

Durabilité et Croissance de la Population : Quel Critère de Choix Social, Quelle Règle de Hartwick

Guillaume Commenge
Ecole d'Economie de Paris et Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne

November 27, 2009

Abstract

On tente ici d'apporter une comparaison entre les critères de choix social rawlsien et utilitariste, où l'utilité prise en compte sera soit totale soit moyenne, lorsque l'on cherche à identifier des sentiers de croissance durable. Le concept d'épargne véritable s'impose de plus en plus comme l'outil de mesure de la durabilité : la règle d'investissement de Hartwick est la référence en cela qu'elle caractérise de tels sentiers. Nous analyserons son utilisation dans un modèle de Dasgupta-Heal-Solow-Stiglitz augmenté, en supposant une population non constante et des services d'aménités fournis aux individus. Il est alors mis en évidence que le critère rawlsien est plus fort que l'utilitarisme de même que l'utilité moyenne retrouve un fondement qui ne pose pas des problèmes d'éthique. Si l'on souhaite conserver l'emploi de l'utilité totale, une redéfinition de l'épargne véritable est nécessaire pour qu'une règle d'investissement à la Hartwick fonctionne. Enfin, on montrera que la comptabilité verte ne peut se passer de la règle d'investissement de Hartwick pour rendre compte de la durabilité de la croissance, ce qui rend son utilisation secondaire.

1 Introduction.

L'objet principal de cet article était de porter un regard sur les effets d'une population non constante dans le modèle DHSS et de vérifier alors la possibilité de sentiers de croissance durable. Au fur et à mesure de l'analyse, il apparaissait de plus en plus important que le critère de bien-être fut intimement lié avec la caractérisation de tels sentiers, et pouvait aussi, pour la définition de la durabilité retenue ici, modifier la règle de Hartwick. C'est pourquoi on propose ici tout d'abord un travail comparatif entre différents critères : rawlsien et utilitariste, et en considérant pour chacun d'eux soit l'utilité totale des générations soit l'utilité d'un seul individu de chaque génération (i.e. l'utilité moyenne, compte tenu de l'hypothèse d'homogénéité des individus), confrontés à la caractérisation de sentiers de croissance durables. Pour cela on se référera à la règle

d'investissement de Hartwick. Ensuite, à la lumière des résultats obtenus, on cherchera à savoir ce que pourrait enseigner, toujours à propos de la durabilité, la tenue d'une comptabilité dite « verte ».

Le modèle canonique DHSS suit des travaux de Dasgupta et Heal (1974 [6]), Solow (1974 [12]) et Stiglitz (1974 [13]) qui s'intéressaient à une économie fermée dotée de deux types d'actifs, un capital manufacturé et un capital naturel : une ressource non renouvelable de laquelle on extrayait un input de la production finale. Ils caractérisaient alors les sentiers optimaux de production, de consommation et d'extraction de la ressource. En cela la règle de Hotelling (1931 [9]) est la référence : le long du sentier optimal d'extraction la productivité marginale de la ressource (son rendement) croît au taux d'intérêt réel. Dans ce contexte, les travaux de Hartwick (1977 [8]) ont mis en évidence une règle d'investissement en capital permettant à un sentier optimal de satisfaire l'équité intergénérationnelle : selon la définition de Solow (1974) la consommation par tête est constante dès lors que les rentes issues de l'extraction de la ressource sont investies en capital manufacturé. On considèrera ici une version modifiée de la durabilité dans la mesure où l'on tiendra compte de services d'aménités fournis aux individus par la ressource naturelle. Il s'agira alors de maintenir au moins constante l'utilité des individus, non pas seulement la consommation par individu. Une telle condition vérifiée à chaque période servira à définir un sentier de croissance dit durable. Egalement avec la prise en compte d'un "actif" population la règle de Hartwick sera modifiée pour prendre en compte l'accroissement en valeur de cet actif, comme il tient compte de celui du stock de ressource non renouvelable.

