

# 9



## Eléments sur l'actualisation et l'environnement

Katheline Schubert

March 2004

# ENVIRONMENTAL ECONOMICS & MANAGEMENT MEMORANDUM



**UCL**  
Université  
catholique  
de Louvain

Chair Lhoist Berghmans  
in Environmental Economics  
and Management

Center for Operations Research  
and Econometrics (CORE)

## Environmental Economics & Management Memoranda

1. Thierry BRECHET. Entreprise et environnement : des défis complémentaires ? March 2002.
2. Olivier GODARD. Le risque climatique planétaire et la question de l'équité internationale dans l'attribution de quotas d'émission échangeable. May 2003.
3. Thierry BRECHET, Marc GERMAIN et Philippe MONTFORT. Spécialisation internationale et partage de la charge en matière de réduction de la pollution, IRES discussion paper n°2003-19.
4. Marc GERMAIN, Philippe TOINT, Henry TULKENS and Aart DE ZEEUW. Transfers to sustain dynamic core-theoretic cooperation in international stock pollutant control, *Journal of Economic Dynamics & Control*, (28) 1, 2003.
5. Marc GERMAIN and Vincent VAN STEENBERGHE. Constraining equitable allocations of tradable CO<sub>2</sub> emission quotas by acceptability, *Environmental and Resource Economics*, (26) 3, 2003.
6. Thierry BRECHET et Marc GERMAIN. Les affres de la modélisation. May 2002.
7. Marc GERMAIN. De l'impact du principe d'additionnalité et des scénarios de référence dans le cadre du Mécanisme de Développement Propre. January 2003.
8. Marc GERMAIN. Modélisations de marchés de permis de pollution. July 2003.
9. Katheline SCHUBERT. Eléments sur l'actualisation et l'environnement. March 2004.

# Eléments sur l’actualisation et l’environnement

Katheline Schubert

EUREQua, Université de Paris 1

E-mail: schubert@univ-paris1.fr

Mars 2004

## 1 Introduction

Il n’est pas besoin de rappeler à quel point le choix d’un taux d’actualisation est important dans l’évaluation de projets. Mais ce choix est d’autant plus crucial que l’horizon sur lequel porte le projet est long, ce qui explique pourquoi la discussion sur le taux d’actualisation approprié a connu un regain de vigueur à propos de projets à caractère environnemental caractérisés par un très grand éloignement dans le temps des coûts et/ou des bénéfices, réduits à un niveau insignifiant par l’actualisation. Il en est ainsi par exemple en ce qui concerne les projets destinés à contrôler l’accumulation de gaz à effet de serre dans l’atmosphère ou en limiter les effets, ou ceux qui ont trait au stockage des déchets nucléaires, ou encore ceux concourant à la préservation de la biodiversité. Cette discussion a été l’occasion d’affirmer des positions très tranchées (ainsi, il faudrait utiliser un taux d’actualisation nul pour les projets environnementaux, positif pour les autres, ou, position plus récente, il faudrait utiliser un taux d’actualisation décroissant au cours du temps ...) mais a aussi parfois mis à jour des incohérences et des confusions dans les concepts (de quel taux d’actualisation parle-t-on ?). Nous proposons ici une synthèse de la littérature sur l’actualisation et l’environnement<sup>1</sup>. On trouvera dans l’ouvrage édité par Portney et Weyant (1999) les détails des termes du débat à la fin des années 90, et dans Groom *et al.* (2003) une tentative similaire à la notre.

Le principe de base sur lequel repose l’actualisation est simple : “un euro tout de suite” est généralement préféré à “un euro dans le futur”, car on peut toujours trouver un producteur prêt à investir cet euro pour en tirer à terme une valeur supérieure, et, symétriquement, un consommateur acceptant de renoncer à un euro de consommation immédiate en faveur d’une consommation future de plus grande valeur. Du point de vue du producteur, le concept qui traduit ce fait est le taux de rendement marginal du capital, tandis que pour le consommateur, c’est le taux d’actualisation privé de la consommation. Tous deux traduisent rationnellement le prix du temps, pour les deux types d’agents. L’efficacité intertemporelle de l’économie requiert alors que le taux de rendement marginal du capital soit à tout instant le même dans tous les secteurs et soit égal au taux d’intérêt du marché, et que le taux d’actualisation de la consommation leur soit aussi égal.

---

<sup>1</sup>Ce travail actualise et approfondit Hiriart et Schubert (1998).

La discussion peut ensuite s'orienter dans deux directions, non exclusives : Que se passe-t-il quand on s'intéresse non plus aux décisions privées mais aux décisions publiques ? Que subsiste-t-il de l'unicité des taux quand l'économie n'est plus une économie de premier rang mais qu'y règnent différentes imperfections ?

Pour discuter des décisions publiques, il faut avant tout faire un choix de nature éthique, celui de la fonction de bien-être social. Une allocation intertemporelle optimale des ressources est alors une allocation pour laquelle cette fonction est maximale, et l'on peut montrer que les conditions nécessaires d'optimalité entraînent de nouveau l'unicité des taux, le taux d'escompte de la consommation étant maintenant le taux social, défini de manière appropriée en fonction du critère de bien-être social retenu. Il existe de multiples raisons qui peuvent faire diverger le taux d'escompte social et le taux privé. En effet, le premier doit refléter le choix collectif relatif à l'appréciation du futur. Celle-ci peut différer de l'appréciation privée : l'Etat peut par exemple adopter une attitude tutélaire s'il juge les agents privés trop myopes, ou pas assez altruistes envers les générations futures.

Les économistes ont commencé à reconnaître dès les années soixante que dans une économie présentant des imperfections de marché, aucun taux d'actualisation unique ne peut être pris pour une mesure des quatre concepts simultanément (taux de rendement du capital, taux d'intérêt de marché, taux d'actualisation privé et public de la consommation). Par exemple, le taux d'intérêt n'est pas égal au taux de rendement privé du capital, en raison de l'imperfection du marché des capitaux et de la fiscalité. Le taux d'actualisation approprié dépend alors du type d'imperfection qui prévaut sur le marché et des distorsions qui causent une mauvaise allocation des ressources, ce qui rend malaisée une définition théorique générale.

