



QUEL TAUX D'ACTUALISATION POUR LE LONG TERME ?

CHRISTIAN GOLLIER *

En France, le taux d'actualisation à utiliser pour déterminer l'efficacité d'un investissement public, notamment de prévention de risques collectifs, a été fixé à 8 %. Avec un tel taux, que devrions-nous accepter de dépenser aujourd'hui pour réduire un dommage certain de 1 million d'euro se produisant dans 200 ans ?¹ Pas plus de ... 21 centimes d'euro !

À l'époque où le Commissariat Général au Plan (CGP) a longuement discuté du choix du taux d'actualisation, la problématique était assez différente de celle à laquelle notre société est confrontée actuellement. À l'époque, il s'agissait des années 1960 et 1970, il fallait choisir la vitesse de réalisation des grandes infrastructures collectives dont l'industrie avait besoin pour se développer : autoroutes, infrastructure ferroviaire, parc électrique... Parce que la mode n'était pas encore à la prise en compte de ces fameux effets externes, ces projets avaient des durées de vie qui n'excédaient pas 30 à 40 ans. La question se bornait alors à savoir si le taux d'intérêt du marché constituait une bonne base de référence pour le taux d'actualisation. Rappelons l'argument essentiel de la théorie des investissements : si un projet d'investissement a un rendement certain qui excède le taux d'intérêt, la stratégie qui consiste à emprunter pour investir dans le projet constitue un arbitrage sans risque, sans mise de fonds initiale, et qui génère un *cash-flow* strictement positif au terme du projet. Au niveau agrégé, cette réallocation du capital dans l'économie augmente la croissance sans augmenter les efforts consentis. Avec des marchés financiers parfaits, le taux d'intérêt d'équilibre est le prix qui oriente de façon efficace les choix des investisseurs et des épargnants. Le CGP, relevant certaines inefficacités des marchés financiers, a voulu maintenir un taux d'actualisation largement supérieur au taux d'intérêt.

L'effet de serre, les déchets nucléaires, les applications de la biotechnologie et l'exploration spatiale constituent quelques exemples des nouveaux défis à l'analyse coût-bénéfice traditionnelle. Risque ou incer-

* Professeur à l'Université de Toulouse - IDEI, LEERNA.



titude fondamentale sur les *cash-flows* et rémanence à très long terme de nos actions sont les deux dimensions les plus délicates à prendre en compte dans cette analyse. Concentrons-nous sur la dimension temporelle, qui porte sur des centaines, voire des milliers ou millions d'années. Comme nous l'avons fait observer d'entrée de jeu, un taux d'actualisation annuel de 8 % revient de fait à ne pas tenir compte des effets de nos actions sur des horizons temporels aussi éloignés, sauf à imaginer que ces effets croissent à un taux similaire. Alors exit effet de serre et autres déchets nucléaires ? Notons avant tout qu'aucune théorie économique n'oblige à utiliser le même taux d'actualisation pour des *cash-flows* se réalisant à des dates différentes. Il peut être *a priori* efficace d'actualiser à 6 % les *cash-flows* jusqu'à 30 ans, et d'actualiser à 3 % tous ceux se réalisant au-delà de 100 ans, comme proposé dans le rapport Charpin, Dessus et Pellat (2000). D'ailleurs, les marchés financiers offrent des taux d'intérêt différents pour des horizons temporels différents. En d'autres termes, la structure par terme des taux d'intérêt n'est en générale pas « plate ».

Un autre problème du long terme provient du fait que les marchés financiers ne nous éclairent guère sur le taux d'actualisation à utiliser pour des horizons temporels aussi éloignés, simplement parce qu'il n'existe pas de contrat de dette (obligation) de maturité au-delà de 30 ans. Les marchés sont dits incomplets. Et même s'ils ne l'étaient pas, l'absence des générations futures sur ces marchés les rendraient par essence inefficaces au-delà des espérances de vie des générations actuelles.

Il est donc nécessaire de réfléchir à un modèle de choix public visant à déterminer le niveau d'effort socialement désirable que nous devrions consentir pour améliorer le bien-être des générations futures. Plus élevé sera le taux d'actualisation, plus faible sera notre effort. Une solution extrême, soutenue par certains écologistes et philosophes, consisterait à ne pas actualiser - c'est-à-dire à actualiser à un taux nul - les *cash-flows* très éloignés dans le futur. Mais ceci reviendrait à consentir beaucoup d'efforts pour le très long terme (par exemple en sécurisant au maximum le site de déchets nucléaires) en sacrifiant le moyen terme (par exemple en abandonnant l'amélioration de notre réseau de transport). Ainsi, une démarche *a priori* hautement noble et éthique peut être très contre-productive pour le bien-être intergénérationnel que ses défenseurs entendent soutenir.

Dans cet article, nous cherchons à extraire de la théorie classique de la finance des arguments en faveur ou en défaveur d'un taux d'actualisation qui serait décroissant avec l'horizon temporel considéré. La théorie moderne dite de la structure par terme des taux d'intérêt, inaugurée par Cox, Ingersoll et Ross (1985a,b), constitue le socle méthodologique de ce travail. Dans la première partie, nous détaillons les déterminants du

taux d'actualisation socialement efficace pour un horizon temporel déterminé. Ceci nous permet dans la seconde partie d'étudier l'impact d'un changement de l'horizon temporel sur ce taux.