Il existe aujourd'hui une littérature vaste sur le problème de la durabilité. Il a été introduit dans les modèles la notion d'épargne véritable comme mesure de la durabilité : cette définition de l'épargne prend en compte la valeur de l'accroissement de tous les actifs présents dans l'économie, et sa nullité signifie alors la règle d'investissement de Hartwick. On peut renvoyer à Buchholz, Dasgupta et Mitra (2002 [4]) pour une liaison complète de cette règle d'investissement avec la durabilité. C'était le principal objectif du présent article de porter un regard sur cette liaison en introduisant une population non constante avant d'approfondir la réflexion sur le critère de choix social et une redéfinition de l'épargne véritable, donc de la règle de Hartwick. D'un autre côté la comptabilité verte, introduite en particulier par les travaux de l'Organisation des Nations Unies, propose de redéfinir la richesse en ajoutant aux comptes nationaux habituels des comptes satellites des autres actifs de l'économie non pris en compte (on pense en particulier aux capitaux naturels et humain), ce qui pourrait constituer une mesure de la durabilité. A la suite de cette décennie sont apparus de plus en plus de travaux sur l'introduction d'une population non constante. Dans les modèles il est cependant plusieurs divergences de conception quant au critère de bien-être, à la forme de l'augmentation de la population et au critère de durabilité. Egalement, comme l'avaient effectué Dasgupta et Mitra, on ne retrouve pas toujours une mise en relation complète entre la règle d'investissement de Hartwick d'un côté, et l'optimalité et la durabilité (au sens de Solow du moins) d'un autre. On souligne un premier travail d'Arrow, Das-

gupta et Mäler (2003 [1]) qui a inspiré une suite de recherches sur l'accroissement de la population. Cependant celui-ci ne traite pas de l'extraction des ressources, bien qu'il mette en lien règle de Hartwick et durabilité, sous utilitarisme total et dynamique moyen, et prend pour durable un bien-être intertemporel positif. Asheim (2004 [2]) étend leur analyse et permet la prise en compte de capitaux naturels : il fournit différentes propriétés relatives aux mesures de la durabilité (règle de Hartwick et comptabilité verte) dans le cadre d'un modèle général en variables globales puis par tête mais également pour une durabilité vue par le bien-être dynamique (en utilité totale). Ce dernier inspiré par Samuelson (1961 [11]) ne garantit pas une équité entre toutes les générations : il est possible que l'utilité décroisse certaines périodes tant que cela sera compensé par des accroissements plus élevés dans le futur ou dans le passé, et le sentier sera malgré tout dit durable. Pezzey (2004 [10]) fournit toujours dans un modèle généralisé avec possibilité d'aménités environnementales des tests de non soutenabilité pour un critère utilitariste plus large (un paramètre pondère la taille de la population) mais ne tient compte que du cas de croissance exponentielle de la population. En outre le critère de durabilité pris en compte, qui se définit par la vérification que l'utilité à la période considérée ne dépasse pas un seuil fixé au niveau d'utilité maximal soutenable sur une horizon infinie, ne semble pas signifier la durabilité au sens de Solow. On sera plus proche ici de d'Autume et Schubert (2008 [3]) qui dans un modèle DHSS tiennent compte de services d'aménités fournis par la ressource naturelle aux individus, avec l'introduction d'une population non constante, et où le planificateur social est rawlsien. Cependant il n'est pas entièrement caractérisé le lien entre règle de Hartwick et durabilité, ni n'est fournit une analyse de la comptabilité verte dans ce contexte.

On s'intéresse ici à une forme proche du modèle DHSS où le travail (ou la population de manière équivalente) suivra son propre sentier de croissance exogène ; il est également des services d'aménités fournis aux individus par la ressource naturelle. Cela permet de prendre en compte l'existence d'externalités sur le bien-être social dues à la dégradation environnementale. La première interrogation concernera le critère de choix social à adopter pour permettre une caractérisation complète des sentiers de croissance durable. On retiendra ici le critère rawlsien, qui correspond de lui-même à la recherche de sentiers durables, dans la mesure où l'on entend que de tels sentiers permettent de garantir au moins le même niveau d'utilité à chaque période (ce qui correspondrait au critère de Solow de consommation constante s'il n'y avait de services d'aménités). Plus précisément on redonnera un fondement au recours à la prise en compte de l'utilité moyenne et non totale, qui, à la suite de Dasgupta (2001 [5]), était mis à l'écart car éthiquement non défendable. Nous verrons qu'un critère fondé sur l'utilité totale nécessite, dans le contexte d'une population non constante et pour le critère de durabilité retenu, une redéfinition de l'épargne véritable donc une révision de la règle de Hartwick. On n'exclura pas le critère utilitariste pour permettre une large comparaison de différentes fonctions de bien-être social. On aura ainsi quatre critères de bien-être : utilitarisme moyen et total (maximisation de la somme infinie des utilités, soit de toute la génération d'une période

soit de son agent représentatif, pondérées), et rawlsianisme (ou maximin) moyen et total (maximisation de l'utilité moyenne ou totale de la génération la moins bien lotie). La seconde interrogation portera sur la capacité de la comptabilité verte à rendre compte de ces sentiers de croissance durable. Nous verrons ce que la durabilité entraîne comme sentier de croissance de cette mesure du revenu national, mais en revanche il sera montré qu'un tel niveau de croissance du revenu vert n'entraîne pas la durabilité : cela dépendra du niveau d'investissement en capital manufacturé de l'économie.

