

L'ÉPARGNE NETTE RÉ-AJUSTÉE

Céline Antonin

OFCE, Observatoire français des conjonctures économiques

Thomas Mélonio

Agence Française de Développement

Xavier Timbeau

OFCE, Observatoire français des conjonctures économiques

Cet article discute de la pertinence théorique et de la validité empirique du principal indicateur de soutenabilité utilisé dans les travaux de recherche et discuté dans les forums internationaux, l'épargne nette ajustée. Après avoir rappelé le contexte de sa conception théorique et la méthodologie qui le sous-tend, l'article pointe certaines limites importantes de l'épargne nette ajustée telle qu'elle est calculée aujourd'hui par la Banque mondiale. Des innovations sont introduites dans le calcul : la dépréciation du capital éducatif, une prise en compte plus exhaustive des émissions de carbone et un prix social du carbone plus élevé. Ces changements modifient sensiblement les conclusions optimistes, en matière de soutenabilité globale, que l'on peut tirer des données que la Banque mondiale publie.

Mots-clés : épargne nette ajustée, dépréciation du capital éducatif, émissions de carbone.

« Our problem is not one of the kind of measure to use, for we have no choice about that; it is a problem of the meaning which we can give to the measures which we have to employ »

John Hicks (1958)

Il y a plus de 20 ans, Atkinson et Pearce (1993) ou Repetto au World Resource Institute (1989) proposaient les premiers calculs d'un indicateur de soutenabilité. Ils soustrayaient à l'investissement brut en capital produit, tel que mesuré traditionnellement par la comptabilité nationale, non seulement la dépréciation du capital fixe, pour obtenir un investissement (matériel) net mais également la dépréciation d'un capital naturel ou l'épuisement des ressources minières ou énergétiques. Le but de leur évaluation était de jauger si l'extraction des ressources ou la déforestation entraînait un pays sur une trajectoire de développement ou, au contraire, alimentait la consommation imprévoyante d'un stock épuisable de richesses.

La notion de soutenabilité, employée par ces auteurs, qui est largement retenue aujourd'hui, dérive de l'énoncé proposé par la commission Brundtland (1987), à savoir « subvenir aux besoins de la génération actuelle sans compromettre la capacité des générations futures à en faire de même ».

La transposition de cette définition dans un contexte économique s'est faite à travers la notion de « soutenabilité faible » selon laquelle l'épuisement de certaines ressources et dégradation de l'environnement peuvent être compensés par l'accumulation d'autres ressources (productives) ou l'amélioration de certains aspects de l'environnement. Par opposition la « soutenabilité forte » est définie comme la préservation en l'état des ressources ou de la nature. Ce que l'on perd en environnement ne peut pas être compensé par ce que l'on gagne en prospérité, développement ou accumulation de capital physique.

La mise en œuvre de ce critère de soutenabilité faible pose de nombreuses difficultés théoriques et empiriques, comme nous nous proposons de l'illustrer. La définition du prix (relatif) à appli-

quer à la mesure du stock de capital (en volume) ou à l'état de l'environnement (concentration en CO₂, pollution) ne va pas de soi. Un schéma d'équilibre général intertemporel, reliant sphère productive, sociale et environnementale est nécessaire. Dans une première partie, nous rappellerons les termes de ce schéma tel qu'il est établi aujourd'hui.

Le prix permet de représenter de façon continue la « faiblesse » de la soutenabilité. Plus une ressource est substituable à d'autres qui sont disponibles en abondance, moins son prix relatif est élevé. Ce sont les coûts de production ou d'extraction qui déterminent le prix. Au contraire, lorsqu'une ressource est rare et qu'il n'en existe pas de substitut, ni dans la production ni dans la consommation, son prix transcrit sa rareté et peut devenir infini. Dans le cas général, le prix concentre toute l'information sur la trajectoire future (et donc les raretés relatives), mais cela suppose que l'on connaisse cette trajectoire. Ce dernier point est incontournable et rend la méthode fragile, puisqu'elle repose sur une chimère. Comme l'énonce le rapport de la commission Stiglitz-Sen-Fitoussi (2009), la construction d'un indicateur de soutenabilité ne peut se faire sans référence à une projection dynamique de la trajectoire des économies et de leur insertion dans la biosphère. Une représentation correcte de la dynamique du stock de capital ou de la ressource environnementale est ainsi nécessaire. Tout ce qui fait évoluer le stock en plus ou en moins doit être pris en compte sous peine d'une vision biaisée du futur et donc de la conformité des choix actuels à l'idéal de soutenabilité.

