensé ou reçu aujourd'hui a plus de valeur qu'un franc dépensé ou reçu dans dix ans. Ce taux a en fait une double composante : la croissance productive du capital (qui fait que dans dix ans un même coût sera consenti au sein d'une économie plus productive et pèsera moins qu'aujourd'hui sur le bien-être) et la préférence dite pure pour le présent. Certains auteurs soutiennent que, au nom du développement durable, cette dernière composante devrait être nulle.

compromis viables économiquement, écologiquement et politiquement.

Limites de l'analyse coût-bénéfice comme langage de négociation

Il faut ici revenir plus longuement sur le problème de l'incertitude. Depuis Von Neumann et Morgenstern (1941) la décision dans l'incertain se formalise à partir d'un espace de décision défini par un ensemble des « états de la nature » possibles (S_i), un jeu d'actions (A_j) et un ensemble de conséquences de ces actions (C_{ij}) en fonction de l'état de la nature réalisé *in fine*. Une affectation de probabilités " π " à " S " est logiquement possible si les $\pi(S_i)$ sont indépendants de l'action du décideur. On cherche alors à minimiser les écarts par rapport à la stratégie qui aurait été choisie en information parfaite ; on peut étudier ensuite la valeur de l'information c'est-à-dire les gains apportés par une meilleure évaluation des probabilités.

Or les risques climatiques appartiennent à une classe de risques globaux d'environnement (Salles, 1993) qui relèvent d'un problème de décision sous controverses (Hourcade, Salles, 1992) en raison de la configuration suivante :

- Les préférences individuelles et collectives ne se forment pas par expérience directe du risque ; elles résultent de processus médiatiques qui impliquent la communauté scientifique et ses controverses, les mouvements d'opinion, les décideurs politiques et leur recherche d'effets d'annonce, la logique de mise en scène propre aux mass-média. Dans un tel contexte, la disponibilité à payer pour un niveau donné de précaution révèle surtout le pouvoir relatif de conviction de chacune des argumentations possibles, des "théories" en compétition à un moment donné.

- Certaines caractéristiques des états du monde futurs ne sont pas indépendantes de nos décisions actuelles : le panier des techniques disponibles en " $t+n$ " dépend en effet de nos politiques de Recherche et Développement et des signaux économiques (taxes, normes) en vigueur sur la période. Il en va de même pour besoins de déplacements, large-

ment déterminés par les plans d'urbanisme ou d'infrastructures. Cette interdépendance entre $\pi(S_i)$ et A_j atteint un point limite quand il y a effet de bifurcation dans la technologie ou les modes de consommation. Nul doute par exemple que la structure modale des transports en Europe de l'Ouest (place du rail par rapport à la route) dans deux décennies dépendra très largement de la capacité de la Suisse et de l'Autriche d'imposer, face aux pressions effectuées au nom de la construction européenne, que le transport de fret international sur leur territoire soit effectué par autoroute ferroviaire.

- Toute action collective suppose une fixation préalable des règles du jeu et du contexte institutionnel. Se crée alors une pression pour converger vers le sous-ensemble de « théories » disponibles le plus apte à supporter un tel accord, au sein d'un état donné des jeux d'influence. Il y a ainsi une suspension partielle des controverses (pas d'action anti-effet de serre sans admettre l'existence d'un risque non nul), mais il n'y a dès lors aucune garantie que l'accord passé s'avère *in fine* fondé écologiquement et économiquement.

- Dans un tel contexte de controverses scientifiques compliquées de considérations éthiques, l'incertitude ouvre un espace stratégique pour les acteurs, chacun se référant à la « théorie » susceptible de maximiser son avantage³. La compétition se fait non plus directement sur les biens et techniques, mais sur les théories et les débats d'experts : un tel fera du véhicule électrique une priorité « anti effet de serre » quand tel autre fera valoir le risque qu'une taxe sur le carbone ne remette en selle le nucléaire à l'échelle mondiale.

Il en résulte ce que P. Roqueplo a appelé une configuration de "risque inversé" où les acteurs sont moins sensibles au risque environnemental en tant que tel qu'à sa manipulation stratégique. Par crainte de décisions arbitraires imposées au nom d'un futur controversé, on peut aboutir à une paralysie générale en raison d'un jeu de controverses sans fin en l'absence d'information capable d'emporter la conviction de tous. C'est ce risque de paralysie que peut exacerber une négociation structurée autour du schéma coût-bénéfice.