L'article est organisé comme suit : la deuxième partie présente le modèle théorique et les conditions d'optimalité. Dans la troisième partie on étudie la durabilité selon la règle de Hartwick pour différents critères de bien-être. La quatrième partie traitera, pour une vision du bien-être rawlsien ou millien, de la comptabilité verte. On conclura en cinquième partie.

2 Le modèle et l'optimalité.

L'approche utilitariste habituelle propose un critère de choix social intertemporel de la forme suivante :

$$W = \int_0^{\infty} e^{-\rho t} V dt$$

Avec ρ le taux d'escompte de l'utilité future et V la fonction d'utilité instantanée. L'utilitarisme total, ou benthamien, qui consiste à tenir compte de la taille totale de la population dans cette dernière est un premier traitement du cas de population non normalisée et non constante. D'un autre côté, on peut considérer l'utilitarisme moyen, ou millien : on chercherait alors à maximiser le bien-être d'un individu représentatif au sein de chaque génération sans tenir compte de la taille de cette génération.

En considérant l'homogénéité des individus, cette fonction d'utilité V peut être :

$$\begin{cases} V^T = N_t U & (\text{utilité totale}) \\ V^M = U & (\text{utilité moyenne}) \end{cases}$$

Où U représente alors l'utilité individuelle instantanée et N_t la taille de la population à la date t . On se permet cette simplification d'écriture de la fonction V dans la mesure où l'on considère des individus homogènes. Leur pondération s'effectuera selon leur temporalité (taux d'escompte ρ) et non selon le nombre de leurs contemporains : dans une approche d'utilitarisme total, une population plus importante devrait avoir proportionnellement plus d'importance. On prendra alors la fonction d'utilité suivante :

$$V = N_t^\delta U$$

Avec $\delta = \{0, 1\}$ selon le poids accordé à la taille des générations.

Comme je le soulignais en introduction, on considère la définition de la durabilité suivante :

Definition 1 *Un sentier de croissance est durable si à chaque période le long de ce sentier l'utilité est soutenable i.e si $\frac{\dot{U}}{U} \geq 0$*

Cette conception de la durabilité est donc directement reliée au critère de choix social maximin dans la mesure où l'objectif est de maintenir au moins le même niveau d'utilité aux différentes générations. On cherche ici à fournir une comparaison entre ces deux critères généraux (utilitarisme et maximin) et la considération de l'utilité (moyenne ou totale). Ce qui va pouvoir se faire aisément compte tenu du point suivant.

D'Autume et Schubert (2008) ont rappelé pour le cas des fonctions d'utilité à élasticité de substitution constante le passage d'un critère à l'autre, dans la mesure où ces fonctions sont des fonctions min dès que l'élasticité de substitution tend vers 0. On impose alors la restriction suivante à la fonction d'utilité :

$$U(.) = \frac{u(.)^{1-\frac{1}{\sigma}}}{1-\frac{1}{\sigma}}$$

Où σ est l'élasticité de substitution intertemporelle entre les composantes de u .

On considère ici deux entrants dans la fonction d'utilité individuelle : la consommation par tête et également des services d'aménités fournis par la ressource naturelle. Ces derniers ont un double intérêt. D'une part ils permettent une considération sociale des dégradations environnementales, laquelle est de plus en plus forte aujourd'hui et doit donc être prise en compte dans les modèles économiques avec ressource non renouvelable, d'autant plus s'il s'agit de porter un regard « vert » et d'apprécier la durabilité du système. D'autre part, cela permet des sentiers de consommation plus crédibles : puisque la ressource naturelle a, logiquement, tendance à diminuer, la consommation devra s'accroître continuellement pour compenser la perte de bien-être due à la diminution des services d'aménité (au lieu de rester constante). Nous avons alors, en notant c_t la consommation individuelle et S_t le stock de ressource naturelle, le critère de choix social suivant:

$$W = \int_0^{\infty} e^{-\rho t} \frac{u(c_t, \frac{S_t}{N_t})^{1-\frac{1}{\sigma}}}{1-\frac{1}{\sigma}} dt \quad (1)$$

δ prendra la valeur de 0 ou 1 selon que l'on s'intéresse à l'utilité moyenne ou totale, et σ tendra vers 0 lorsque l'on passera du critère utilitariste au critère rawlsien ce qui permettra d'avoir un regard facilité sur ces quatre critères de bien-être. Par commodité, on gardera en général U pour l'expression de l'utilité individuelle instantanée.