Avant de débiter cette analyse, rappelons que cet article se concentre sur le choix du taux d'actualisation, ce qui ne constitue qu'un seul élément parmi bien d'autres dans l'analyse coût-bénéfice de la prévention des grands risques collectifs. C'est pour cela que nous supposons que les *cash-flows* à actualiser sont certains.

LE TAUX D'ACTUALISATION POUR UN HORIZON TEMPOREL DÉTERMINÉ

Dans cette partie, nous considérons l'économie la plus simple que l'on puisse imaginer pour discuter de l'actualisation. Beaucoup des hypothèses que nous allons faire seront discutées dans la troisième partie. Supposons que notre économie consiste en un grand nombre de consommateurs tous identiques. Le bien-être de la population à l'instant t est mesuré par l'espérance de l'utilité de la consommation Z_t de l'agent représentatif. Il s'écrit $Eu(Z_t)$, où $u(\cdot)$ est la fonction d'utilité et E est l'opérateur d'espérance. En effet, on va souvent être intéressé à mesurer le bien-être de la génération vivant en t avant de connaître ce qu'elle va pouvoir effectivement consommer, ce qui implique que Z_t peut être une variable aléatoire. Z_t peut s'interpréter comme le PNB par habitant à l'instant t .

On suppose que le planificateur cherche à l'instant $t=0$ à réaliser tous les investissements qui augmentent une somme pondérée des bien-être des différentes générations :

$$V_0 = \sum_{t=0} (1+\delta)^{-t} Eu(Z_t). \quad (1)$$

Le paramètre δ est un taux de préférence pure pour la génération présente. Dans cette perspective, il s'agit d'un paramètre synthétisant le désir de (in)justice redistributive entre génération. Il constitue un paramètre éthique plus qu'économique et ne sera pas discuté ici. À court terme, si le planificateur veut rester consistant avec les préférences individuelles, il devrait choisir un δ égal au taux d'impatience des ménages, que les économistes ont l'habitude de situer autour de 1 % par an.

Considérons un petit investissement qui nécessite une mise de fonds de $a dx$ en $t=0$ et qui génère un seul *cash-flow* certain $b dx$ en t . L'effet de cet investissement sur la fonction de bien-être intergénérationnel est égal à

$$\frac{dV_0}{dx} = au'(Z_0) + b(1+\delta)^{-t} Eu'(Z_t). \quad (2)$$

Donc, pour que cet investissement soit socialement désirable, il faut que

$$\frac{b}{a} \geq (1+r_t)^t =_{\text{def}} \frac{u'(Z_0)}{(1+\delta)^t E u'(Z_t)} \quad (3)$$

Le rapport b/a est le rendement du projet. Très intuitivement, il est nécessaire que ce rendement excède un certain seuil pour que cet investissement soit efficace. Par définition, ce seuil est le taux d'actualisation socialement efficace correspondant aux *cash-flows* de l'instant t . Rapporté en taux par période (annuel), il est noté r_t , et est défini par l'égalité (3). Si les marchés financiers étaient parfaits et si les hommes étaient immortels ou parfaitement paternalistes, r_t serait le taux d'intérêt d'équilibre concurrentiel en $t=0$ pour une obligation zéro-coupon à échéance en t . On retrouve, comme tout prix d'équilibre concurrentiel dans une économie sans friction, une égalité avec un taux marginal de substitution, rapport de deux espérances d'utilité marginale actualisées.

Pour commencer, focalisons notre attention sur le taux r_t à utiliser pour actualiser des *cash-flows* disponibles dans une période ($t=1$). Il s'écrit

$$r_t = \frac{u'(Z_0)}{(1+\delta)E u'(Z_0(1+X))} - 1 \quad (4)$$

où $X=(Z_t/Z_0)-1$ est le taux de croissance du PNB par habitant sur la première période. En supposant que X ne s'écarte pas trop de zéro, on peut approcher r_t par ²

$$r_t = \delta + \mu R(Z_0) - 0.5\sigma^2 R(Z_0)P(Z_0) \quad (5)$$

avec $\mu=EX$ et $\sigma^2=Var(X)$ et où

$$R(Z) = \frac{-ZU''(Z)}{u'(Z)} \text{ et } P(Z) = \frac{-Zu'''(Z)}{u''(Z)} \quad (6)$$

représentent respectivement l'indice d'aversion relative au risque et de prudence relative du consommateur représentatif. Les trois termes du membre de droite de l'équation (5) expriment les trois déterminants du taux d'actualisation socialement efficace. Le premier est évident : plus importante est la préférence de la société pour le présent (δ élevé), plus important sera le taux d'actualisation, et plus faibles seront nos efforts pour améliorer le futur.