Après avoir dans une première partie défini le cadre d'équilibre général dans lequel nous nous plaçons, nous aborderons dans la deuxième partie deux ajustements au vaste travail empirique réalisé par la Banque mondiale (Hamilton *et al.*, 2006), illustrant à la fois les difficultés théoriques et empiriques. Ces ajustements portent sur l'évaluation du capital humain (ou plus précisément du capital éducatif, en prenant en compte la dépréciation de ce capital) et sur la mesure des dégradations liées au changement climatique (prise en compte plus exhaustive des émissions de gaz à effet de serre, imputation des émissions aux consommateurs et non aux producteurs, valorisation plus importante des dommages). Ils conduisent à revoir la conclusion optimiste de la Banque mondiale sur la compatibilité entre développement rapide et soutenabilité.

1. Les conditions de la pertinence de l'épargne nette

L'indicateur de soutenabilité que nous retenons est proche de la notion de « vrai revenu » définie par Hicks (1946) : la consommation maximale autorisée sans dégrader le stock de capital. Cette notion n'est pas éloignée des réflexions de Nordhaus et Tobin (1971) sur la croissance. Ils plaidaient pour que l'on ne s'attache pas à mesurer ce qui est produit, mais à prendre en compte ce qui contribue en plus ou en moins au bien-être, ce qui conduit à une mesure du bien-être (MEW, *Measure of Economic Welfare*). Après le MEW, un pas a été franchi en évaluant les dégradations de capital naturel, ce que Nordhaus et Tobin évoquaient, et en proposant d'étendre la notion de capital à des biens souvent publics, non produits, éventuellement dégradés par l'activité humaine. Ceci suppose une méthode pour estimer à la fois le volume des dégradations (ou des augmentations) et leur valeur. C'est ainsi que Cobb et Daly (1989) ont défini l'ISEW (*Indicator of Sustainable Economic Welfare*), extension du MEW de Nordhaus et Tobin. En réduisant à un indice l'évolution du capital naturel, il est alors possible de l'ajouter aux évaluations de la comptabilité nationale et ainsi de construire une comptabilité nationale verte (*Green National Accounts*). En généralisant la notion de capital, la voie est ouverte à la prise en compte de façon large des facteurs contribuant au bien-être.

La construction d'un indice pour évaluer la consommation courante et l'évolution de stocks de capital suppose de définir des prix relatifs. Weitzman (1976) a proposé une interprétation du concept de produit national net comme étant l'équivalent stationnaire de la valeur nette des flux de consommation futurs. La construction du concept de produit national net est faite à partir d'une optimisation dynamique d'une fonction d'utilité, les prix relatifs découlant de la maximisation. En notant $W(t)$ le flux actualisé d'utilité, appelée richesse, le programme de contrôle optimal est la maximisation de W sous les contraintes d'évolution du stock de capital K , nécessaire à la production du bien homogène, d'un stock d'une ressource S , exploitée de R à chaque période (en reprenant les notations de Dasgupta (2001) :

$$W(t) = \int_t^{\infty} U(C) \cdot e^{-\rho(s-t)} ds ; \dot{K} = f(K, R) - C ; \dot{S} = g(S) - R .$$

Le hamiltonien actualisé du système s'écrit :

$$H = U(C) e^{-\rho t} + p_K e^{-\rho t} \dot{K} + p_S e^{-\rho t} \dot{S} .$$

Weitzman (2003) interprète ce hamiltonien comme le revenu actualisé. La résolution du programme indique que la richesse W en t ne dépend que des conditions initiales $K(t)$ et $S(t)$, R et C étant défini par le programme d'optimisation. Le hamiltonien est alors le produit du taux de préférence pour le présent de l'agent représentatif de toutes les générations et de la richesse, ce qui fonde son interprétation en tant que revenu (généralisé). Les prix implicites du programme d'optimisation sont les incréments marginaux de la richesse pour une augmentation marginale des stocks (ou variables d'état), c'est-à-dire les prix comptables (*accounting prices*) :

$$H = \rho W, \\ p_K = \frac{\partial W}{\partial K}; p_S = \frac{\partial W}{\partial S} .$$

Le produit national net (de la comptabilité nationale) est alors la linéarisation du hamiltonien, lorsque S n'intervient pas et que l'utilité ne dépend que de la consommation (l'utilité étant définie à une transformation affine près, voir Weitzman, 2000). Ce hamiltonien linéarisé est calculable dès lors que l'on connaît les volumes de consommation, les évolutions des stocks de capital (l'investissement net) et les prix. Le produit national net élargi, ou ajusté, ou véritable, noté *NNPa* intègre le stock de la ressource naturelle S :

$$H_{\text{linéarisé}} = U'(C_0)(C - C_0) + U(C_0) + p_K \dot{K} + p_S \dot{S} \Leftrightarrow H_t = C + p_K \dot{K} + p_S \dot{S} \\ NNP = C + p_K \dot{K}; NNP_a = C + p_K \dot{K} + p_S \dot{S}$$