On s'intéresse ici à un cas de croissance de la population qui est indépendant de l'activité économique, ou de politiques de natalités. Il s'agirait plutôt de

penser à des formes logistiques de la croissance de la population, de telle sorte que la position sur la courbe serait en relation avec le niveau de développement d'un pays (en début de courbe une croissance forte de la population serait un pays en développement et une croissance faible représenterait un pays des moins avancés, en fin de courbe une croissance faible et proche de sa valeur stationnaire désignerait un pays développé). On garde pour l'instant une forme générale de l'accroissement de la population, et on note :

$$\dot{N}_t = \varphi(N_t) \quad (2)$$

Cette relation représente la première équation d'accumulation d'un actif dans notre modèle. Pour traiter correctement notre problème avec population non constante, il est bien reconnu que la population est considéré comme un stock, et donc une variable d'état du problème de maximisation. Les deux autres équations se retrouvent dans le modèle canonique DHSS : l'accumulation du capital comme reste de la production après consommation, et la diminution de la ressource due à son extraction.

$$\dot{K}_t = F(K_t, R_t, N_t) - N_t c_t \quad (3)$$

avec K_t le stock de capital manufacturé, R_t le montant de ressource naturelle extrait pour la production en date t, et F la technologie de production.

On a enfin :

$$\dot{S}_t = -R_t \quad (4)$$

$$K_0, S_0, N_0 \text{ donnés} \quad (5)$$

Le problème est alors de maximiser la fonction (1) sous les conditions (2) à (5). On obtient le Hamiltonien suivant, en valeur présente :

$$\mathcal{H}_t = N_t^\delta U + \mu_t (F(K_t, R_t, N_t) - N_t c_t) - \nu_t R_t + \lambda_t \varphi(N_t)$$

où μ_t, ν_t, λ_t représentent respectivement les variables de co-état des variables d'état K_t, S_t et N_t . Les variables de contrôle sont c_t et R_t .

Les conditions suivantes à la résolution du problème sont les suivantes :

$$F_K = \rho - \frac{\dot{\mu}_t}{\mu_t} \quad (6)$$

$$\frac{\dot{U}_c}{U_c} = \rho - F_K \quad (7)$$

$$F_R = q_t \quad (8)$$

Avec $q_t = \frac{\nu_t}{\mu_t}$ la valeur de la ressource relativement à celle du capital

$$\frac{\dot{F}_R}{F_R} = F_K - \frac{U_s}{U_c} \quad (9)$$

On note $s_t = \frac{S_t}{N_t}$ les services d'aménités par personne. Cette condition est la règle de Hotelling quelque peu modifiée en présence de services d'aménité. Le taux de croissance de la productivité marginale de la ressource naturelle (ou son rendement) n'est plus seulement la productivité marginale du capital (autrement dit, le taux d'intérêt réel), mais est augmentée du ratio $\frac{U_s}{U_c}$ (on est en droit de s'attendre à ce que F_R et U_c soient positifs alors que U_s serait négatif). Le rapport des utilités marginales représente la valeur fictive de l'aménité de la ressource naturelle, ce ratio représente donc la valeur relative (par rapport à la ressource) des services d'aménité. Il faut alors voir ici que le rendement social de la ressource naturelle doit croître au rythme du gain marginal du capital (son rendement) et de la valeur relative des services d'aménité. à entendre comme la compensation qu'il faudrait verser aux individus pour l'utilisation marginale de la ressource. relativement au gain marginal que l'on obtient de son utilisation. On peut également l'écrire, avec (7) :

$$\frac{\dot{q}_t}{q_t} = F_K - \frac{U_s}{U_c} \quad (10)$$

Enfin, on a :

$$\dot{\pi}_t = \pi_t (F_K - \varphi' (N_t)) + \left(c_t + \frac{U_s}{U_c} s_t - \delta \frac{U}{U_c} - F_N \right) \quad (11)$$

Où $\pi_t = \frac{\lambda_t}{\mu_t}$ la valeur de l'accroissement de la population relativement à celle du capital.

C'est seulement dans cette dernière condition qu'il apparait un changement selon le choix d'un critère d'utilité totale ou moyenne. La différence entre ces deux considérations aboutit sur la présence ou non du terme $\frac{U}{U_c}$ interprété communément comme la valeur de la vie (Arrow et al. 2003). L'idée est que ce ratio représente la disposition à sacrifier sa consommation pour un accroissement marginal de la probabilité de survie. Dans notre contexte, l'individu ne peut choisir lui-même ses services d'aménité. On peut donc dire que *ceteris paribus*, i.e. à niveau de services donnés, les courbes d'indifférences entre la consommation et la probabilité p de survie sont les courbes sur lesquelles $pU(c_t)$ est constant, et on a bien $p \frac{dc}{dp} = -\frac{U}{U_c}$ soit la valeur de la vie pour une probabilité de survie égale à 1 dès le départ.