Le plan de l'article est le suivant.

La section 2 rappelle la définition théorique du taux d'escompte social de la consommation dans le cadre du modèle utilitariste escompté, largement dominant, et montre que celui-ci n'est pas un "objet éthique premier", selon les termes de Dasgupta (2001), mais dépend du choix du numéraire, du taux de préférence pure pour le présent de la société, des caractéristiques de la fonction d'utilité et enfin des prévisions de croissance.

Nous avons vu que la pratique de l'actualisation est souvent présentée comme fâcheuse du point de vue des préoccupations relatives à l'environnement. Dans la littérature de l'économie de l'environnement, on peut identifier trois approches principales pour résoudre ce problème. La première, présentée dans la section 3, consiste, en conservant un cadre d'équilibre général, à remplacer le critère de bien-être social utilitariste escompté par un autre critère, en se fondant sur des considérations d'équité intergénérationnelle. La section 4 expose la deuxième, qui conteste l'idée d'un taux de préférence pure pour le présent constant et justifie par des considérations psychologiques, ou liées à l'hétérogénéité des agents, ou encore éthiques, sa décroissance au cours du temps. La troisième enfin (section 5) se place en équilibre partiel et justifie par l'incertitude sur le futur l'utilisation d'un taux d'escompte de la consommation de long terme faible.

La section 6 conclut.

## 2 Le taux d'escompte social

Dasgupta, Mäler et Barrett (1999) donnent la définition suivante : "Let a numeraire be chosen for the accounting price system. At any given date, the social rate of discount is

the percentage rate at which the accounting price of the numeraire declines. Formally, let  $R(t)$  be the quantity of the numeraire to be delivered at time  $t$  along the optimal programme. Assuming continuous time and a differentiable accounting price,  $-\frac{1}{R(t)} \frac{dR(t)}{dt}$  is the social rate of discount at  $t$ .

Il faut spécifier précisément ce qu'est le prix fictif du numéraire : il est défini comme la valeur d'un incrément du numéraire à une date  $t$  en termes de sa contribution à la fonction objectif, le long d'un sentier optimal (voir par exemple Heal, 2001).

La pratique très majoritaire des économistes consiste à admettre que la fonction de bien-être social intertemporel est du type *utilitariste escompté* et s'écrit  $\int_0^\infty e^{-\rho t} u(t) dt$  où  $u(t)$  est l'utilité instantannée en  $t$ . Cette formulation simple et élégante a été proposée par Paul Samuelson en 1937 pour représenter l'objectif intertemporel de l'agent représentatif. Les économistes y ont adhéré immédiatement, et l'ont transposée en terme d'objectif social, de critère normatif, ce contre quoi Samuelson lui-même mettait en garde. Dans cette formulation, les motifs psychologiques variés qui peuvent expliquer la préférence pour le présent (voir Frederick, Loewenstein et O'Donoghue, 2002) sont pour la première fois amalgamés en une variable unique, le *taux de préférence pure pour le présent*  $\rho$ .

Prenons l'utilité comme numéraire. Alors, la quantité de numéraire qu'il faut payer aujourd'hui pour une unité de numéraire en  $t$  est simplement  $R(t) = e^{-\rho t}$ . Cette quantité est le facteur d'escompte de l'utilité, et le taux d'escompte correspondant,  $\rho$ , est le *taux d'escompte de l'utilité*, ou encore, comme nous l'avons vu, le *taux de préférence pure pour le présent*. Il mesure l'impatience de la société. Il constitue un choix éthique.

On ne choisit généralement pas l'utilité comme numéraire, mais plutôt la consommation agrégée. On définit alors le *taux d'escompte de la consommation*  $\rho^C(t)$  comme le taux auquel le prix fictif de la consommation diminue. Ce prix est simplement la valeur présente de l'utilité marginale de la consommation en  $t$ .

Si l'utilité ne dépend que de la consommation i.e.  $u(t) = u(C(t))$ , on a  $R^C(t) = e^{-\rho t} u'(C(t))$  et donc :

$$\rho^C(t) = -\frac{1}{R^C(t)} \frac{dR^C(t)}{dt} = \rho + \eta(C(t)) \frac{\dot{C}(t)}{C(t)} \quad (1)$$

où  $\eta(C) = -\frac{Cu''(C)}{u'(C)}$  est l'élasticité de l'utilité marginale de la consommation (inverse de l'élasticité de substitution intertemporelle) et représente l'aversion de la société aux fluctuations de la consommation.

Dans le cas plus général où l'utilité dépend de la consommation et d'un capital naturel  $S(t)$  (stock de ressources naturelles, qualité de l'environnement, stock d'aménités environnementales...) on a  $R^C(t) = e^{-\rho t} u_C(C(t), S(t))$  et donc :

$$\rho^C(t) = -\frac{1}{R^C(t)} \frac{dR^C(t)}{dt} = \rho + \eta_{CC} \frac{\dot{C}(t)}{C(t)} + \eta_{CS} \frac{\dot{S}(t)}{S(t)} \quad (2)$$

où  $\eta_{CC} = -Cu_{CC}/u_C$  et  $\eta_{CS} = -Su_{CS}/u_C$  sont les élasticités de l'utilité marginale de la consommation. Le taux d'escompte de la consommation dépend ainsi du taux de préférence pure pour le présent et des taux de croissance de la consommation et du capital naturel. Comme l'élasticité  $\eta_{CC}$  est positive, un taux de croissance de la consommation positif entraîne toutes choses égales par ailleurs  $\rho^C(t) > \rho$ . C'est l'*effet de richesse*. À côté de cet effet apparaît l'influence du taux de croissance du capital naturel. Cette influence dépend du signe de  $\eta_{CS}$ , c'est-à-dire de l'opposé du signe de  $u_{CS}$ , qui caractérise lui-même

la complémentarité ou la substituabilité de la consommation et du capital naturel dans le bien-être. Selon la terminologie de Michel et Rotillon (1996), si la fonction d'utilité traduit un *effet de compensation* ( $u_{CS} < 0$ ) c'est-à-dire si une diminution du capital naturel entraîne une augmentation de l'utilité marginale de la consommation qui pousse les individus à consommer davantage, une diminution du capital naturel entraîne toutes choses égales par ailleurs  $\rho^C(t) < \rho$ . C'est l'inverse en cas d'*effet de dégoût*.