Le cadre ainsi posé permet d'associer à toutes les variables d'état un prix¹. Les variables d'état à chaque instant déterminent entièrement le système, puisqu'elles sont les conditions initiales appliquées au programme d'optimisation à partir de la date t . L'écriture de leur dynamique, de la façon dont elles interviennent dans la fonction de production ou dans l'utilité définit alors le prix et permet de construire le produit national élargi (voir par exemple Dasgupta, 2001 ; Weitzman, 2003). La notion de variable d'état va

1. Selon la terminologie de l'optimisation dynamique, les variables sont les variables d'état dont la dynamique est définie par les variables de contrôle.

au-delà de l'accumulation matérielle de capital productif ou de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. En affectant un prix aux différentes variables d'état, il est possible de les ajouter en utilisant les prix comme des pondérations, ce qui construit le produit national net ajusté ou le stock de capital élargi. Le modèle peut inclure toute les dimensions du bien-être et pas seulement celles qui font l'objet de choix décentralisés. Les prix implicites peuvent être mesurés directement sur le marché (en considérant que les prix de marché sont bien les prix sociaux), ou indirectement par des préférences révélées en mesurant la rente (le prix moins le coût privé de production) ou en utilisant une modélisation où les coûts ou bénéfices sociaux (intégrant les externalités) sont explicitement représentés et diffèrent des prix de marché, lorsqu'ils existent.

Ainsi, dans la présentation adoptée ici, l'utilité ne dépend pas du loisir², mais cette hypothèse peut être levée. Le prix implicite du loisir correspond à l'utilité marginale de celui-ci. En spécifiant des dynamiques particulières, posant des contraintes technologiques, naturelles ou institutionnelles, il est possible de dériver de cette optimisation dynamique les prix à appliquer pour construire le revenu élargi. Hamilton (2000) et Hamilton et Clemens (1999) en donnent quelques variations selon les grandes dynamiques possibles. Pour simplifier, on a considéré implicitement que la population était constante. Dasgupta (2001) discute ce point. Il montre que si les évolutions de la population sont prévisibles, exogènes et ne modifient pas le bien-être, alors il suffit de raisonner sur les grandeurs *per capita* en tenant compte d'un effet de dilution de la richesse *per capita* lorsque la population augmente.

Lorsque l'on suit une trajectoire optimale, les prix implicites intègrent toute l'information (présente et future) sur la trajectoire. Dans le cas (hypothétique, mais ici considéré comme canonique) d'une information parfaite, de l'absence d'externalité et en accep-

2. Une littérature abondante discute l'interprétation initiale de Weitzman (1976). Il considère par exemple non pas l'utilité mais la consommation, négligeant les conséquences de la convexité de l'utilité ou de la nécessité de prendre en compte le loisir ; il se limite au cas d'une économie « optimale », sans imperfections ou incertitudes ; il interprète le revenu national en niveau comme étant homothétique au bien-être, ce qui n'est en substance pas possible, les prix étant marginaux et donc sans lien avec le surplus. Dasgupta et Mäler (2000), Asheim (2000), Asheim *et al.* (2003) et Arrow *et al.* (2010) soulignent les limites de l'interprétation de Weitzman et proposent des solutions partielles à ces problèmes. Weitzman (2000) propose néanmoins une explicitation des approximations de son approche.

tant le critère de maximisation de l'utilité entre les générations avec un taux de préférence pour le présent donné, les prix implicites sont égaux aux prix de marché. La contribution de Weitzman donne dans ce cadre extrême une interprétation simple de la construction comptable. Une approche peut être élargie au cas où il n'y a pas de prix de marché, mais où l'économie est contrôlée par un planificateur omniscient et bienveillant. Le prix que l'on doit appliquer est défini par la fonction d'utilité sociale que le planificateur applique.