Le ratio $\frac{U_s}{U_c}$ représente le prix des services d'aménités. Ainsi, la valeur de l'accroissement de la population, ou la valeur des « nouveaux nés », augmente selon la valeur présente (escomptée au taux $F_K - \varphi'$) et d'un deuxième terme affecté par le choix du critère d'utilité, ce qui apparait naturel dans une telle condition. Ce terme contient les gains et les pertes en termes d'utilité et de produit par la présence d'un individu supplémentaire dans la société. Plus précisément, il représente la valeur des consommations d'un individu au sens

large (consommation de bien final et services d'aménités) nette de son apport productif et, pour le critère d'utilité totale, nette de sa propre valeur.

Pour mieux comprendre comment différencier ce terme selon les critères d'utilité totale ou moyenne, prenons le cas d'une fonction d'utilité U homogène de degré 1 en ses deux arguments (c_t et s_t). La valeur de la vie est justement la valeur de sa consommation au sens large : $U = U_c c + U_s s$ donc $\frac{U}{U_c} = c + \frac{U_s}{U_c} s$. Alors dans ce cas, la valeur de l'individu ne compte plus lorsque le critère est l'utilité totale : il ne reste que l'apport marginal à la production, mais elle demeure lorsque le critère est l'utilité moyenne. Cela peut apparaître contradictoire avec ce qui a été établi dans Dasgupta (2001) mais la société accorde une valeur plus importante à l'accroissement de la population lorsqu'elle désire maximiser le bien-être d'un individu représentatif de chaque génération plutôt que maximiser le bien-être de la génération entière. Cette différence sera fondamentale dans l'analyse des mesures de la durabilité.

3 Durabilité et épargne véritable.

On connaît les conditions qui permettent de suivre un sentier de croissance optimal. On peut distinguer les conditions sur les prix (ou plutôt les valeurs relatives) des actifs, relations (6), (8) et (10), sur le sentier de consommation, relation (7), et sur le sentier d'extraction de la ressource, relation (9). On considèrera pour la suite que l'on se situe sur un sentier optimal, donc que ces conditions seront vérifiées.

On cherche désormais un sentier optimal tel qu'il soit soutenable. Hartwick (1977) a caractérisé un tel sentier dans le modèle canonique DHSS par une règle d'investissement particulière : les rentes issues de l'extraction de la ressource doivent être investies en capital manufacturé ou autrement dit, l'épargne véritable doit être nulle.

Attardons nous sur ce concept d'épargne. Dans notre contexte, l'épargne véritable noté G inclut le stock de capital physique et de capital naturel, estimé à sa valeur relative q_t , ainsi que le « stock » population, estimé lui aussi à sa valeur relative π_t . On définit alors :

Definition 2 *L'épargne véritable à la date t est :*

$$G_t = \dot{K}_t + q_t \dot{S}_t + \pi_t \dot{N}_t \quad (12)$$

Une épargne véritable nulle signifie alors que les rentes de l'extraction de la ressource déduites de la valeur de l'accroissement de la population sont investies en capital physique (en vertu de (4)) :

$$\dot{K}_t = q_t R_t - \pi_t \dot{N}_t \quad (13)$$

On cherche à savoir si cette règle d'investissement permet de vérifier la conception de croissance durable ci-présente (i.e. l'utilité est soutenable, dans le

sens qu'elle demeure au moins identique pour chaque génération), et également de savoir si cette règle est caractéristique des sentiers durables.

Pour étudier la règle de Hartwick, il s'agira donc de discuter l'équivalence entre règle de Hartwick et durabilité. Nous procédons également en deux temps : discuter tout d'abord la proposition « si le sentier de croissance est optimal et soutenable alors la règle de Hartwick est vérifiée » et ensuite « si la règle de Hartwick est vérifiée et le sentier est optimal alors ce dernier est durable ».

On obtient les résultats suivants, selon le critère de choix social pris en compte :

Proposition 1.

Pour un critère maximin d'utilité moyenne et totale, et un critère millien (utilitarisme moyen) :

$$\text{si } \frac{\dot{U}}{U} = 0 \text{ alors } \dot{K}_t = F_R R_t - \pi \dot{N}_t$$

L'inverse de la règle de Hartwick est vérifié sauf dans le cas d'un critère de choix social benthamien (utilitarisme total).

Proposition 2.