Le terme μR est économiquement plus intéressant. Si les perspectives de croissance sur la période sont élevées, les ménages ne seront guère enclins à investir pour un futur déjà naturellement plus agréable que le présent. Nous faisons ici implicitement référence à un trait important des préférences des consommateurs vis-à-vis du temps. Il s'agit de la



préférence pour un lissage de leur consommation dans le temps. L'intensité de cette aversion pour les fluctuations de la consommation dans le temps se mesure par R . Il mesure la vitesse à laquelle l'utilité marginale de la consommation diminue quand cette consommation augmente. En particulier, un R positif signale que les individus plus riches ont une utilité marginale de leur consommation plus faible, ce qui se conçoit bien. Dans une économie en croissance, les individus les plus riches sont ceux des générations futures. Leur permettre de consommer plus grâce aux sacrifices que nous ferions aujourd'hui aurait un impact sur leur utilité relativement faible étant donné cette double hypothèse $Z_1 > Z_0$ et $u'' < 0$. Par contre notre pauvreté relative implique que nos sacrifices auraient un impact relativement important sur notre utilité. Tout cela fait qu'une réduction b d'un dommage à la date $t=1$ a nécessairement un impact plus faible sur le bien-être intergénérationnel V_0 qu'un même sacrifice b sur notre consommation en $t=0$. En d'autres termes, un euro en $t=1$ a une valeur plus faible qu'un euro en $t=0$. C'est ce que l'on appelle l'effet richesse. Pourquoi faire des sacrifices aujourd'hui pour des générations futures dont on sait qu'elles bénéficieront de richesses bien plus élevées que les nôtres, pauvres générations du début du troisième millénaire ?

En conséquence, il n'est socialement efficace de réaliser un investissement à horizon $t=1$ que si sa rentabilité interne excède le seuil μR au-delà de δ . Plus importante est la perspective de croissance μ , ou plus élevée est l'intensité R de l'aversion aux fluctuations de la consommation dans le temps, plus élevé sera ce seuil, moins nombreux seront les investissements publics désirables. Différentes estimations de R existent dans la littérature, mais la plupart d'entre elles tournent autour de 2. Ainsi, si on estime que le taux de croissance du PNB sur l'année à venir sera de 2 %, cet effet richesse augmente le taux d'actualisation de 4 % par rapport à δ . Si le taux d'impatience δ est 1 %, cela nous donne un taux d'actualisation sur le court terme situé aux alentours de 5 % par an. C'est d'ailleurs le taux minimum de rentabilité de l'épargne que les ménages exigent pour accepter d'augmenter leur épargne, étant donné leur impatience et leur perspective de croissance de leur revenus. Une récession, c'est-à-dire une baisse de μ , réduit automatiquement le taux d'actualisation. Comme on le sait bien, les taux d'intérêt baissent lorsqu'une récession se dessine car les ménages désirent augmenter leur épargne à ce moment en vue de lisser ce choc sur leur consommation.

Ainsi, le taux d'actualisation est lié essentiellement à nos anticipations de croissance économiques. Des données fiables existent pour l'évolution du PNB réel par habitant depuis la moitié du XIX^{ème} siècle. Elles sont proposées notamment par Maddison (1991). Dans le tableau n° 1, nous reprenons quelques unes de ces données. Pour la France le taux de

croissance réel moyen du PNB par habitant a été de 1,97 % par an sur la période 1870-1990.

Tableau n° 1
Taux de croissance réel du PNB par habitant

	1870-90	1890-10	1910-30	1930-50	1950-70	1970-90
Australie	25,4 %	16,8 %	- 14,2 %	50,1 %	62,3 %	38,2 %
France	23,6 %	23,1 %	49,3 %	16,3 %	121,4 %	54,0 %
USA	40,0 %	45,7 %	24,2 %	51,8 %	48,3 %	42,0 %

Source : Maddison (1991).

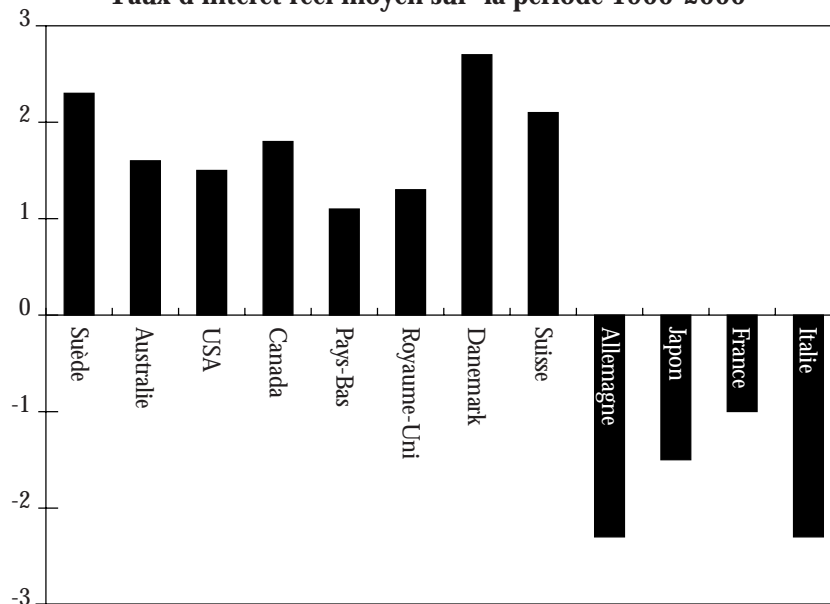
Néanmoins notre vision du futur est brouillée par l'incertitude qui pèse sur l'évolution économique de notre société, en particulier sur le très long terme : crash économique, guerres, épidémies, épuisement des ressources, épuisement des progrès scientifiques et techniques, mais aussi, plus positivement, nouvelles découvertes en biotechnologie, rentabilisation des énergies douces, meilleure organisation planétaire de la production... On retrouve d'ailleurs les effets de cet aléa dans le tableau n° 1. Comment cette incertitude pesant sur la croissance affecte le choix du taux d'actualisation pour les investissements publics ? La réponse se trouve dans le troisième terme du membre de droite de l'équation (5).