Appliquée à l'effet de serre, une analyse coût-bénéfice repose en effet sur trop de paramètres non prévisibles ou non directement observables pour aider à la coordination des anticipations et à l'émergence d'un consensus :

- non linéarités des liens entre émissions, concentrations et changement climatique : le caractère mathématiquement chaotique du système de même que le fait que dix chocs climatiques soient à plusieurs reprises survenus dans le passé⁴ suggèrent que la prévision pourrait se heurter ici à des obstacles insurmontables, en tous cas si le mot prévision est défini comme synonyme de caractérisation du climat à une date $t+n$ donnée. Les modèles existants sont surtout des outils permettant de conduire des expériences fictives (Roqueplo, 1993) ou des expériences de modélisation (Académie des Sciences, 1990). Or, lorsqu'on utilise leurs résultats dans des calculs coûts-bénéfices, on les interprète nécessairement comme décrivant une trajectoire temporelle et on leur confère "en passant" une capacité prédictive ;

- non linéarités des impacts du changement climatique : la thèse initiale de Nordhaus (1982) sur l'inutilité d'une action préventive reposait sur l'idée que les coûts des dommages seraient fort modérés puisque l'activité la plus directement touchée, l'agriculture, ne représente qu'une part mineure du produit économique. Une telle thèse reposait en fait sur deux erreurs d'agrégation : en raisonnant sur la température moyenne, on néglige la grande hétérogénéité géographique du réchauffement et les chocs à l'échelle locale ; en raisonnant sur la seule valeur agrégée de l'agriculture, on néglige les effets de propagation de chocs sectoriels ;

- ainsi, toute augmentation de l'irrégularité de la pluviométrie ou de la fréquence des cyclones et orages peut se traduire par des effets en chaîne : une vendange peut être totalement détruite par un orage de grêle et un doublement ou un triplement de leur fréquence peut fragiliser toute une économie régionale. Une tension sur l'offre de nourriture peut entraîner une hausse des prix des biens alimentaires suffisante pour affecter progres-

sivement les autres secteurs. Enfin, la fragilité des zones à climat semi-arides ou méditerranéen fait qu'une légère baisse du régime des pluies peut entraîner de fortes tensions migratoires, du Sud au Nord mais aussi entre pays en développement, avec des conséquences politiques dont il est fort difficile d'évaluer le coût économique ;

■ contenu et instabilité des fonctions de préférence : théoriquement, un bilan coût-bénéfice doit prendre en compte l'ensemble des arguments de la fonction d'utilité des agents et les économistes de l'environnement connaissent les limites des méthodes dont ils disposent pour "révéler" les préférences des agents lorsque celles-ci portent sur des services non-soumis à échange marchand directement observables. Ce problème classique est ici surdéterminé par celui du « cycle de vie politique des crises environnementales » (Scemini, 1988), cycle qui n'est que très peu corrélé avec le rythme réel des dégradations ou avec celui du progrès des connaissances. On passe ainsi de périodes de sous-estimation des risques (sous-concernement) à des phases de « sur-concernement » pendant lesquelles un sentiment d'urgence entraîne de fortes pressions pour des décisions immédiates. En langage économique, ceci se traduit par une grande instabilité de la disponibilité à payer pour la prévention des risques ;

■ poids des paramètres non observables dans l'évaluation des coûts de réduction des émissions : les non spécialistes ont souvent tendance à considérer que ces coûts relèvent de données plus aisément objectivables. Ce n'est qu'en partie vrai car leur évaluation est très sensible à un certain nombre de paramètres (Dean, 1993), comme le poids accordé aux prix dans l'orientation du progrès technique par rapport au progrès technique dit "autonome", ou comme la date d'introduction de technologies *backstop*⁵, les effets secondaires de la baisse des prélèvements obligatoires sur l'emploi permise par l'adoption d'une taxe-carbone ou enfin les « coûts de transaction » pour l'adoption de technologies supérieures (par exemple la suppression des barrières à l'adoption d'équipements à haute efficacité énergétique).

Au total, on peut donc légitimement décrire autant de scénarios de référence qu'il y a de conjectures possibles, d'opinions d'experts ou de choix de valeurs et calculer autant de niveaux des efforts de réduction des émissions optimaux qu'il y a de trajectoires de base. On pourrait, certes, imaginer de réduire la pluralité des scénarios en leur affectant des distributions de probabilité, mais nous avons vu que ceci est scientifiquement illégitime en raison des bifurcations possibles dans les orientations à long terme du développement (dominante modale dans les transports, modes d'occupation des sols, etc.). À cela se rajoute un obstacle au niveau procédural puisque aucun pays n'aura intérêt à révéler qu'une voie de développement spontanément moins intensif en émissions est à sa disposition : il pourrait craindre alors que, cette voie étant prise comme scénario de base, on ne le contraigne à opérer des baisses d'émissions additionnelles qui nécessiteraient alors des mesures nettement plus coûteuses que celles auxquelles s'engagerait un pays qui aurait à lancer la négociation réussie (sur son niveau de réduction) à partir d'un scénario spontanément moins vertueux.

Il y a ainsi grand risque que s'enclenche un processus auto-négateur où, chaque acteur ayant intérêt à mettre en évidence le coût élevé de réductions d'émissions qu'il aurait à opérer, c'est l'impossibilité de l'action qui serait en fait démontrée. S'en tenir à un langage coût-bénéfice reviendrait à faire un double pari : le premier sur l'émergence d'un processus coopératif minimisant l'utilisation stratégique de l'information, ce qui est peu réaliste si on considère à quel point la négociation concerne des pays très hétérogènes par la richesse, le potentiel technique et le niveau dépendance vis-à-vis des énergies fossiles ; le second pari porte sur la capacité de la science à fournir à temps une connaissance à même de réduire suffisamment les plages de controverses.