Pour un critère de choix social benthamien :

$$\text{si } \dot{K}_t = F_R R_t - \pi \dot{N}_t \text{ alors } \frac{\dot{U}}{U} = -\frac{\dot{N}_t}{N_t}$$

On remarque deux points essentiels : la durabilité au sens de la définition 1 n'est pas vérifiée, par contre l'utilité totale est durable. Pour ces critères de choix social, chaque génération aura un bien-être durable ($N_t U$ constant) mais chaque individu pris séparément dans chaque génération verra son bien-être diminuer tant que la population augmentera.: le planificateur social peut maintenir le bien-être tel qu'il le considère (le bien-être de toute la génération) en profitant de l'accroissement de la population, donc d'un flux supplémentaire d'utilité, pour diminuer celle d'un individu pris à part. de sorte que la somme des utilités (individuellement inférieure désormais) sur une population plus grande reste inchangée. Cette vision pose alors un problème d'éthique qui n'apparaissait pas avec Dasgupta (2001).

Il semble clair que la production de bien final est insuffisante pour satisfaire les besoins de consommation des nouveaux individus, ou de manière équivalente pour compenser la perte de services d'aménité. Chercher à voir si une plus grande accumulation de capital permettra une augmentation suffisante de la consommation pour pallier d'une part à une population plus grande et d'autre part à des services d'aménités diminuant. éclairera sur la cause de cette inéquité. On établit les éléments suivants:

Claim *Lorsque le critère de choix social concerne l'utilité totale, l'épargne véritable devrait être:*

$$G_t = \dot{K}_t + q_t \dot{S}_t + \left(\pi_t - \frac{U}{U_c} \right) \dot{N}_t \quad (14)$$

Definition 3 *La règle d'investissement modifiée est :*

$$\dot{K}_t = F_R R_t - \left(\pi_t - \frac{U}{U_c} \right) \dot{N}_t \quad (15)$$

On a alors le résultat suivant :

Proposition 3.

Pour un critère benthamien, et une épargne véritable définie par (13) :

$$\text{si } \dot{K}_t = F_R R_t - \left(\pi_t - \frac{U}{U_c} \right) \dot{N}_t \text{ alors } \frac{\dot{U}}{U} \geq 0 \text{ dès lors que } \rho \geq 1 - \varphi'$$

On remarque donc qu'une correction sur la valeur de l'accroissement de la population permet d'avoir une règle d'investissement à la Hartwick qui garantit la durabilité au sens de la définition 1. Il s'agit de comprendre que, quelque soit le critère de choix du planificateur social, la valeur de l'accroissement de la population doit tenir compte de la valeur de la vie actuelle pour déterminer une règle d'investissement qui permette la soutenabilité de l'utilité individuelle.

Il est nécessaire de vérifier une condition sur le niveau du taux d'escompte de l'utilité future. Ce dernier dépend alors de l'accélération de la population. Il est donc possible d'une part que ce taux soit modifié à chaque période, et devienne même négatif lors de fortes accélérations. Cette condition n'est cependant ni contraignante ni irréaliste, le taux d'escompte maximal qu'il faudrait pour garantir la relation précédente serait de 1, lorsque la population a atteint son niveau constant de long terme.

Cette règle d'investissement permet au sentier optimal d'être soutenable au sens de la définition 1. Il s'agit d'investir en supplément la valeur intrinsèque de chaque nouvel individu de la société. On avait vu dans la section 1 que la valeur de l'accroissement de la population ne tenait pas compte de la valeur de la vie. Réintégrer cette valeur dans l'épargne véritable permet d'obtenir la durabilité de l'utilité de chaque individu.

Il apparaît enfin ce dernier résultat qui dès lors semble naturel :

Proposition 4.

Pour un critère rawlsien d'utilité moyenne et totale, et un critère millien :

$$\text{si } \dot{K}_t = F_R R_t - \pi \dot{N}_t \text{ alors } \frac{\dot{U}}{U} = 0$$