Pour l'analyse coûts-bénéfices intertemporelle, le taux d'escompte de la consommation n'est pas suffisant. Il faut également décrire l'évolution du système des prix relatifs, qui se réduit ici au prix du capital naturel relativement au prix de la consommation. Ce prix relatif est le rapport de la valeur d'un incrément du capital naturel à une date  $t$  en termes de sa contribution à la fonction objectif à la valeur d'un incrément de consommation en termes de sa contribution à la fonction objectif. Pour la consommation, cette valeur est simplement  $e^{-\rho t} u_C(C(t), S(t))$ , et pour l'environnement  $e^{-\rho t} u_S(C(t), S(t))$ . Le prix relatif est donc  $p(t) = \frac{u_S(C(t), S(t))}{u_C(C(t), S(t))}$ .

Les faits stylisés montrent qu'à de faibles niveaux de revenu et d'activité économique, les préoccupations environnementales représentent une priorité relativement faible. Mais elles prennent de l'importance lorsque les revenus s'élèvent. Il existe diverses raisons à cela. Une plus grande activité économique conduit à une dégradation environnementale plus que proportionnelle ; de plus, les aménités environnementales représentent un bien de luxe avec une élasticité-revenu relativement élevée. Il semble donc que lorsque l'économie se développe, les "termes de l'échange" basculent en faveur de l'environnement ce qui se traduit par  $\frac{\dot{p}(t)}{p(t)} > 0$ .

Si on choisit non plus la consommation mais le capital naturel comme numéraire, on peut de la même façon définir le *taux d'escompte de l'environnement*, et on voit aisément que :

$$\rho^S(t) = -\frac{1}{R^S(t)} \frac{dR^S(t)}{dt} = \rho + \eta_{SC} \frac{\dot{C}(t)}{C(t)} + \eta_{SS} \frac{\dot{S}(t)}{S(t)} = \rho^C(t) - \frac{\dot{p}(t)}{p(t)} \quad (3)$$

où  $\eta_{SC} = -C u_{CS} / u_S$  et  $\eta_{SS} = -S u_{SS} / u_S$  sont les élasticités de l'utilité marginale du capital naturel.

Donc dans un modèle d'équilibre général bien spécifié on obtient de façon endogène, sans avoir besoin de recourir à des hypothèses particulières, des taux d'escompte de la consommation – si celle-ci est choisie comme numéraire – et de l'environnement – si c'est celui-là – différents et variables au cours du temps en fonction des évolutions de la consommation et du capital naturel. Le second est plus faible que le premier dès lors que les préoccupations environnementales augmentent au cours du temps (équation (3)). Notons que ceci ne justifie absolument pas de recourir dans l'analyse coûts-avantages à deux taux différents, l'un pour les projets indépendants des questions environnementales et l'autre pour les projets à fort contenu environnemental, comme il a pu être proposé par certains auteurs (Yang, 2003 par exemple).

En dépit de l'évidente portée pratique des considérations qui précèdent pour l'analyse coûts-avantages, d'importantes difficultés de mesure subsistent. En l'absence de consensus sur la réalité empirique de l'effet de dégoût ou de l'effet de compensation, supposons que la fonction d'utilité est séparable en la consommation et le capital naturel. Pour obtenir une valeur du taux d'escompte de la consommation, donné par l'équation (1), il faut encore choisir la valeur du taux de préférence pure pour le présent, faire une hypothèse sur celle de l'élasticité de l'utilité marginale de la consommation et enfin disposer d'une prévision

sur la croissance future de la consommation.

### 3 La remise en cause du critère utilitariste escompté

#### 3.1 Un taux de préférence pure pour le présent nul

Ramsey (1928) écrivait : “It is assumed that we do not discount later enjoyments in comparison with earlier ones, a practice which is ethically indefensible and arises merely from the weakness of the imagination”. Il rejette ainsi d’emblée l’utilisation d’un taux de préférence pure pour le présent positif sur des bases éthiques. Harrod (1948) adopte la même position : “On the assumption ... that a government is capable of planning what is best for its subjects, it will pay no attention to pure time preference, a polite expression for rapacity and the conquest of reason by passion”.

L’emploi d’un taux de préférence pure pour le présent positif indique évidemment l’introduction d’une asymétrie entre les générations dans le sens d’une préférence pour les générations présentes et proches. Cependant, cette pratique doit être jugée, comme le soulignait Koopmans (1965), non pas en soi mais au regard des conséquences qu’elle entraîne sur l’évolution optimale de l’économie. Dasgupta et Heal (1979) partagent ce point de vue : “It is injudicious to comment on a moral doctrine without having, as a first step, undertaken an analysis of its implications under various plausible assumptions”.

Koopmans (1960) montre que le critère utilitariste escompté peut être dérivé d’un ensemble d’axiomes plausibles, les deux conditions les plus importantes sur la structure des préférences étant l’indépendance et la stationnarité. Dit autrement, un taux de préférence pure pour le présent positif est nécessaire pour une représentation bien définie des préférences sur un horizon infini. Il indique également qu’employer un taux de préférence pure pour le présent nul n’est qu’en apparence garant d’un traitement équitable de toutes les générations : ceci entraîne, pour un calibrage des paramètres plausibles dans un modèle de croissance optimale simple, des taux d’épargne optimaux extrêmement élevés, irréalistes, pour les générations présentes et proches, c’est-à-dire en fait un sacrifice du présent au profit du futur.

Il faut distinguer la position de Ramsey et Harrod, qui porte sur le taux de préférence pure pour le présent, de la tentation d’utiliser un taux d’escompte nul, qui reste très forte quand il s’agit de choix environnementaux. Cette tentation nous semble reposer sur une confusion entre taux de préférence pure pour le présent et taux d’escompte social de la consommation, qui ne sont égaux que dans une économie stationnaire, et ne nous semble en rien justifiée.