Vers un processus séquentiel de décision

Pour essayer de sortir de cette impasse nous partons d'une métaphore comparant les

3. Cette manipulation stratégique de l'incertitude était déjà suggérée par Allais (1953).

4. Onze fois en 25 000 ans il y a eu de brusques changements du froid au chaud et inversement avec une amplitude de 7°C en quelques décennies.

5. Technologies non émettrices de GES et massivement substituables aux technologies actuelles.

rationalités de comportement de deux conducteurs.

L'approche "coût-bénéfice" appliquée sur le très long terme⁶ se rapproche du comportement d'un champion de formule 1 à l'entrée d'une série de virages d'un circuit comportant des passages à l'aveugle. Sa « fonction objectif » est de maximiser sa vitesse dans un contexte d'incertitudes non négligeables sur la présence d'huile ou de gravillons dans les courbes, l'adhérence des pneus ou les réactions du conducteur qui le précède. Mais il tire de son expérience une sorte de « connaissance statistique » et son comportement est assimilable à un calcul d'optimisation : il opte d'entrée pour une trajectoire optimale en tenant compte implicitement de distributions de probabilités sur les paramètres incertains, se fiant à son expérience pour rester dans la limite des possibilités d'adaptation permises par ses réflexes.

Tel n'est pas bien entendu le cas du conducteur qui ignore s'il va trouver une plaque de verglas dans un virage surplombant un précipice sur une route de montagne et si une voiture venant en sens inverse ne risque pas de limiter ses possibilités d'adaptation. Lui aussi veut maximiser sa vitesse, mais son comportement est tout autre ; il lâche l'accélérateur, presse légèrement la pédale de frein, prêt à ralentir plus fortement en cas de brillance du verglas, à réaccélérer dans le cas contraire ; un calcul de probabilité risquerait en effet de l'acculer au choix entre le précipice et la collision. Les risques étant trop contrastés, la distribution de probabilité trop inconnue et l'information utile risquant de venir trop tard en raison de l'inertie du véhicule, le comportement raisonnable n'est alors pas de choisir une trajectoire optimisée une fois pour toute, comme dans une « décision à un coup », mais d'opter pour un processus séquentiel où les premières décisions visent à augmenter le temps d'apprentissage et harmoniser vitesse du véhicule et amélioration de l'information.

Les économistes ont développé de nombreux efforts théoriques allant vers l'approche séquentielle présentée ici. À travers

le concept de valeur d'option (Arrow et Fischer, 1974 ; Henry, 1974), ils ont opéré une mutation dans la représentation de la rationalité publique et montré l'intérêt économique de repousser dans le temps des choix irréversibles, de même que la valeur de décisions réversibles permettant de s'adapter en fonction de nouvelles informations. On n'optimise plus d'entrée toute "l'histoire" à venir et on doit tenir compte à la fois des bifurcations et des processus cognitifs. C'est la même intuition que l'on retrouve avec les « décisions prises à temps » dans les modèles de viabilité (Aubin, 1991).

Mais force est de reconnaître que ces efforts ne débouchent pas sur une boîte à outil aussi aisément mobilisable que le calcul standard et que les décideurs politiques ont de la peine à se satisfaire de réponses qui ne sont pas formulées en termes de choix optimal.

Pour offrir une alternative, il faudrait donc démontrer qu'une problématique de décision séquentielle n'a pas qu'un pur intérêt heuristique et peut servir d'appui aux décisions. Nous ne prétendons pas y parvenir ici ; nous essayerons simplement de faire un pas dans ce sens à partir d'un modèle numérique et de mieux comprendre les liens entre les trois variables stratégiques que sont les « potentiels sans regret » à court terme, l'innovation technologique, et l'investissement en recherche scientifique. Il s'agit en fait de montrer qu'il est possible d'agir rationnellement « sans toute connaissance de cause », sans exiger que soit effectuée, préalablement à une décision collective, une réduction trop arbitraire des incertitudes et des divergences sur le futur. On rappellera cette observation que pourrait faire tout spécialiste de la prospective habitué aux méthodes quantitatives : « We do not need to be overly concerned by our inability to predict the detailed character of the energy system several decades into the future. Uncertainty is important only to the extent that it confounds near-term decision-making. Today's decision appear to be relatively insensitive to some of the most controversial longer-term uncertainties in the greenhouse debate » (Manne et Richels, 1993).

MODÈLE DE DÉCISION EN INFORMATION IMPARFAITE ET CONTRAINTES D'INERTIES

Le modèle qui suit n'a d'autre prétention que de styliser un des futurs possibles pour aider à clarifier la nature logique du problème posé. Il est agrégé à l'échelle mondiale et sa composante économique est calibrée sur les ordres de grandeur courants en matière d'élasticité émissions-revenu et de coûts de réduction ; sa composante climatique est des plus frustes : un gaz à effet de serre composite, l'équivalent CO₂, et un passage émissions-concentration calé sur la version 1992 du scénario du GIEC⁷ avec la collaboration de G. Mégie⁸. Ce modèle décrit tout d'abord :

■ Un scénario de référence où les concentrations de GES sont fonction d'un *trend* d'émissions lui-même lié à la croissance économique. Dans la simulation exposée ci-après, le taux de croissance de l'économie mondiale est de 3 % par an et l'élasticité des émissions sur la croissance économique est de 0.66, soit la borne supérieure des scénarios GIEC 1992.