Comment l'incertitude sur le futur affecte notre désir de faire des efforts pour améliorer ce dernier ? Cette question a été abordée par de nombreux auteurs, dont Keynes quand il fait référence à la notion d'épargne de précaution. En situation d'incertitude sur leurs revenus futurs, on observe classiquement que les ménages augmentent leur épargne en vue de pouvoir être en meilleure situation d'affronter ce risque futur sur leur consommation. Un tel comportement peut s'expliquer si l'utilité marginale u' est non seulement décroissante, mais aussi convexe avec la consommation. En effet dans ce cas, la valeur marginale de l'épargne, qui se mesure par $Eu'(Z_0(1+X))$, est augmentée par l'incertitude sur X , selon l'inégalité de Jensen. Par l'équation (4), on en déduit que le taux d'actualisation s'en trouve réduit. Cela est confirmé par l'équation (5), où $P(Z_0)$ mesure cet effet de précaution caractérisé par la convexité de l'utilité marginale ($P > 0$)³. On y voit qu'une augmentation de l'incertitude sur la croissance, mesurée par σ^2 , a un impact négatif sur le taux d'actualisation efficace. Cela nous incite à investir plus pour améliorer cet avenir plus incertain, comme tout bon père/mère de famille le ferait.

Il est hélas assez difficile de quantifier cet effet de précaution sur le taux d'actualisation. Si l'on se réfère à l'approximation (5), cette quantification nécessite la connaissance de cet indice de prudence

relative. Ce travail n'a pas encore été entrepris sérieusement par les économistes. Plusieurs projets sont en cours de réalisation sur ce thème. Néanmoins, sur le court terme, nous ne sommes pas à court de munitions : si l'on suppose que les marchés financiers sont efficaces, le taux d'intérêt d'équilibre ne devrait pas s'écarter durablement du r_f donné par les équations (4) ou (5). Sur le graphique n° 1, nous avons repris les taux d'intérêts réels observés dans les pays développés durant le XX^{ème} siècle. On y découvre en particulier que le taux d'intérêt réel pour la France a été de -1 %, très loin du 8 % recommandé par le CGP ! En France et en Allemagne, les inflations des années 1930 et 1970 sont passées par là.

Graphique n° 1
Taux d'intérêt réel moyen sur la période 1900-2000



Source : Dimson, Marsh et Stauton (ABN AMRO/LBS).

En bref, un taux d'actualisation réel de 8% à court terme ne peut se justifier que pour des perspectives de croissance très élevées (autour de 3 ou 4 % par an) et une quasi absence d'incertitude sur cette croissance. Un taux compris entre 5 et 6 % paraîtrait plus compatible avec la maximisation du bien-être intertemporel⁴. Et certainement plus proche de l'observation des préférences révélées sur les marchés financiers développés durant le siècle écoulé. Mais l'essentiel de notre propos n'est pas là. Dans la partie suivante, nous considérons un horizon temporel plus éloigné, et nous déterminons les conditions pour lesquelles le taux

d'actualisation à utiliser pour cet horizon plus éloigné est plus petit que r_f .

TAUX D'ACTUALISATION ET HORIZON TEMPOREL

La section précédente nous offre un argument simple en faveur de la sélection d'un taux d'actualisation plus faible pour le long terme que pour le court terme. Cet argument se compose de deux prémices et d'une conclusion :

- l'avenir plus éloigné est plus incertain ;
- une augmentation de l'incertitude réduit le taux d'actualisation socialement efficace, sous l'hypothèse de prudence ;
- donc, il est socialement efficace de sélectionner un taux d'actualisation *plus faible* pour un avenir plus éloigné, sous cette même hypothèse.

Hélas, cet argument ne tient pas compte de l'effet richesse qui, lui, va dans un sens opposé sous l'hypothèse d'une croissance espérée positive :

- plus on considère une date éloignée dans le temps, plus élevée est la consommation espérée à cette date ;
- une augmentation de la consommation espérée future augmente le taux d'actualisation socialement efficace ;
- donc, il est socialement efficace de sélectionner un taux d'actualisation *plus élevé* pour un avenir plus éloigné.