#### 3.2 L’équité intergénérationnelle

Chichilnisky (1996) propose un ensemble d’axiomes de choix social intergénérationnel complexes, qu’on peut résumer en disant que ni le présent ni le futur ne doivent être dictatoriaux. La fonction objectif correspondante peut s’écrire (voir Heal (1993)) comme une somme pondérée du critère utilitariste escompté (qui prend soin des intérêts du présent) et d’un critère dépendant du comportement à la limite de l’utilité (qui prend soin des intérêts du futur) :

$$\theta \int_0^{\infty} a(t)u(C(t), S(t))dt + (1 - \theta) \liminf_{t \rightarrow \infty} u(C(t), S(t)) \quad 0 < \theta < 1 \quad (4)$$

où  $a(t)$  est un facteur d'escompte satisfaisant  $\int_0^\infty a(t)dt = 1$ , par exemple le facteur d'escompte exponentiel habituel  $e^{-\rho t}$ .

Cette axiomatique est séduisante puisqu'elle semble rétablir la symétrie entre les générations, sans que s'applique la critique que fait Koopmans de l'utilisation d'un taux de préférence pour le présent nul, qui en fait induirait un sacrifice des générations présentes. Elle a été appliquée à plusieurs problèmes de croissance optimale avec ressources naturelles (voir Heal, 1998). Cependant, il semble qu'elle ne puisse pas constituer une alternative générale à l'utilisation du critère utilitariste escompté dans les modèles d'allocation intertemporelle des ressources, car les cas qu'elle permet d'étudier sont particuliers. En outre, Dasgupta (2001) critique cette axiomatique sur le plan conceptuel : quand on sait que la durée d'existence du monde est finie, il semble paradoxal d'utiliser un critère donnant un poids important au bien-être à l'infini, comme le fait la partie asymptotique du critère de Chichilnisky.

## 4 Un taux de préférence pure pour le présent décroissant

### 4.1 Justifications de psychologie individuelle

Ainslie (1992) et Loewenstein et Prelec (1992) rapportent que les études des comportements humains et animaux suggèrent que les fonctions d'escompte sont approximativement hyperboliques.

Heal (1998) rapporte également des expériences donnant à penser que les individus n'actualisent pas à un taux constant. Faisant l'analogie avec une loi des sciences naturelles, la *loi de Weber–Fechner*, qui indique que la réponse humaine à un changement de stimulus est inversement proportionnelle au niveau initial du stimulus, Heal remarque que le report d'un coût ou d'un bénéfice de l'année prochaine à l'année suivante est très différemment apprécié du même report de cinquante ans plus tard à cinquante et un ans. Dans les deux cas, le report est d'un an dans l'absolu, mais le temps d'attente double dans un cas alors qu'il n'augmente que de 2% dans l'autre. Or nous réagirions à des accroissements proportionnels plutôt qu'absolus du temps.

D'où la proposition de retenir un taux de préférence pour le présent décroissant au cours du temps. Par rapport à la pratique traditionnelle, ceci permet d'accorder un poids supérieur au futur, d'autant plus qu'il est lointain.

Harvey (1994) et Heal (1998) proposent tous deux des formules d'actualisation décroissante, de type proportionnelle. Le facteur d'escompte de Harvey (1994) est le suivant :

$$a(t) = \frac{b}{b+t}, \quad b > 0 \tag{5}$$

Pour déterminer le paramètre  $b$ , Harvey propose d'estimer la date  $\tau$  pour laquelle un bénéfice d'un montant  $x$  est considéré par l'individu ou la société comme deux fois moins intéressant que le même bénéfice à la date courante :

$$a(\tau)x = \frac{a(0)x}{2} \iff \frac{b}{b+\tau} = \frac{1}{2} \iff b = \tau$$

Le taux d'escompte de l'utilité variable auquel correspond ce facteur d'actualisation est :

$$\rho(t) = -\frac{\dot{a}(t)}{a(t)} = \frac{1}{b+t} \quad (6)$$

Le facteur et le taux d'escompte de l'utilité proposés par Heal (1998) sont :

$$a(t) = e^{-c \ln t} = t^{-c}, \quad c > 0, \quad t > 0 \quad (7)$$

$$\rho(t) = -\frac{\dot{a}(t)}{a(t)} = \frac{c}{t} \quad (8)$$

L'écriture du facteur d'escompte sous la forme  $e^{-c \ln t}$ , où l'on remplace le  $t$  de l'escompte exponentiel par  $\ln t$ , met bien en évidence le fait que l'on mesure maintenant le temps par des incréments proportionnels égaux plutôt que par des incréments absolus égaux (Heal, 1998, qui nomme ceci l'*escompte logarithmique*).

Loewenstein et Prelec (1992) proposent la *fonction d'escompte hyperbolique généralisée* suivante<sup>2</sup> :

$$a(t) = (1 + \alpha t)^{-\frac{\rho}{\alpha}}, \quad \alpha, \rho > 0 \quad (9)$$

à laquelle correspond le taux d'escompte :

$$\rho(t) = -\frac{\dot{a}(t)}{a(t)} = \frac{\rho}{1 + \alpha t} \quad (10)$$

Quand  $\alpha$  tend vers 0 on retrouve l'escompte exponentiel standard à taux  $\rho$ .

Le facteur d'escompte proposé par Barro (1999) et le taux d'escompte de l'utilité associé sont :

$$a(t) = e^{-(\rho t + \phi(t))} \text{ avec } \phi(t) = -\frac{b}{\gamma} e^{-\gamma t} \quad (11)$$

$$\rho(t) = -\frac{\dot{a}(t)}{a(t)} = \rho + b e^{-\gamma t} \quad (12)$$

Ceci se ramène à l'escompte exponentiel habituel à taux  $\rho$  si  $b = 0$ . On a  $\rho(0) = \rho + b$  et  $\lim_{t \rightarrow \infty} \rho(t) = \rho$ .