■ Un panier des techniques⁹ prévisible tel qu'il résulte d'innovations ne comportant pas d'effort spécifique vers des techniques "sans-carbone". Le déclenchement du programme de réduction génère une nouvelle courbe des concentrations sous forme d'une parabole à concavité tournée vers le bas (décélération constante pour représenter les inerties) qui retrouve au bout d'un siècle les niveaux pré industriels. Le chronogramme des dépenses associé à ce programme est connu. Plus on retarde l'action, plus ces dépenses sont importantes car leur montant croît comme le cube des baisses des émissions nécessaires¹⁰.

■ Une fonction non linéaire pour le coût des dommages ; cette version du modèle l'exprime sous forme binaire : en dessous d'une concentration de 500 ppm, le coût des dommages est très faible (0,05 % du produit intérieur brut - PIB), et, au delà, il prend une allure catastrophique pour atteindre 15 % du PIB. Ce chiffre n'a d'autre but que de figurer numériquement une "surprise" ; il correspond

à un gel de la croissance économique pendant cinq ans et une perte moyenne de 2 % du PIB par rapport à un régime permanent, soit l'ordre de grandeur retenu par Frankhauser et Pearce (1992) ou Nordhaus (1992).

À partir de ces informations, le modèle décrit un comportement où l'humanité suit une rationalité économique standard et cherche à calculer la date optimale de la décision de lancement du programme de

baisse des émissions ; en comparant son coût actualisé à l'utilité de l'espérance mathématique du coût des dommages évités. L'espérance mathématique des dommages est subjective ; on considérera qu'elle dépend de la qualité de l'information et que celle-ci croît linéairement pour devenir parfaite au bout de Θ années : si $t \rightarrow \Theta$, $\pi(15\%) \rightarrow 1$ avec $40 < \Theta < 100$. La fonction utilité de cette espérance suit une spécification $U[E(D)] =$

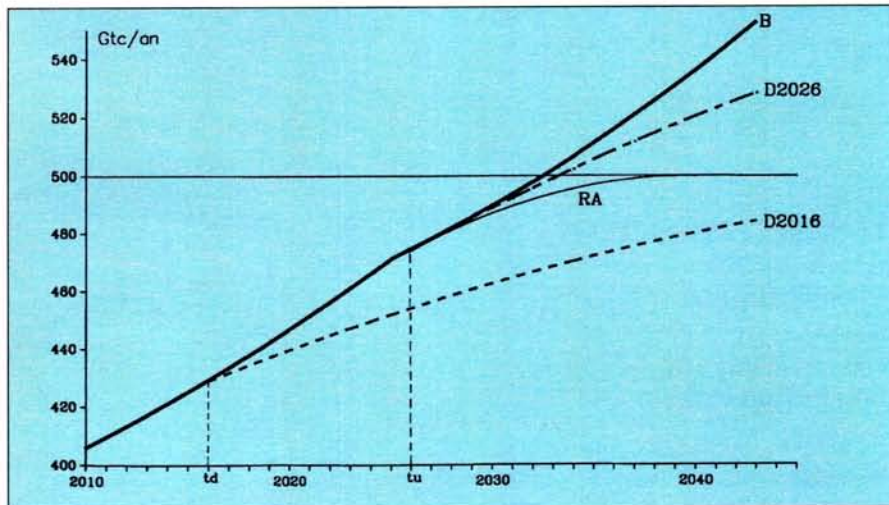


Figure 1 - Scénarios de concentration.

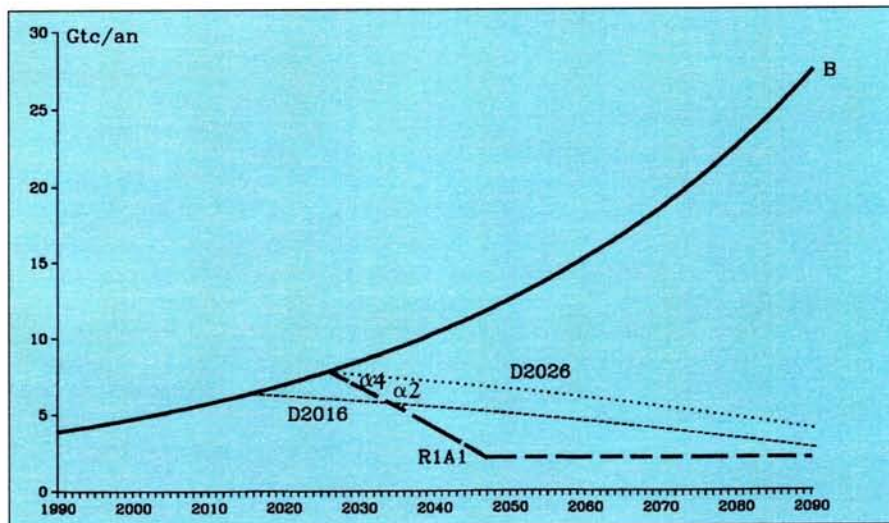


Figure 2 - Scénarios d'émissions

Gtc : giga tonnes de carbone

B : scénario de base

D₂₀₂₆, D₂₀₁₆ : scénarios correspondant à des décisions prises en 2026 et 2016 respectivement