A priori, il est difficile de dire lequel de l'argument précaution et de l'argument richesse domine l'autre. Les générations les plus éloignées seront à la fois les plus riches et celles qui supportent l'incertitude la plus importante sur leur niveau de consommation. Dans nos sacrifices pour un avenir meilleur, faut-il favoriser ces dernières au titre de cette incertitude accrue ? Ou, au contraire, faut-il les défavoriser au titre de leur richesse élevée ? La question de la relation entre taux d'actualisation et horizon temporel se trouve tout entier dans ce dilemme.

Il existe un cas particulier pour lequel la résolution de ce dilemme est sans ambiguïté. Supposons qu'il n'existe pas de corrélation sérielle dans le taux de croissance du PNB par habitant. Soit $X_t = (Z_{t+1}/Z_t) - 1$ le taux de croissance de l'économie entre la date t et $t+1$. On suppose donc que la suite de variables aléatoires X_0, X_1, X_2, \dots sont indépendantes et identiquement distribuées. À côté de cette hypothèse sur l'évolution de la croissance économique, on considère aussi une hypothèse sur les préférences. En effet, supposons que l'aversion relative au risque $R(Z)$ soit une constante γ indépendante de Z . Ceci revient à supposer que

$$u'(Z) = Z^{-\gamma} \quad (7)$$

Dans une telle configuration, on peut réécrire l'équation (3) comme

$$(1+r)^t = \frac{Z_0^{-\gamma}}{(1+\delta)^t E Z_0^{-\gamma} \prod_{\tau=0}^{t-1} (1+X_\tau)^{-\gamma}} = [(1+\delta)E(1+X_0)^{-\gamma}]^{-t}$$

Ceci implique que $r_t = r_1$ pour tout t , ou encore que le taux d'actualisation est indépendant de l'horizon temporel. La courbe des taux dans cette économie devrait être complètement plate.

Proposition 1 : *Supposons que la croissance du PNB par habitant suive une marche aléatoire, et que l'aversion relative au risque soit constante. Alors, le taux d'actualisation socialement efficace est indépendant de l'horizon temporel.*

La proposition 1 décrit une situation où les effets richesse et de précaution se compensent exactement. Ce résultat constitue une référence habituelle dans la littérature relative à la structure par terme des taux d'intérêt. Néanmoins, on peut critiquer les deux hypothèses qui sont faites pour aboutir à ce résultat de ce modèle simple. Pouvons-nous supposer que la croissance économique suit une marche aléatoire ? Et est-il acceptable de supposer que l'aversion relative au risque est constante ? Dans la suite de cette section, nous revenons séparément sur ces deux hypothèses.

Il existe très peu d'études empiriques relatives à la constance de l'aversion relative au risque. L'étude la plus récente est celle d'Ogaki et Zhang (2002), qui examinent les partages de risque au sein de communautés rurales en Inde et au Pakistan. Ils valident l'hypothèse de la décroissance de l'aversion relative au risque. Ce trait des préférences individuelles est aussi compatible avec l'observation que les investisseurs plus riches investissent une part plus importante de leur richesse en actifs risqués. Sous l'hypothèse d'aversion relative au risque décroissante avec la richesse, l'effet richesse - qui est proportionnel à l'aversion relative au risque - perd de son importance pour des horizons temporels plus éloignés. Il implique donc une décroissance du taux d'actualisation avec l'horizon. Gollier (2002a) prouve le résultat suivant de façon formelle.

Proposition 2 : *Supposons que la croissance économique suive une marche aléatoire croissante. Alors, le taux d'actualisation socialement efficace est décroissant avec l'horizon temporel si, et seulement si, l'aversion relative au risque est décroissante avec la richesse.*

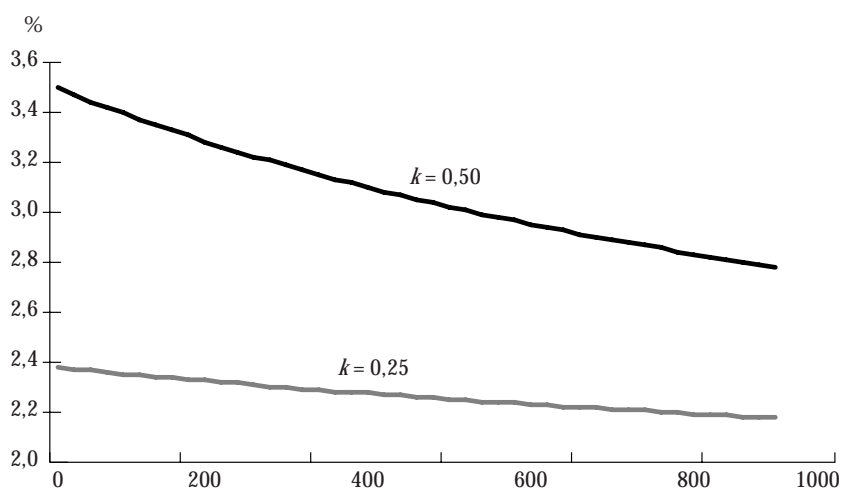
À titre illustratif, considérons une économie avec un agent représentatif disposant d'une fonction d'utilité u telle que