Les propositions 1 et 4 redonnent donc du sens au concept d'utilité moyenne et semblent même faire preuve d'une meilleure éthique lorsque l'on s'intéresse au problème de durabilité de la croissance. En outre le critère rawlsien apparaît plus fort que l'utilitarisme en vertu de la propriété 1. Dès lors que le critère de choix social est rawlsien ou millien, la règle de Hartwick est une équivalence : si cette

règle d'investissement est choisie, un sentier de croissance durable est optimal et un sentier optimal est durable. Inversement un sentier de croissance durable et optimal implique nécessairement la règle d'investissement de Hartwick. Il n'est pas possible d'obtenir un résultat si général pour le critère benthamien. Enfin, pour qu'une règle d'investissement à la Hartwick (i.e. qui tienne compte de l'accumulation de tous les actifs de l'économie) signifie la durabilité, il faut dans tous les cas que la valeur de l'accroissement de la population tienne compte de la valeur de la vie à la période où elle est appliquée. Ce n'est pas établi directement dans les propositions pour le cas du critère de choix social rawlsien moyen, mais dans la mesure où dans l'équation (11) le terme $\frac{U_s}{U_c}$ disparaît lorsque σ tend vers 0, il demeure une certaine valeur des individus dans l'équation ($c_t + \frac{u_s}{u_c} s_t$ qui est la valeur de la vie pour U homogène de degré 1).

On passe maintenant à l'analyse d'une autre mesure de la durabilité : la comptabilité verte.

4 Durabilité et produit national vert.

A la lumière des propriétés précédentes, on va étudier la mesure du produit national net vert (GNNP pour « Green Net National Product ») et du produit national net vert élargi (GNNPA pour « Green Net National Product Augmented ») lorsque le critère de choix social est rawlsien ou millien. On définit, en accord avec notre modèle et des différents stocks existant :

Definition 4 $GNNP = Y_t + F_R \dot{S}_t + \pi_t \dot{N}_t$

Avec Y_t le produit national net (égal à la production dans notre modèle).

Definition 5 $GNNPA = Y_t + F_R \dot{S}_t + \pi_t \dot{N}_t + \frac{U_s}{U_c} S_t$

Le produit national net vert augmenté prend en compte la notion de consommation au sens large, c'est-à-dire qu'on y inclut la valeur des services d'aménité de la ressource naturelle.

On cherche à savoir si tenir une telle comptabilité nationale permettrait de rendre compte de sentiers de croissance optimaux et durables. On redéfinirait alors la croissance des richesses non pas à travers la croissance du produit national mais à travers la croissance du produit national vert, qui, on l'espère, puisse correspondre à des sentiers de croissance soutenables.

Pour de tels indicateurs, on obtient les propriétés suivantes :

Proposition 5.

Si le sentier de croissance est optimal et soutenable, alors :

$$\begin{aligned} G\dot{N}NP &= \dot{C}_t \\ G\dot{N}NPA &= \dot{C}_t + \left(\frac{U_s}{U_c} S_t \right) \end{aligned}$$

Ce résultat n'est pas étonnant puisque pour soutenir l'utilité la consommation doit croître afin de compenser la perte de bien être due à la diminution des services d'aménité. Le produit vert augmenté tient compte en plus du produit vert simple de la perte en valeur du stock de ressource, à entendre comme les services d'aménités fournis à l'ensemble des individus.

On raisonne maintenant dans l'autre sens et on cherche à savoir ce que signifierait une croissance nulle de ces indicateurs.

Proposition 6.

$$Si \dot{GNNP} = 0 \text{ alors } \frac{N_t}{U_c} \dot{U} = F_K G_t + \dot{C}_t$$

$$Si \dot{GNPA} = 0 \text{ alors } \frac{N_t}{U_c} \dot{U} = F_K G_t + \dot{C}_t + \left(\frac{U_s}{U_c} S_t \right)$$

Il est évident qu'une croissance nulle ne pourrait conduire à des sentiers optimaux ou soutenables satisfaisants au regard de la propriété 5. On a donc en corollaire :

Corollaire $Si \dot{GNNP} = \dot{C}_t \text{ ou } si \dot{GNPA} = \dot{C}_t + \left(\frac{U_s}{U_c} S_t \right) \text{ alors } \frac{\dot{U}}{U} = 0$

Ce qu'il est important de remarquer c'est que même si la croissance des richesses apparait suffisante, il n'y a pas de garantie que sentiers optimal et durable soient équivalents. La bonne règle d'investissement n'est pas nécessairement vérifiée donc ces mesures de la richesse ne constituent pas des mesures de la durabilité. Il faut en effet pour rétablir l'équivalence entre optimalité et durabilité que l'épargne véritable soit nulle, mais cette condition vérifiée signifie elle-même que l'équivalence est vérifiée.