Laibson (1997) propose une *fonction d'escompte quasi-hyperbolique*, ou escompte dit  $\beta\delta$ , en temps discret :

$$\begin{cases} a(t) = \beta\delta^t, & \beta < 1, \quad \forall t \geq 1 \\ a(0) = 1 \end{cases} \quad (13)$$

Le taux d'escompte associé est :

$$\begin{cases} \rho(t) = -\frac{a(t)-a(t-1)}{a(t)} = \frac{1}{\delta} - 1 & \forall t > 1 \\ \rho(1) = -\frac{a(1)-a(0)}{a(1)} = \frac{1}{\beta\delta} - 1 \end{cases} \quad (14)$$

Ce taux est le même pour toutes les périodes sauf la première. On a  $\rho(1) > \rho(t) \forall t > 1$  dès lors que  $\beta < 1$ .

Cependant, les choix effectués avec actualisation décroissante sont frappés d'*incohérence temporelle*. Le décideur est en effet incité à remettre en cause aux périodes ultérieures

---

<sup>2</sup>Remarque : la fonction d'escompte proposée par Harvey est une hyperbole généralisée dans laquelle  $\gamma = \alpha = 1/b$ .

ses décisions de la période courante, car le taux d'actualisation qu'il applique aux bénéfices successifs change au cours du temps. La littérature sur ce sujet souligne que cette incitation n'a pas de conséquences si le décideur se lie les mains à la période courante en prenant l'engagement de ne pas dévier de ses choix, et s'interroge sur les institutions qui permettent d'assurer la crédibilité d'un tel engagement. En l'absence de possibilités d'engagement crédible, elle modélise cette situation comme un jeu entre les différentes incarnations temporelles successives du décideur, chacune effectuant ses choix en prenant ceux de l'incarnation qui lui succède comme donnés. Laibson (1996)(Laibson 1996) montre qu'un agent ayant des préférences quasi-hyperboliques (équation (13)) et jouant le jeu intra-personnel précédent prend des décisions qui ressemblent exactement à celles qu'il aurait prises s'il avait escompté de manière exponentielle. C'est l'*équivalence observationnelle*. De même, Barro (1999) montre dans un modèle de croissance à la Ramsey avec actualisation décroissante (le facteur d'escompte est celui de l'équation (11)) que la solution du jeu intra-personnel du planificateur est finalement un sentier de croissance identique à celui qu'aurait choisi un planificateur actualisant à taux constant.

Ceci relativise fortement la portée de l'argument d'incohérence temporelle : il n'est pas pertinent s'il existe des possibilités crédibles de se lier les mains, et si ce n'est pas le cas, on peut exhiber des cas dans lesquels tout se passe comme si le décideur actualisait à taux constant. De toutes façons, Heal (1998) par exemple argumente que l'incohérence temporelle n'est pas un problème mais plutôt une réalité, décrivant le comportement observable des décideurs.

## 4.2 La conséquence d'une hétérogénéité des agents en matière d'impatience

Li et Löfgren (2000) considèrent une économie à deux individus représentatifs, un "utilitariste", qui se soucie surtout du présent, au taux de préférence pure pour le présent  $\theta$  élevé, et un "conservationniste", qui se soucie du futur, au taux de préférence pure pour le présent  $\delta$  faible voire nul. Ces deux individus ont la même fonction d'utilité  $u(C, S)$ . La fonction de bien-être social est :

$$\alpha \int_0^{\infty} e^{-\theta t} u(C(t), S(t)) dt + (1 - \alpha) \int_0^{\infty} e^{-\delta t} u(C(t), S(t)) dt = \int_0^{\infty} a(t) u(C(t), S(t)) dt \quad (15)$$

où  $\alpha$  est le poids accordé aux agents utilitaristes et  $a(t)$  le facteur d'escompte, qui vaut :

$$a(t) = \alpha e^{-\theta t} + (1 - \alpha) e^{-\delta t} \quad (16)$$

Le taux d'escompte de l'utilité associé est alors :

$$\rho(t) = -\frac{\dot{a}(t)}{a(t)} = \frac{\alpha \theta e^{-\theta t} + (1 - \alpha) \delta e^{-\delta t}}{\alpha e^{-\theta t} + (1 - \alpha) e^{-\delta t}} = \frac{\alpha \theta e^{(\delta - \theta)t} + (1 - \alpha) \delta}{\alpha e^{(\delta - \theta)t} + (1 - \alpha)} \quad (17)$$

Comme par hypothèse  $\theta > \delta$ , on a

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \rho(t) = \delta \quad (18)$$

ce qui signifie que le taux de préférence pure pour le présent de long terme de cette économie est celui de l'agent conservationniste. En revanche, à court terme,

$$\rho(0) = \alpha \theta + (1 - \alpha) \delta \quad (19)$$

et le taux de préférence pure pour le présent est une moyenne pondérée des deux taux, d'autant plus proche de  $\alpha\theta$  que  $\delta$  est proche de zéro.

On peut montrer que le taux de préférence pure pour le présent est décroissant au cours du temps. Par construction, il n'y a pas incohérence temporelle des choix dans ce cadre.

On a  $\int_0^\infty a(t)dt = \frac{\alpha}{\theta} + \frac{1-\alpha}{\delta}$  qui devient infini quand  $\delta$  tend vers 0. Dans ce cas la somme des facteurs d'escompte ne converge pas, ce qui nécessite un traitement mathématique particulier du problème de croissance optimale.

Ainsi, Li et Löfgren (2000) justifient par l'hétérogénéité des agents en matière de préférence pour le présent l'utilisation d'un taux de préférence pour le présent apparent décroissant au cours du temps, tel que c'est la préférence de l'agent le plus patient qui finalement importe seule à long terme.

### 4.3 Un taux de préférence pour le présent endogène

Ayong le Kama et Schubert (2002) présentent un modèle de croissance endogène optimale dans lequel la consommation découle directement de l'utilisation des services de l'environnement et dégrade la qualité de celui-ci. Cette qualité de l'environnement est facteur de bien-être au côté de la consommation. En outre, le planificateur, motivé par des considérations d'équité intergénérationnelle, fait le choix éthique d'un taux d'escompte de l'utilité dépendant de la qualité de l'environnement, de façon croissante : plus cette dernière est faible plus ce taux est faible, entre certaines bornes exogènes<sup>3</sup>. Le principal résultat est qu'alors que la convergence de l'économie vers un état stationnaire n'apparaît que pour une configuration très particulière des paramètres quand l'escompte est exogène et exponentiel, elle apparaît de façon générique quand l'escompte est endogène, pourvu que le taux d'escompte soit autorisé à varier entre des bornes suffisamment larges. Ainsi, l'escompte endogène prévient dans une certaine mesure l'apparition de sentiers de croissance optimaux le long desquels la qualité de l'environnement est totalement dégradée à long terme.