$$u(Z) = \frac{(Z-k)^{1-\gamma}}{1-\gamma} \quad Z > k, \quad (8)$$

où $k > 0$ peut être interprété comme le seuil minimal de subsistance et où l'aversion relative $R(Z) = \gamma Z(Z-k)^{-1}$ est décroissante. Dans la suite, nous considérons le cas $\gamma=2$. Supposons de plus que, pour chaque période de 20 ans, le taux de croissance du PNB par habitant soit égal à 75 % (ou 2,8 % par an) ou 0 %, respectivement avec probabilité 0,63 et 0,37⁵. Sur le graphique n° 2, nous présentons la structure par terme du taux d'actualisation socialement efficace pour des horizons temporels

jusqu'à 900 ans (avec $\delta=1\%$). La courbe pleine correspond à $k=50\%$ du PNB par habitant actuel, tandis que la courbe hachurée correspond à $k=25\%$. Pour $k=50\%$, le taux d'actualisation à court terme est de 5% , pour se réduire jusqu'à $3,8\%$ pour des horizons temporels très éloignés.

Graphique n° 2
Structure par terme du taux d'actualisation



La courbe pleine est pour $k=50\%$ du PNB/hbt actuel, tandis que la courbe tramée correspond à $k=25\%$.

Notons que pour obtenir le résultat de la proposition 1, nous avons supposé que la marche aléatoire n'était jamais décroissante, c'est-à-dire que la probabilité que la croissance soit négative est nulle. C'est de toute évidence une hypothèse très irréaliste qui est relâchée dans Gollier (2002b), au prix d'un important alourdissement des développements mathématiques.

Tournons-nous maintenant vers l'autre hypothèse centrale du résultat de référence présentée dans la proposition 1, celle qui concerne la marche aléatoire. Cochrane (1988) a pu mettre en évidence avec les données de la croissance du PIB réel par habitant aux États-Unis durant le XX^{ème} siècle l'existence d'un phénomène de retour à la moyenne sur des horizons de 20 ans. Les périodes de 20 ans à forte croissance sont en général suivies de périodes de 20 ans de faible croissance et réciproquement. En quoi cette observation affecte notre attitude face aux investissements à long terme ? Gollier (2002c) examine cette question. Il existe une intuition assez simple à ce problème : si une autocorrélation négative existe sur la croissance économique d'une période à l'autre,

cette dernière réduit le risque accumulé sur de longues périodes par rapport à l'hypothèse de marche aléatoire. Ceci diminue la force de l'effet de précaution qui tendait à réduire le taux d'actualisation pour le long terme. En conséquence, ce phénomène de retour à la moyenne tend à réduire notre désir à investir pour le très long terme. En d'autres termes, il tend à augmenter le taux long par rapport au taux court.

Néanmoins, les États-Unis semblent constituer une exception. Dans la plupart des autres pays développés, les autocorrélations sont positives⁶. Elles tendent à accroître l'incertitude de long terme par rapport à la marche aléatoire pure. Elles justifient de prendre un taux d'actualisation décroissant avec l'horizon de temps. Gollier (2002c) montre que l'obtention d'un tel résultat nécessite quelques précautions supplémentaires sur la relation statistique des X_0, X_1, \dots . On dit que X_0 et X_1 ont une corrélation stochastique positive si une hausse de la réalisation de $X_0 = x$ déplace la distribution de X_1/x vers la droite au sens de la dominance stochastique de premier degré.

Proposition 3 : L'existence d'une corrélation stochastique positive réduit le taux d'actualisation de long terme si la prudence relative $P(\cdot)$ est uniformément plus grande que 1.

Il est difficile de quantifier l'impact de cette autocorrélation sur le taux d'actualisation de long terme. Cent années d'observation des taux de croissance du PNB par habitant sont largement insuffisantes pour mesurer des corrélations sur des périodes de vingt ans. Comme nous le faisait remarquer Robert Shiller, la corrélation négative observée aux États-Unis provient essentiellement du fait que « les trente glorieuses » ont succédé à la récession des années trente. Baser notre vision sur l'évolution de nos économies pour le millénaire à venir peut sembler un peu hasardeux !

DISCUSSION DES RÉSULTATS ET EXTENSIONS

Dans cette partie, nous commençons par discuter de quelques hypothèses du modèle lui-même.

- *Croissance durable*

Dans la partie précédente, nous avons fait l'hypothèse que le taux espéré de la croissance sur le long terme n'est pas différente de celui de court terme. Ceci impliquait que l'effet richesse était proportionnellement le même pour tous les horizons de temps. Si l'on se place dans une perspective historique, les taux de croissance que nous avons observé depuis la Révolution industrielle constituent une exception. Certains historiens pensent que le Français moyen ne vivait pas mieux à la veille de la révolution que le Grec moyen à la période classique. Un taux de



croissance de 2 % par an est-il durable ? Si l'on pense que ce n'est pas le cas, l'effet richesse devient moindre sur le long terme, ce qui justifie de réduire le taux d'actualisation de long terme par rapport au court terme.