RA : scénario de réduction accélérée

6. Rappelons qu'on envisage ici des périodes allant jusqu'à 2030 voire 2100.

7. GIEC : Groupe Intergouvernemental pour l'Étude des Climats.

8. Une version plus élaborée et à visée plus opérationnelle, est en cours de construction dans le cadre du GDR « Environnement, Ressources et Développement à long terme » à partir d'un modèle bi-dimensionnel de passage émissions-concentrations créé par D. Haugustaine au laboratoire d'aéronomie du CNRS et les modules d'activité "Nexus" élaborée au CIRED.

9. On appellera ici technique à la fois les techniques de réduction des émissions et les modifications dans les modes de consommation.

10. On approxime ainsi le fait que, dans les évaluations courantes, le coût marginal croît quadratiquement.

$E(D) \times [E(D)/(0,1 \times \text{PIB})]^i$ retenue comme proxy acceptable pour représenter des phases de "sous-réactivité" lorsque cette espérance subjective des coûts des dommages est faible et des phases de « sur-réactivité » lorsqu'elle est supérieure à 10 % du PIB.

Le coût actualisé du programme dépend donc de la date de la décision t_d : d'un côté les dépenses augmentent au fur et à mesure de son report, mais de l'autre le taux d'actualisation diminue leur valeur actuelle. On montre que la décision est reportée indéfiniment si le taux d'actualisation retenu est supérieur au produit du taux de croissance des émissions et de l'exposant de la fonction qui lie le coût total du programme au niveau absolu de l'effort de réduction nécessaire : dans le cas présent, ceci n'arrive que si $i > 0,06 = 3 \times 0,02$, c'est-à-dire un taux trop élevé pour être retenu sur le très long terme ; si la fonction était quadratique on aurait $i > 0,04 = 2 \times 0,02$.

Ce modèle ne comporte aucun mécanisme pour que la date de la décision t_d soit inférieure à t_u , c'est-à-dire la date ultime après laquelle seule une accélération du programme de réduction permet d'éviter la ligne des dangers. Il y a en fait plusieurs configurations possibles en fonction des paramètres choisis : configurations "sans problème" où la déci-

sion est prise "à temps", "sans solution" où $U[E(D)]$ reste toujours inférieur aux coûts de prévention. Mais la configuration médiane est celle d'une « fenêtre de tir » comme dans le scénario des figures 1 et 2. Dans ce cas, on a $t_d = 2026 > t_u = 2016$ (avec $i = 5\%$). Le modèle calcule alors un programme accéléré dont la conséquence immédiate est une accélération de l'obsolescence des équipements existants. Dans la mesure où il s'agit essentiellement de surcoûts d'investissements, il est relativement aisé de démontrer que l'ordre de grandeur du coût incremental de cette accélération est donné par un coefficient multiplicateur proportionnel au rapport $t\alpha^2/t\alpha$.

STRATÉGIES SANS REGRET ET VALEUR DU TEMPS D'APPRENTISSAGE

Coûts de l'inertie et valeur de l'information

On remarquera d'abord que, la courbe des concentrations se comportant grossièrement comme l'intégrale de la courbe des émissions, décaler la décision de dix ans oblige ensuite à accélérer par un facteur deux le pro-

gramme de réduction (cf. les angles α_1 et α_2 de la figure 1). Même si ce résultat dépend du fait que nous avons choisi 500 ppm comme ligne des dangers, il confirme l'importance du binôme vitesse acquise-date d'occurrence des risques.

Une deuxième conclusion importante est que le nouveau profil d'émission t_d conduit au bout de deux décennies à des niveaux d'émissions nettement inférieurs à ceux du profil t_u . Très concrètement, déclencher le programme de réduction en t_u permet de garder des niveaux élevés de consommation d'énergies fossiles pendant l'essentiel du siècle prochain tout en restant en deçà de la ligne des dangers alors que le décaler de dix ans oblige à descendre très rapidement vers les 3 Gt/an d'émission¹¹.

Les surcoûts d'une telle décélération amènent à s'interroger sur sa viabilité. Un test peut être fait en considérant que, s'agissant de dépenses d'investissements, il est impossible qu'elles dépassent le quart de la formation brute de capital fixe. En admettant une formation brute de capital fixe (FBCF) de 20 % du PIB une limite de non viabilité économique est alors atteinte quand les dépenses annuelles du programme dépassent 5 % du PIB. C'est le cas ici en 2032, ce qui signifie que, en l'absence de technologies *backstop* disponibles à cette date, on risque des tensions économiques et politiques graves.