## 5 Incertitude et taux d'escompte

### 5.1 Incertitude sur le taux de croissance futur de la consommation

Comment utiliser (1) pour déterminer un taux d'escompte de la consommation utilisable dans l'analyse coûts-bénéfices quand on ne connaît pas le taux de croissance futur de la consommation, et que l'incertitude sur ce taux de croissance est d'autant plus grande que l'on s'intéresse à un terme plus lointain ? C'est à cette question que répond Gollier (2002a), (2002b).

Gollier (2002a) se place dans une situation d'équilibre partiel où les exogènes fondamentaux sont les taux de croissance futurs de la consommation, aléatoires. Il cherche

---

<sup>3</sup>Pittel (2000) a un projet similaire, dans un modèle de croissance plus complexe, mais fait dépendre le taux d'escompte de façon décroissante de la qualité de l'environnement, avec l'argument selon lequel "plus l'environnement est intact plus les ménages sont désireux de retarder leur consommation et d'investir dans leur propre futur ou le bien-être de leurs descendants". Cette hypothèse ne nous semble pas pertinente.

dans ce cadre à déterminer les taux d'escompte social de la consommation que l'agent doit utiliser aujourd'hui pour actualiser ses consommations futures. Plus précisément, Gollier considère une économie à un seul bien (pas de capital naturel) à taux de croissance exogène aléatoire  $\tilde{g}$  dans laquelle un consommateur représentatif maximise la somme de ses utilités futures anticipées escomptées au taux  $\rho$  constant. Le temps est discret.  $C$  est la consommation initiale de l'agent et  $\tilde{C}(t) = C \prod_{\tau=0}^t (1 + \tilde{g}(\tau))$  sa consommation en  $t$  (aléatoire). Gollier définit le *taux d'escompte socialement efficace* correspondant à une maturité  $t$ ,  $r(t)$ , comme le taux de rendement qui laisse l'utilité anticipée escomptée de l'agent inchangée :

$$(1 + r(t))^t = \frac{u'(C)}{\left(\frac{1}{1+\rho}\right)^t Eu'(C \prod_{\tau=0}^t (1 + \tilde{g}(\tau)))} \quad (20)$$

Gollier (2002b) s'intéresse au court terme. Pour  $t = 1$ , l'équation suivante s'écrit, avec une adaptation des notations évidente :

$$1 + r(1) = \frac{u'(C)}{\frac{1}{1+\rho} Eu'(C(1 + \tilde{g}))} \quad (21)$$

Si l'utilité marginale est convexe, on a  $Eu'(C(1 + \tilde{g})) \geq u'(E(C(1 + \tilde{g})))$  et donc  $r(1)$  est inférieur ou égal au taux de rendement qui prévaudrait dans un monde certain où la consommation courante serait  $C$  et la consommation de la période suivante  $CE(1 + \tilde{g})$ . Dans le cas d'une utilité marginale convexe donc, une incertitude sur le taux de croissance de l'économie réduit le taux d'escompte social de court terme par rapport au cas où ce taux est certain. Plus précisément, on a :

$$r(1) \simeq \rho + \eta(C)E(\tilde{g}) - \frac{\eta(C_t)}{2} var(\tilde{g})P(C) \quad (22)$$

où  $P(C)$  est l'indice de prudence relative, défini par  $P(C) = -\frac{Cu'''(C)}{u''(C)}$  avec  $u'''(C) > 0$  si l'agent est prudent. Le terme supplémentaire à droite de cette équation représente l'*effet de précaution*. Cet effet joue en sens inverse de l'effet de richesse dès lors que l'agent est prudent.

Gollier (2002a), (2002b) s'intéresse également au long terme. Il montre que dans le cas où l'économie ne connaît pas de risque de récession ( $\tilde{g} > 0$  presque sûrement),  $r(t)$  décroît avec  $t$  si et seulement si l'aversion relative de l'agent pour le risque  $\eta(C)$  est décroissante. Le cas où il y a risque de récession est plus complexe. Gollier (2002b) montre qu'il faut ajouter des conditions complexes et peu intuitives sur les dérivées quatrième et cinquième de la fonction d'utilité pour obtenir une décroissance de  $r(t)$  avec  $t$ .

Enfin, Gollier (2002a) cherche à déterminer le taux d'escompte de la consommation de très long terme d'une économie qui ne connaît pas de risque de récession. Il suppose que  $\eta_\infty = \lim_{C \rightarrow \infty} \eta(C)$  existe et montre alors que ce taux d'escompte,  $r_\infty = \lim_{t \rightarrow \infty} r(t)$  existe et est défini par :

$$1 + r_\infty = \frac{1}{\frac{1}{1+\rho} E(1 + \tilde{g})^{-\eta_\infty}} \quad (23)$$

c'est-à-dire que le taux d'escompte de la consommation de très long terme est égal au taux d'escompte de court terme d'une économie dans laquelle les agents ont une aversion relative pour le risque constante  $\eta_\infty$ .

## 5.2 Incertitude sur les taux d'intérêt futurs

Weitzman (1998) se place également dans un cadre d'équilibre partiel, mais l'exogène fondamental est pour lui le taux d'intérêt sans risque de court terme  $r$ , qui est supposé rester constant au cours du temps, qui est inconnu aujourd'hui mais dont la valeur va être révélée très rapidement. Nous présentons le résultat de Weitzman en suivant l'explication qu'en fait Gollier (2002a).