- *Consistance dynamique*

On entend souvent dire que si le taux d'actualisation n'est pas constant, alors nos décisions ne seront pas dynamiquement consistantes, c'est-à-dire que les décisions que nous considérons comme optimales aujourd'hui ne le seront plus demain malgré l'absence d'information nouvelle. Ce sujet a été remis à la mode depuis quelques années avec les travaux de Ainslie (1992), Laibson (1997), et moins récemment par Phelps et Pollack (1968) et Strotz (1956). Ces différents auteurs considèrent un modèle de préférences individuelles dans lequel le taux utilisé en t pour actualiser un transfert d'utilité entre $t+1$ et $t+2$ n'est pas le même que celui utilisé en $t+1$ pour ce même transfert. En d'autres termes, ils supposent un modèle alternatif au modèle (1) où le même taux d'impatience δ est utilisé à chaque instant. Parce que notre modèle maintient le taux d'impatience δ constant avec l'horizon temporel, la séquence de choix est dynamiquement consistant, même quand le taux d'actualisation socialement efficace est, lui, dépendant de l'horizon. Ceci montre une fois de plus le risque que comporte la confusion très répandue entre taux d'impatience (qui actualise des utilités) et taux d'intérêt (qui actualise des bénéfices financiers).

- *Stabilité des préférences*

Nous avons supposé que les générations futures évalueront leur bien-être avec la même fonction d'utilité u que les générations actuelles. Notons que ceci n'oblige pas les générations futures à avoir le même degré d'aversion au risque et de prudence que nous. Si elles sont plus riches, elles auront moins d'aversion au risque et moins de prudence, sous les hypothèses d'aversion et de prudence décroissantes avec la richesse. Pour ces traits spécifiques des préférences, il n'y a pas de raison suffisante pour croire que le temps les affectera. Ceci dit, rien n'empêche d'introduire une incertitude sur l'évolution de la forme fonctionnelle de u dans le temps.

- *Agrégation des préférences*

Nous avons supposé pour simplifier que tous les individus avaient les mêmes préférences caractérisées par la fonction u , et que la richesse était équitablement distribuée dans l'économie. Ces deux hypothèses peuvent être relâchées, au prix d'un accroissement de la complexité du modèle. Le modèle présenté dans cet article peut être interprété comme la version réduite d'un modèle plus général avec préférences hétérogènes et inégalité dans la distribution des richesses. La difficulté réside alors dans l'agrégation de ces préférences pour aboutir à la fonction d'utilité u de « l'agent représentatif ». On peut par exemple, comme Gollier

(2001b), s'interroger sur l'impact de l'inégalité de la distribution des richesses futures sur le choix du taux d'actualisation.

Finalement, nous proposons quelques éclairages plus généraux sur les implications de nos travaux pour l'analyse coût-bénéfice. En particulier nous discutons quelques coutumes françaises consistant à intégrer dans le taux d'actualisation des choses qui n'ont rien à y faire. Le taux d'actualisation pour un horizon temporel spécifique est un « taux de change » qui a vocation à être unique⁷. Vouloir l'adapter au gré des applications spécifiques pour tenir compte de telle ou telle spécificité, c'est obscurcir le débat. Mieux vaut faire apparaître explicitement ces spécificités dans l'évaluation des coûts et des bénéfices à actualiser.

- *Prix relatifs*

De nombreux biens verront leurs prix relatifs évoluer avec les modifications structurelles de l'économie. Il est important que l'évaluation des *cash-flows* de chaque investissement se fasse au prix du marché (pour les biens privés) ou à la propension à payer (pour les biens publics), en tenant compte de ces évolutions anticipées. Le cas le plus classique est celui des ressources non renouvelables, pour laquelle la règle d'Hoteling nous dit que les prix relatifs augmenteront au taux d'intérêt.

- *Incertitude sur les cash flows*

La plupart des projets d'investissement public générera des bénéfices incertains. Comment prendre en compte cette incertitude dans l'analyse ? Certainement pas par une modification nécessairement arbitraire du taux d'actualisation ! Plusieurs cas de figure sont possibles. Le plus simple se pose lorsque le risque sur les *cash flows* est faible et indépendant du risque macroéconomique. Dans une telle situation, étudiée par Arrow et Lind (1970), l'approche consistant à actualiser les bénéfices sociaux espérés est optimale. Par contre, si le risque est indépendant mais n'est pas marginal par rapport au risque macroéconomique, une prime de risque devra être intégrée à l'analyse coût-bénéfice. Néanmoins, parce que l'aversion au risque est un phénomène du second ordre, cette prime de risque n'aura un impact réel que sur des risques réellement considérable. Finalement, si les risques sont corrélés au risque sur la croissance économique, le modèle d'évaluation des actifs financiers (Medaf) constitue une bonne référence pour calculer ces primes de risque. Bien entendu, si les projets contiennent des éléments d'irréversibilité, des valeurs d'options doivent être intégrées aux calculs.

- *Assurabilité et équité*

Il paraît aujourd'hui important de considérer avec une bienveillance particulière les projets qui bénéficient avant tout aux plus démunis, ainsi que ceux qui réduisent des risques réputés inassurables. Une société peut accorder une valeur à la réduction des factures sociales. Dès lors que l'on est d'accord sur une fonction de bien-être social, on peut monétariser les

réductions des inégalités et intégrer ces bénéfiques dans les *cash flows* à actualiser. De même, il faut valoriser particulièrement la prévention des risques que la société a du mal à socialiser. Cela se fait dans l'analyse par la prise en compte des primes de risques majorées à cause de leur mutualisation imparfaite (voir Gollier, 2002d).