Même si cet exercice n'a qu'une valeur heuristique, les tests effectués permettent de faire apparaître que le paramètre le plus sensible, bien avant le taux d'actualisation, est la date d'arrivée de l'information parfaite sur l'existence de risques. La figure 3 décrit l'évolution des coûts réels de la réduction en les calculant, *ceteris paribus*, en fonction du paramètre Θ . Cette courbe est plate pour $\Theta < 40$ ans (la décision est alors prise avant t_u) mais croît fortement pour $\Theta > 50$ ans. On peut interpréter ce résultat en termes de valeur de l'information scientifique : la dérivée de cette courbe décrit en effet l'intérêt économique de réduire d'un an le délai d'obtention de l'information pertinente : entre 50 et 60 ans par

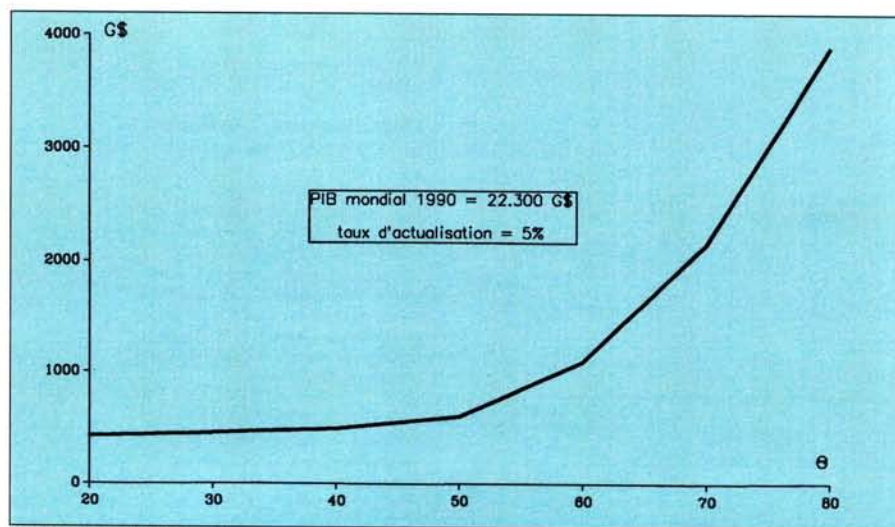


Figure 3 - Valeur de l'information.

⊙ : durée nécessaire pour obtenir une prédictibilité "parfaite" sur le climat.

exemple chaque année gagnée rapporte de l'ordre de 0,2 % du PIB, valeur qui s'élève à 0,76 % entre 70 et 80 ans. Traduits en \$/tC pour notre scénario central ($\Theta = 80$) ceci donne une valeur de l'information quasi identique à celle calculée selon une approche différente par Manne et Richels (1992) pour leur scénario à fort dommage potentiel : 17,8\$/tC contre 15\$/tC.

Ceci confirme bien sûr l'intérêt économique de l'investissement en recherche scientifique, mais contrairement à l'interprétation souvent faite du résultat de Manne et Richels, ne signifie pas qu'on puisse s'en tenir à ce seul type de décision. Le fait qu'une information scientifique précoce constitue la meilleure garantie contre des décisions suboptimales, n'empêche pas qu'il s'agit d'une variable fort incertaine. Il n'y a en effet pas de liaison linéaire entre l'investissement recherche et la croissance de nos capacités prédictives : sur de longues périodes il se peut en effet que progrès des connaissances ne soit pas synonyme de réduction des incertitudes.

L'historique du dossier ozone montre ainsi qu'une augmentation des "savoirs" peut se traduire par une complexification telle que, pour un temps, le scientifique voit diminuer sa capacité de pronostic (Mégie, 1992).

Approche séquentielle et valeur des décisions à court terme

S'en tenir à l'investissement scientifique n'offre donc pas d'assurance suffisante et revient à faire un pari sur le délai de mise à disposition de technologies *backstop* à bas coût. Or le consensus sur le caractère décisif du progrès technique présente la même ambiguïté que celui sur l'intérêt d'un progrès rapide des recherches sur le climat. Souvent en effet il débouche sur un plaidoyer pour l'attentisme puisque le progrès technique devrait à terme résoudre le problème à moindre coût. Or les technologies ne « tombent pas du ciel » et les tendances en cours suggèrent plutôt que la probabilité est faible d'une pénétration spon-

tanée de techniques peu intensives en carbone : les prix actuels des hydrocarbures en particulier donnent aux énergies fossiles un avantage suffisant sur leur substituts (bio-fuels, voiture électrique) pour décourager non seulement leur pénétration massive mais aussi des efforts constants de recherche et développement.

En fait, la dynamique technologique dépend des décisions d'aujourd'hui en matière de Recherche et Développement bien sûr, mais aussi de signaux prix orientant l'innovation. Au-delà, dans la mesure où, comme pour la recherche scientifique, il n'y a aucune garantie que les alternatives technologiques pénètrent "à temps", on ne peut contourner l'interrogation sur l'intérêt de baisses immédiates des émissions qui donneraient aux recherches sur le climat et à l'innovation le temps nécessaire pour déboucher sur des résultats positifs, qui nous permettraient d'augmenter notre temps d'apprentissage pour que s'harmonisent les cinétiques de la connaissance scientifique, du progrès technique et des modifications climatiques.