L'épargne nette (*NS*) est alors définie comme la différence entre le produit national net (*NNP*) et la consommation courante :

$$NS = NNP - C_t = p_K \dot{K}; NSa = p_K \dot{K} + p_S \dot{S}$$

Une trajectoire maximisant la richesse ne conduit pas nécessairement à une trajectoire soutenable. Formellement, une trajectoire soutenable est définie dans ce cadre comme une trajectoire où la richesse ne décroît jamais. Sur une telle trajectoire, l'épargne nette (ajustée) est positive, le stock de capital (élargi) augmente et chaque génération laisse aux suivantes plus que ce qu'elle a reçu. Lorsqu'au contraire l'épargne nette (ajustée) est négative, ce stock décroît. Cette propriété, dite « règle de Hartwick », a été analysée formellement par Hartwick (1977). Dans un univers simple, elle peut paraître triviale ; l'apport de Hartwick étant de montrer qu'elle s'applique en présence d'une ressource épuisable dès lors que le prix de celle-ci suit la règle de Hotelling. Cela suppose alors que la ressource épuisable est suffisamment substituable au bien qui s'accumule afin que l'épuisement soit compensé par un stock de plus en plus grand de capital.

Solow (1974), quelques années auparavant, avait justifié cette règle comme découlant d'un principe d'équité intergénérationnelle inspiré de Rawls et donc tranchant avec la maximisation de la valeur actualisée de l'utilité d'un individu représentatif de toutes les générations. Solow nous rappelle que l'individu représentatif, particulièrement des générations futures, est une fable commode mais insatisfaisante et de plus trompeuse.

Les conditions pour que la notion d'épargne nette soit un indicateur pertinent de soutenabilité sont fortes. Il faut calculer des prix implicites pour les variables d'état pertinentes ; il faut

connaître la loi de leur évolution pour en apprécier les évolutions nettes ; il faut définir un taux d'actualisation qui pose des questions éthiques non résolues ; il faut établir une projection de la trajectoire et ne pas simplement compter sur l'utilisation de l'information passée (et observée) pour nourrir le diagnostic. Ces conditions sont drastiques et découlent des éléments théoriques survolés plus haut. Dasgupta et Mäler (2000) et Dasgupta (2001) analysent ces conditions dans un cadre plus général où la trajectoire n'est pas optimale dans un sens aussi strict que celui décrit ici. Comme le remarquent judicieusement Blanchet, Le Cacheux et Markus (2009), lorsque la trajectoire est optimale et l'information parfaite, il n'est pas nécessaire de disposer d'un critère de soutenabilité : la connaissance parfaite de la trajectoire permet de juger si elle est soutenable ou non. En ne supposant que la cohérence dynamique, Dasgupta et Mäler retrouvent localement les conditions principales que l'on obtient dans le cas de « trajectoire optimale ». Une épargne nette positive dans le cas d'une information imparfaite assure que la richesse ne va pas décroître dans le futur immédiat. En l'absence d'une connaissance parfaite du futur, on ne peut conclure globalement quant à la soutenabilité du système.

Blanchet, Le Cacheux et Markus (2009), à partir de simulations numériques, montrent que l'épargne nette peut être un indicateur avancé de soutenabilité dans un certain nombre de cas raisonnables en introduisant une dose d'incertitude. Après une revue détaillée de la littérature sur l'épargne ajustée et la soutenabilité, le chapitre 3 du rapport de la commission Stiglitz-Sen-Fitoussi (2009) conclut que l'appréciation de la soutenabilité suppose à la fois une approche dynamique anticipant le futur, et normative, définissant l'importance relative attribuée aux générations futures, jugeant les risques ou les sacrifices que l'on est prêt à faire aujourd'hui à l'avantage ou au détriment des générations futures et donnant une valeur relative à tout ce qui nous entoure et nous entourera. Parmi ces choix normatifs, le pari de la substituabilité entre les ressources épuisables et les biens capitaux produits, *i.e.* la notion de soutenabilité faible, est un choix important, comme l'affirme Hamilton (2000). Dasgupta et Heal (1979), parmi d'autres, ont montré qu'une trajectoire soutenable n'était pas possible sans ces substitutions. L'intégration des risques et de l'incertitude dans le cadre du raisonnement apparaît cependant fondamentale, mais elle est pour

le moment embryonnaire. Les scénarios d'évolution de l'épargne nette, comme les utilisent Blanchet, le Cacheux et Markus (2009) ou Arrow *et al.* (2010) sont un instrument pertinent pour associer projections sur le futur et jugement sur la soutenabilité.