5 Conclusion.

A travers ce modèle déterministe d'économie extractrice avec une population non constante qui tient compte des services d'aménités fournis par la ressource naturelle, on a pu mettre en évidence les critères de bien-être permettant d'utiliser la règle de Hartwick pour rendre compte de la durabilité, dans le sens de maintenir le bien-être au moins constant au cours du temps. On a pu ainsi établir qu'un critère fondé sur l'utilité moyenne est préférable à l'utilité totale, lequel nécessite alors une redéfinition de l'épargne véritable pour trouver une règle d'investissement durable ; et qu'on obtient une relation complète entre épargne véritable d'un côté, et optimalité et durabilité d'un autre côté lorsque ce critère est rawlsien plutôt qu'utilitariste. Enfin, pour les critères de bien-être les plus en accord avec la règle de Hartwick, on a pu mettre en évidence que la comptabilité verte (produit national net vert et produit national net vert augmenté) ne pouvait pas rendre compte directement d'une croissance durable. Il demeure que la croissance des richesses selon ces deux mesures, même si elle est à un niveau suffisant, ne garantit pas la durabilité : elle n'entraîne pas forcément le montant nécessaire d'investissement qui permettrait à la consommation de

croître suffisamment pour compenser la perte de bien-être liée à l'utilisation de la ressource.

Je conclurai avec deux remarques. Tout d'abord sur les extensions de ce modèle : il n'apparaît aucun moyen à la société de fournir un effort qui puisse réduire la dégradation environnementale, alors qu'il serait légitime de penser que ce dernier puisse exister sans pour autant ôter le caractère non-renouvelable de la ressource. Aussi, bien que la forme de la fonction d'utilité puisse rendre compte de dommages environnementaux, il n'est pas traité ici la présence de pollutions, où apparaîtrait alors pertinent, compte tenu des prises de conscience actuelles, une qualité globale de l'environnement. Egalement une forme plus large de l'accroissement de la population incluant une action gouvernementale permettrait d'introduire la notion de capital humain, préférable au « capital population ». Enfin il est à traiter de l'ouverture extérieure, ce qui est très peu vu dans la littérature théorique sur la durabilité, et d'autant plus nécessaire en présence de population non constante. Il est ensuite de considérer l'applicabilité de la mesure de la croissance durable : on a mis en évidence que la comptabilité verte ne constituait pas une réponse substituable à la règle de Hartwick. Cependant, nous savons que trop la difficulté pratique de pouvoir procéder au calcul de l'épargne véritable compte tenu de l'absence ou de l'imperfection des marchés, donc des valeurs de certains actifs naturels ou sociaux. Il apparaît malgré tout qu'il est plus pertinent d'aborder le problème de la mesure de la durabilité par les stocks plutôt que par les comptes nationaux. Ici sont présentés les déterminants de la valeur de la population; la valeur de la vie et le salaire réel, qui paraît donc difficilement mesurable mais offre une perspective plus abordable par la mesure de la consommation au sens large.

References

- [1] Arrow, K.J., Dasgupta, P., Mäler, K.-G., 2003 : The Genuine savings and the value of population, *Economic theory*, 20, 217-225 (2003)
- [2] Asheim, G., : Green national accounting with a changing population, *Economic theory*, 23, 601-619 (2004)
- [3] Autume (d'), A., Schubert, K. : Hartwick's rule and maximin paths when the exhaustible resource has an amenity value, *Journal of Environmental Economics and Management*, 56(3), 260-274 (2008)
- [4] Buchholz, W., Dasgupta, S., Mitra, T. : Intertemporal equity and Hartwick's rule in an exhaustible resource model, *Scandinavian Journal of Economics*, 107(3), 547-561 (2002)
- [5] Dasgupta, P.: *Human well-being and the natural environment*, Oxford University Press (2001)
- [6] Dasgupta, P., Heal, G.: The optimal depletion of exhaustible resources, *Review of Economic Studies* (symposium); 3-28 (1974)

- [7] Dixit, A., Hammond, P., Heal, M. : On Hartwick's rule for regular maximin paths of capital accumulation and resource depletion, *Review of economic studies*, 47, 551- 556 (1980)
- [8] Hartwick, J.: Intergenerational equity and the investing of rents from exhaustible resources, *American Economic Review*, 66(5), 972-974 (1977)
- [9] Hotelling, H. : The economics of exhaustible resources, *Journal of Political Economy*, 39, 137-175 (1931)
- [10] Pezzey, J. : One-sided sustainability tests with amenities, and changes in technology, trade and population, *Journal of Environmental Economics and Management*, 48(1), 613-631 (2004)
- [11] Samuelson, P.A.: The evaluation of social income : capital formation and wealth. In : Lutz, F.A., Hague, D.C. (eds.) *The theory of capital*, p. 32-57, New York : St Martin's Press (1961)
- [12] Solow, R.: Intergenerational equity and exhaustible resources, *Review of Economic Studies* (symposium), 29-45 (1974)
- [13] Stiglitz, J.E. : Growth with exhaustible natural resources : efficient and optimal growths paths, *Review of economic studies*, 41, 123-137 (1974)