Le concept de "sans regret" utilisé par la littérature pour caractériser ces mesures signifie qu'elles doivent être à coût net faible ou nul et réversibles pour ne pas avoir à les regretter si le réchauffement climatique s'avère en définitive un problème mineur. Mais ce concept y est trop souvent présenté comme un *free lunch*, une sorte de "manne" qui viendrait résoudre gratuitement un problème difficile, et qui proviendrait des potentiels techniques "à coûts négatifs", c'est-à-dire des techniques à la fois moins émettrices et moins coûteuses.

L'économiste ne peut alors que venir tempérer cet optimisme des visions d'ingénieur en faisant remarquer qu'on ne peut ignorer les raisons qui font que des techniques pourtant "supérieures" ne sont pas d'ores et déjà utilisées. En fait l'existence de tels potentiels suppose que l'économie réelle est "suboptimale" : asymétries d'information, barrières à l'entrée mises par certains acteurs industriels, législation. Or, supprimer des imperfections de

11. Le même mécanisme a été mis en évidence par Mégie (1992) dans le cas de l'ozone : des décisions de réduction des CFC prises 10 ans plus tôt aurait permis de leur conserver une part de marché de 20% sans déséquilibrer le système.

marchés ne peut se faire, sauf exception, sans supporter des coûts de transaction vis-à-vis de certains acteurs économiques comme le montre par exemple la complexité des schémas d'incitation pour la promotion de l'efficacité énergétique.

Cette équivoque étant levée, on peut alors élargir le contenu du « sans regret » pour y inclure, à côté des mesures techniques, la réduction des prélèvements obligatoires sur le travail, permise par une taxe carbone et les externalités positives sur d'autres dimensions des choix publics comme la sécurité d'approvisionnement énergétique ou des problèmes d'environnement à l'échelle régionale ou locale.

Reste alors à démontrer que de telles mesures ne sont pas quantitativement négligeables : une stabilisation des émissions mondiales pendant vingt ans ne déplace en effet les concentrations que de huit ans seulement. Pour ce faire, il convient de passer de cette évaluation purement physique à l'étude de la valeur économique du temps d'apprentissage ainsi gagné. On reviendra donc au scénario précédent en supposant qu'un tel programme « sans regret » est lancé dès aujourd'hui conjointement à des politiques d'innovation permettant de réduire le prix relatif des technologies peu émettrices à un taux de 0,5 %/an ce qui constitue une hypothèse fort prudente.

On montre alors que les coûts actualisés du programme de réduction précédent sont réduits de 10 % ; ceci suffit à rapprocher de six ans la date de déclenchement de ce programme et à diminuer de moitié les besoins d'accélération. Au gain de 50 % ainsi enregistré se rajoute alors le fait que la frontière de viabilité économique de ce programme est déplacée non pas de huit ans mais de vingt-quatre ans. Or, devoir disposer de technologies *backstop* en 2056 au lieu de 2032, comme dans le scénario initial, augmente fort sensiblement les chances de gagner la course de vitesse engagée ; un taux de 1 % par an de progrès technique suffit à diminuer suffisamment les coûts de la baisse des émissions de GES pour que le programme de réduction soit

déclenché avant 2016 ; ceci suffit à éviter toute crise de viabilité.

CONCLUSION

Ce qui précède visait à montrer comment une approche séquentielle de la décision permettait de donner un contenu opératoire au principe dit de précaution en articulant la mise en œuvre immédiate des potentiels de réduction à coût faible ou nul avec des investissements en recherche sur le climat et des efforts de Recherche et Développement sur les techniques à bas contenu en carbone. Trois conclusions additionnelles méritent d'être tirées sur trois registres différents :

- observabilité et négociabilité : le point central d'une approche séquentielle pour le pilotage d'un développement durable est d'éviter de se prononcer prématurément sur le long terme et de le forclure par insouciance ou précaution exagérée. Du point de vue de la négociabilité des décisions, le pari implicite fait ici est que l'on peut faire l'économie d'un *regressum ad infinitum* de controverses sur le long terme et de favoriser les convergences en centrant les débats sur des paramètres à plus court terme, plus aisément « contrôlables » à partir de connaissances stabilisées ou plus simples à acquérir ;

- des « potentiels sans-regrets » aux « regrets potentiels » : l'accent mis sur la mobilisation de potentiels de réduction à très bas coût susceptibles de faire gagner un temps d'apprentissage à haute valeur ajoutée potentielle doit être complété par une attention symétrique portée aux décisions à court terme susceptibles de provoquer des bifurcations susceptibles d'augmenter les coûts futurs d'adaptation ; une ouverture des marchés internationaux par exemple, non accompagnée d'investissements ferroviaires ou fluviaux, peut se traduire d'ici à vingt ans par une polarisation sur le frêt routier difficilement réversible en raison de l'importance des intérêts investis ;