L'émergence d'une conscience accrue des risques collectifs qui nous assaillent et de notre capacité à les prévenir nous impose de hiérarchiser nos efforts. Définir nos priorités face à la multiplicités des possibilités d'action est une tâche rendue particulièrement délicate par les horizons temporels en cause. Après tout, ce n'est que tout récemment que les économistes ont été interpellés (mais le sont-ils vraiment ?) pour débattre de dommages potentiels auxquels ni nous, ni nos enfants ou petits-enfants, mais des individus vivants dans mille ans et plus auront à faire face. Le choix de taux d'actualisation efficaces touche un élément vital de l'humanité dans son engagement à faire des efforts pour préserver une qualité de vie sur terre. Nous avons voulu démontrer dans ce texte que maintenir un taux d'actualisation de 8 % par an constitue une aberration économique, en particulier dès lors qu'il est appliqué pour des coûts et des bénéfices supportés dans un lointain avenir.

NOTES

1. Dans ce texte, nous raisonnons systématiquement en réel. Les taux d'actualisation sont des taux réels, et tous les *cash-flows* sont exprimés en euros de 2002.
2. Voir par exemple Gollier (2001a, chapitre 17).
3. Voir Leland (1968), Drèze et Modigliani (1972) et Kimball (1990).
4. Ce taux d'actualisation à court terme devrait pouvoir fluctuer au gré des évolutions de nos perspectives de croissance à court terme, ainsi qu'au gré de l'incertitude qui pèse sur elles.
5. Cette variable aléatoire binaire a été choisie parce qu'elle a la même moyenne et la même variance que la croissance du PNB par habitant sur la période 1870-1990 telle que observée au tableau n° 1 pour la France.
6. Voir Cogley (1990).
7. Voir l'argument d'arbitrage rappelé dans l'introduction. Accepter de réaliser un investissement ayant un rendement social r_1 et ne pas réaliser un autre investissement dont le rendement social r_2 est plus grand que r_1 , c'est aller contre le bien public.

BIBLIOGRAPHIE

- AINSLIE G.W., (1992), *Picoeconomics*, Cambridge University Press, Cambridge UK.
- ARROW K.J., and R.C. LIND, (1970), « Uncertainty and the evaluation of public investment decision », *American Economic Review*, 60, 364-378.
- BARSKY R.B., F.T. JUSTER, M.S. KIMBALL et M. SHAPIRO, (1997), « Preference parameters and behavioral heterogeneity: An experimental approach in the health and retirement study », *Quarterly Journal of Economics*, 537-79.
- COCHRANE J.H., (1988), « How big is the random walk in GNP? », *Journal of Political Economy*, 96, 893-920.

- COGLEY T., (1990), « International evidence on the size of the random walk in output », *Journal of Political Economy*, 98, 501-518.
- COX J., INGERSOLL J., and S. ROSS, (1985a), « A theory of the term structure of interest rates », *Econometrica*, 53, 385-403.
- COX J., INGERSOLL J., and S. ROSS, (1985b), « An intertemporal general equilibrium model of asset prices », *Econometrica*, 53.
- DIMSON E., P. MARSH et M. STAUNTON, (2000), *The Millenium book : A century of investment returns*, ABN-AMRO, Londres, <http://www.abnamro.com>
- DREZE J. H. et F. MODIGLIANI, (1972), « Consumption decisions under uncertainty », *Journal of Economic Theory*, 5, 308-335.
- GOLLIER C., (2001a), *The economics of risk and time*, MIT Press, Cambridge.
- GOLLIER C., (2001b), « Wealth inequality and asset pricing », *The Review of Economic Studies*, 2001, 68, 181-203.
- GOLLIER C., (2002a), « Discounting an uncertain future », *Journal of Public Economics*, à paraître.
- GOLLIER C., (2002b), « Time horizon and the discount rate », *Journal of Economic Theory*, à paraître.
- GOLLIER C., (2002c), « Transitory shocks to GNP and the consumption-based term structure of interest rates », mimeo.
- GOLLIER C., (2002d), « Insurability », mimeo.
- KIMBALL M. S., (1990), « Precautionary savings in the small and in the large », *Econometrica*, 58, 53-73.
- LAIBSON D., (1997), « Golden eggs and hyperbolic discounting », *Quarterly Journal of Economics*, 443-477.
- LELAND H., (1968), « Savings and uncertainty: The precautionary demand for savings », *Quarterly Journal of Economics*, 45, 621-36.
- MADDISON A., (1991), *Phases of Economic Development*, Oxford Economic Press.
- OGAKI M., and Q. ZHANG, (2002), « Decreasing relative risk aversion and tests of risk sharing », *Econometrica*, à paraître.
- PHELPS E. S., et R. A. POLLACK, (1968), « On second-best national saving and game-equilibrium growth », *Review of Economic Studies*, 35, 185-199.
- STROTZ R. H., (1956), « Myopia and inconsistency in dynamic utility maximization », *Review of Economic Studies*, 23, 165-180.