Soit  $r_t$  le taux d'escompte socialement efficace correspondant à la maturité  $t$ , calculé par l'agent représentatif avant que  $\tilde{r}$  ne soit révélé. On suppose que l'agent est neutre au risque. Il désire obtenir un bénéfice certain de 1\$ en  $T$ . S'il attend un instant que  $\tilde{r}$  soit révélé, il placera  $\frac{1}{(1+r)^T}$  pour obtenir de façon certaine ce bénéfice. S'il n'attend pas, il peut décider d'investir dans un bond de maturité  $T$  dont le taux est  $r_T$  par définition. Il faudra alors qu'il investisse un montant  $\frac{1}{(1+r_T)^T}$ . Comme l'agent est neutre au risque, une possibilité d'arbitrage apparaît si l'on n'a pas  $\frac{1}{(1+r_T)^T} = E\frac{1}{(1+\tilde{r})^T}$  c'est-à-dire

$$1 + r_T = \left(E(1 + \tilde{r})^{-T}\right)^{-\frac{1}{T}} \quad (24)$$

$r_T$  est ainsi la moyenne harmonique de  $\tilde{r}$  et est donc inférieur à sa moyenne arithmétique  $E\tilde{r}$ . Weitzman montre qu'il tend, quand  $T$  devient très grand, vers la valeur la plus faible que puisse prendre  $\tilde{r}$ , notée  $r_{\min}$ , et en déduit qu'il faut appliquer le taux d'escompte le plus faible possible aux composantes de tout projet d'investissement mettant en jeu le futur très lointain. L'intuition de ce résultat tient dans le fait que la bonne façon de faire est de prendre l'espérance sur tous les états du monde non pas des taux d'escompte mais des facteurs d'escompte, et qu'à la limite l'équivalent-certain des facteurs d'escompte correspond au taux d'escompte minimum, parce que le passage du temps a rendu tous les autres taux d'escompte insignifiants par rapport au taux minimum.

Gollier (2002a) souligne que ce résultat ne tient que dans le cas étudié par Weitzman d'un agent qui a un objectif de bénéfice futur certain et accepte pour cela une contribution présente aléatoire. L'argument est renversé dans le cas contraire d'un agent désirant effectuer une contribution présente certaine et acceptant un bénéfice futur aléatoire. Autrement dit, le résultat de Weitzman ne tient que dans le cas où le présent supporte le risque, et il est inversé si le futur supporte le risque.

Newell et Pizer (2003) soulignent que le résultat de Weitzman est fondé sur le fait que le taux d'escompte est non seulement incertain mais aussi persistant, extrêmement corrélé au cours du temps (chez Weitzman, le vrai taux d'escompte, une fois l'incertitude levée, sera le même à toutes les périodes, forme extrême de persistance). Intuitivement on sent bien qu'une incertitude sans persistance aura peu d'effet : tout taux élevé à une période pourra être compensé par un taux faible à une autre.

Weitzman (2001) se propose de quantifier l'incertitude sur le taux d'escompte de la consommation grâce à une enquête par e-mail auprès de 2800 économistes professionnels (2160 réponses). La question posée est la suivante : "Taking all relevant considerations into account, what real interest rate do you think should be used to discount over time the (expected) benefits and (expected) costs of projects being proposed to mitigate the possible effects of global climate change?". Chaque économiste fournit donc une réponse (un chiffre) unique  $x$ , et l'auteur fait l'hypothèse que ce chiffre correspond au taux d'escompte personnel, constant, de cet économiste. Cette méthode permet d'évaluer l'incertitude ou plutôt le manque de consensus présent sur le taux d'escompte correct à utiliser pour le

très long terme. Le résultat est que les réponses  $[x]$  sont distribuées comme les réalisations d'une variable aléatoire dont la fonction de densité de probabilité  $f(x)$  est une fonction gamma. L'auteur estime les paramètres  $\alpha$  et  $\beta$  de cette fonction à partir des réponses. Il calcule ensuite le facteur d'escompte pour la date  $t$  par  $A(t) = \int_0^\infty e^{-xt} f(x) dx$ , et le taux d'escompte correspondant par  $R(t) = -\frac{\dot{A}(t)}{A(t)}$  et montre que l'on obtient  $R(t) = \frac{1}{\beta+t}$ , soit un taux d'escompte décroissant au cours du temps.

Newell et Pizer (2003) adoptent une approche différente. Ils supposent qu'il existe un relatif consensus présent sur le taux d'escompte de la consommation à utiliser, fondé sur les taux de marché observés, mais que ce taux est susceptible de changer dans le futur. Les données historiques de taux d'intérêt sur 2 siècles aux Etats-Unis montrent que ces taux sont en effet incertains et persistants. Ils utilisent ces données pour calculer le "taux d'équivalent certain" (c'est-à-dire non pas l'équivalent certain des taux mais le taux résultant de l'équivalent certain des facteurs d'escompte) qui résume les effets de l'incertitude, sous deux hypothèses, celle d'une marche aléatoire et celle d'un processus de retour à la moyenne. Ils montrent que dans les deux cas les taux futurs sont significativement plus faibles que le taux présent : sous l'hypothèse de marche aléatoire, ils passent de 4% à 2% après 100 ans, 1% après 200 ans et 0,5% après 300 ans.

L'ensemble de ces travaux plaide donc pour l'utilisation dans l'analyse coûts-bénéfices de taux d'escompte de la consommation décroissants au cours du temps, pour des raisons différentes quoique toutes liées à l'incertitude.

## 6 Conclusion

Ce survol de la littérature met en lumière la grande difficulté qu'il existe à déterminer la "bonne" procédure concernant le choix d'un taux d'actualisation social de la consommation. Le clivage souligné par Arrow *et al.* (1996)(Arrow, Cline, Mäler, Munasinghe, Squitieri, and Stiglitz 1996) entre approche *prescriptive* et approche *descriptive* nous semble toujours présent. La première est normative, puisqu'elle est fondée sur une fonction de bien-être social exprimant un jugement quant à la façon dont l'utilité doit être distribuée au cours du temps, entre générations présentes et générations futures. La seconde, fondée sur des considérations d'efficacité intertemporelle, et identifiant taux d'escompte et taux d'intérêt, est positive. Compte tenu de l'impossibilité de disposer de taux d'intérêt à échéances très lointaines, nous aurions tendance à préférer l'approche prescriptive suivante :

1. choisir sur des bases éthiques un taux de préférence pure pour le présent, éventuellement décroissant au cours du temps ou variant en fonction des anticipations d'évolution de la qualité de l'environnement ;
2. obtenir des projections de croissance économique sur longue période, et tenir compte de l'incertitude qui entâche ces projections pour calculer l'espérance mathématique des taux de croissance futurs ;
3. calculer le taux d'escompte social de la consommation d'après l'équation (1) ;
4. calculer enfin l'évolution du prix relatif de l'environnement par rapport à la consommation.