- « information des décisions » et stra-

tégies scientifiques : force est de reconnaître que les efforts de modélisation, surtout en matière économique, sont très fortement soumis à la forme même des questions posées par les décideurs publics ou privés. Or, raisonner en termes de coût-bénéfice sur le très long terme risque fort de déboucher sur des modèles intégrés activités humaines-climat exigeant de passer outre quelques précautions scientifiques minimales. On le voit désormais dans la mise sur le marché de l'expertise internationale de modèles bouclés prétendant régionaliser les impacts économiques des changements climatiques. Ces modèles répondant à une demande immédiate de décideurs mal informés risquent donc d'être utilisés hors de leur domaine de contrôle scientifique. Une logique de décision séquentielle respectant les limites de nos ignorances devrait amener à polariser les efforts de recherche sur des modèles plus partiels visant à mieux cerner les premières actions à entreprendre vis-à-vis de risques potentiels importants. Pour limités qu'ils puissent paraître, ces premiers pas sont décisifs et difficiles ; c'est pourquoi il serait dangereux de ne pas y consacrer l'essentiel des moyens de recherche qui sont à notre disposition.

Article reçu le 14 janvier 1994.

Références

- Académie des Sciences, (1990). *L'effet de serre et ses conséquences climatiques, évaluation scientifique, Rapport n° 25, octobre.*
- Allais M., (1953). *Le comportement de l'homme rationnel devant le risque. Critique des postulats de l'école américaine, Econometrica, 21, 503-546.*
- Arrow K.J., Fischer A.C. (1974), *Environmental preservation, uncertainty and irreversibility, Quarterly Journal of Economics, May, 312-319.*
- Aubin J.P., (1991). *Viability Theory, Basel, Birkhäuser, 526 p.*
- Cline W.R., (1992). *The Economics of Global Warming, Washington Institute for International Economics, 400 p.*
- Dean A., (1993). *Costs of cutting CO2 emissions : evidence from 'top-down' models. International Conference on the Economics of Climate Change. Paris, OECD, 1994, 18 p.*
- Ferry L., (1992). *Le nouvel ordre écologique, Paris, Grasset, 276 p.*
- Grubb M., Ha Duong M., Chapuis T. (1993). *Optimising Climate Change Policy Responses on Rates and Risks, Technology and Timing, Communication à IIASA Workshop, Interrogative Assessment of Mitigation, Impacts and Adaptation to Climate Change, Laxenburg, Autriche, oct. 20 p.*
- Henry C. (1974). *Investment Decision under Uncertainty : the 'irreversibility effect', American Economic Review, 64, n°6, 1006-1012.*

Henry C. (1989). Investment Projects and Natural Resources : Economic Rationality of Janus, *Ecological Economics*, 1, 117-135.

Hourcade J.-C., (1993). Economic Issues and Negotiation on Global Environment. Some lessons from the Recent Experience on Greenhouse Effect, In Carraro C. (ed.), *Trade, Innovation, Environment*, Kluwer.

Lenoir Y., (1992). *La vérité sur l'effet de serre. Le dossier d'une manipulation planétaire*, Coll. « Science et société », Paris, La Découverte, 174 p.

Manne A., Richels G.R., (1993). *The Economic Cost of Stabilising Global CO₂ Emissions : A Probabilistic Analysis Based on Expert Judgements*.

Manne A., Richels G.R. (1992). *Buying Greenhouse Insurance. The Economic Costs of Carbon Dioxide Emission Limits*, Cambridge, The MIT Press.

Mégie G., (1992). Changements globaux : incertitudes scientifiques, Séminaire du PRISTE - CNRS et du Programme ECLAT du ministère de l'Environnement, *Modélisation prospective, critères*

de décision et négociation internationale d'un développement durable ; le cas des risques climatiques, Paris.

Nordhaus W.D. (1992). How Fast Shall we Graze the Global Commons ? *American Economic Review*, 72 (2), 242-246.

Pearce D. (1990). Evaluating the Socio-Economic Impact of Climate Change : an Introduction. In *Climate Change - Evaluating The Socio-Economic Impacts*, OECD, Paris, 1993.

Roqueplo Ph., (1993). *Climats sous surveillance : limites et conditions de l'expertise scientifique*, Paris, Economica, 402 p.

Salles J.-M. (1993). *Décisions économiques et gestion collective des risques globaux d'environnement*, Thèse de doctorat EHESS, 1993.

Scemini (1988). Environmental Politics and Anticipatory Strategies. In Simonis, U.E. (ed.) *Präventive Umweltpolitik*, Frankfurt M., New York, Campus, 289 p.

Von Neumann J., Morgenstern O. (1944). *Theory of Games and Economic Behavior*, Princeton University Press.

ABSTRACT : Collective decision and climate change

This paper aims at framing the collective decision problem in the face of climate change. It shows why it would be irrelevant to handle it in the form of a classical decision under uncertainty framework where a cost-benefit analysis is carried out including probability distribution on damages and risk aversion coefficients. A sequential approach to policy making is then proposed as an alternative in order to account for the inertia of socio-economic dynamics and the value of information.

A simple model illustrates the gap between these two approaches ; it shows the importance of combining the investments on climatic research, innovation policies and so-called "no regret" short term decisions. It shows the fact that, even if they can be considered as quantitatively moderate, these potentials have a critical impact on long term viability of development ; they embed a very high information value, lengthening the learning time vis-à-vis potentially major but controversial risks.