## References

- Ainslie, G. (1992): *Picoeconomics*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Arrow, K., W. Cline, K.-G. Mäler, M. Munasinghe, R. Squitieri et J. Stiglitz (1996): “Intertemporal Equity, Discounting, and Economic Efficiency,” in *Climate Change 1995: Economic and Social Dimensions of Climate Change*, éd. par J. Bruce, H. Lee et E. Haites. Cambridge University Press, Cambridge.
- Ayong Le Kama, A. et K. Schubert (2002): “The Consequences of an Endogenous Discounting depending on Environmental Quality,” Working paper, EUREQua, Université de Paris I, Paris.
- Barro, R. (1999): “Ramsey meets Laibson in the Neoclassical Growth Model,” *Quarterly Journal of Economics*, 114, 1125–1152.
- Chichilnisky, G. (1996): “An Axiomatic Approach to Sustainable Development,” *Social Choice and Welfare*, 13, 231–257.
- Dasgupta, P. (2001): *Human Well-Being and the Natural Environment*. Oxford University Press.
- Dasgupta, P. et G. Heal (1979): *Economic Theory and Exhaustible Resources*. Cambridge University Press.
- Dasgupta, P., K. Maler et S. Barrett (1999): “Intergenerational Equity, Social Discount Rates and Global Warming,” in *Discounting and Intergenerational Equity*, ed. by P. Portney et J. Weyant, chap. 7. Resources for the Future, Washington DC.
- Frederick, S., G. Loewenstein et T. O’Donoghue (2002): “Time Discounting and Time Preference: A Critical Review,” *Journal of Economic Literature*, 40, 351–401.
- Gollier, C. (2002a): “Time Horizon and the Discount Rate,” *Journal of Economic Theory*, 107, 463–473.
- (2002b): “Discounting an Uncertain Future,” *Journal of Public Economics*, 85, 149–166.
- Groom, B., C. Hepburn, P. Koundouri et D. Pearce (2003): “Discounting the Future: The Long and the Short of it,” Working paper, European Congress of Environmental and Resources Economics, Bilbao, Spain.
- Harrod, R. (1948): *Towards a Dynamic Economy*. Macmillan Press, London.
- Harvey, C. (1994): “The Reasonableness of Non-Constant Discounting,” *Journal of Public Economics*, 53, 31–51.
- Heal, G. (1993): “Valuing the Very Long Run,” Working paper, Columbia Business School.
- (1998): *Valuing the Future: Economic Theory and Sustainability*. Columbia University Press.

- (2001): “Intertemporal Welfare Economics and the Environment,” mimeo, University of Columbia.
- Hiriart, Y. et K. Schubert (1998): “Une croissance respectueuse des générations futures,” in *L’Environnement : Une Nouvelle Dimension de L’analyse Économique*, é. par K. Schubert, et P. Zagamé, chap. VI, pp. 207–234. Vuibert, Paris.
- Koopmans, T. (1960): “Stationary Ordinal Utility and Impatience,” *Econometrica*, 28, 287–309.
- (1965): *On the Concept of Optimal Growth* vol. 28, pp. 225–287. Pontificae Academiae Scientiarum Scripta Varia, Amsterdam/Chicago.
- Laibson, D. (1996): “Hyperbolic Discount Functions, Undersaving, and Savings Policy,” *NBER Working Paper*, (5635).
- (1997): “Golden Eggs and Hyperbolic Discounting,” *Quarterly Journal of Economics*, 112, 443–477.
- Li, C.-Z. et K.-G. Lofgren (2000): “Renewable Resources and Economic Sustainability: A Dynamic Analysis with Heterogeneous Time Preferences,” *Journal of Environmental Economics and Management*, 40, 236–249.
- Loewenstein, G. et D. Prelec (1992): “Anomalies in Intertemporal Choice: Evidence and an Interpretation,” *Quarterly Journal of Economics*, 107, 573–598.
- Michel, P. et G. Rotillon (1996): “Desutility of Pollution and Endogenous Growth,” *Environmental and Resource Economics*, 6, 279–300.
- Newell, R. et W. Pizer (2003): “Discounting the Distant Future: How much do Uncertain Rates increase Valuations?,” *Journal of Environmental Economics and Management*, 46, 52–71.
- Pittel, K. (2000): “Sustainable Growth and Endogenous Discount Rates,” mimeo, Chemnitz University of Technology.
- Portney, P. R. et J. P. Weyant (1999): *Discounting and Intergenerational Equity*. Resources for the Future.
- Ramsey, F. P. (1928): “A Mathematical Theory of Saving,” *Economic Journal*, 138, 543–59.
- Weitzman, M. (1998): “Why the Far Distant Future should be discounted at its Lowest Possible Rate,” *Journal of Environmental Economics and Management*, 36, 201–208.
- (2001): “Gamma Discounting,” *American Economic Review*, 91, 260–271.
- Yang, Z. (2003): “Dual-rate Discounting in Dynamic Economic-Environmental Modeling,” *Economic Modelling*, 20, 941–957.

## Environmental Economics & Management Memorandum

Chair Lhoist Berghmans in Environmental Economics and Management  
Center for Operations Research & Econometrics (CORE)  
Université catholique de Louvain (UCL)  
Voie du Roman Pays 34  
B-1348 Louvain-la-Neuve, Belgium

Hard copies are available upon request : [env@core.ucl.ac.be](mailto:env@core.ucl.ac.be)

Papers are available in pdf format on line : [www.core.ucl.ac.be/chlhoist](http://www.core.ucl.ac.be/chlhoist)