2. Les applications empiriques

Les premières études empiriques d'Atkinson et Pearce (1993) ou Repetto et WRI (1989) concluent que les économies des pays en développement peuvent être insoutenables, n'investissant pas assez les ressources dont ils disposent, alors que les pays développés seraient sur des trajectoires soutenables, puisqu'ils épuisent moins les stocks de ressources renouvelables ou l'environnement qu'ils n'accumulent des stocks de capital physique. L'analyse de Repetto et du WRI portait sur l'Indonésie et concluait aux gaspillages des dotations en ressources naturelles du pays. Pearce et Atkinson montraient, en étudiant 13 pays, un contraste spectaculaire entre des pays non soutenables (l'Indonésie, le Mali, le Nigeria entre autres) et des pays soutenables (les États-Unis, l'Allemagne, le Japon ou le Costa Rica).

On retrouve ce message favorable au développement dans l'ensemble des publications de la Banque mondiale. Au début des années 1990, la Banque mondiale a largement contribué au développement de ces indicateurs, tant empiriquement que théoriquement (Bolt, Matete et Clemens, 2002 ; Hamilton, 2000 ; Hamilton et Clemens, 1999 ; Pezzey, 1992 ; World Bank, 1995). Le volume 5 de la revue *Environment and Development Economics* de l'année 2000 rassemble des contributions de et autour des travaux de la Banque mondiale sur la soutenabilité (Vincent, 2000). C'est dans l'ouvrage *Where is the Wealth of Nations ?*, publié par la Banque mondiale (Hamilton *et al.*, 2006) que se trouve le point d'orgue de cette approche. L'épargne nette ajustée est calculé pour 120 pays et la Banque mondiale donne accès sur son site à une mise à jour régulière des indicateurs d'épargne ajustée (<http://go.worldbank.org/VLJHBLZP71>).

Au capital productif usuel de la comptabilité nationale, la Banque mondiale a ajouté des données sur des variables supplémentaires qui enrichissent notablement l'analyse. L'investissement en éducation y est ainsi traité en comptant l'ensemble de la

dépense éducative publique, en fonctionnement comme en investissement dans les structures physiques. Le prix retenu pour la dépense éducative est le prix conventionnel de la comptabilité nationale, c'est-à-dire le coût de production des services éducatifs. Ce prix est un prix d'*input* et non pas d'*output* ; il ne retranscrit pas des gains ou des pertes de qualité dans le processus éducatif. En prenant en compte la dépense éducative, l'épargne nette ajustée est largement augmentée. Nous discuterons dans la suite des limites de l'approche de la Banque mondiale en matière de capital humain et nous proposerons une alternative chiffrée.

La Banque mondiale comptabilise également les consommations en ressources naturelles minières ou d'énergies fossiles. Il s'agit ici des extractions brutes, sans prendre en compte les découvertes, et le prix de comptabilisation suit la logique évoquée en première section ; Atkinson *et al.* (1997), Hamilton (2000) et Hamilton et Clemens (1999) dérivent d'un programme de maximisation le prix à appliquer aux extractions de pétrole. Le prix appliqué est la rente unitaire, c'est-à-dire le prix de marché moins le coût d'extraction local moyen. La comptabilisation des forêts suit la même logique, à ceci près que c'est l'exploitation nette de la repousse des arbres (reforestation) qui est multipliée par la rente (le prix moins le coût de production). Le traitement différent de la repousse et des découvertes de nouvelles ressources minières tient à ce que la repousse des forêts est une dynamique soit naturelle soit nécessitant un coût bien identifié. La découverte de nouvelles ressources minières est soupesée soumise à des coûts croissants.

Enfin, deux sortes de pollutions atmosphériques sont prises en compte. D'une part, les émissions de CO₂ liées aux combustions d'énergie fossile et à la fabrication de ciment, qui ont un impact sur le changement climatique. Celles-ci sont valorisées à 20 dollars de 1995 la tonne de carbone (soit 5,5 dollars de 1995 la tonne de CO₂). D'autre part, les émissions de petites particules (moins de 10 microns de diamètre) dans les villes de plus de 100 000 habitants font l'objet d'une estimation par une méthode hédonique (c'est-à-dire celle du consentement à payer pour la réduction de la pollution d'une unité). Il y aurait sans doute bien d'autres types de pollution à intégrer dans l'épargne nette (souffre, oxyde d'azote, pollution des eaux, etc.). La disponibilité des données et le manque

d'évaluations raisonnables de leur prix implicite justifie en partie qu'ils ne soient pas inclus dans l'indicateur de la Banque mondiale.

Le rapport de la commission Stiglitz-Sen-Fitoussi (2009) énonce un ensemble d'éléments à ajouter pour mieux évaluer la dégradation de l'environnement : des différentes formes de pollution de l'air à la pollution de l'eau ou encore d'autres types de dégâts infligés à la biosphère. Les projets de comptabilité environnementale comme le SEEA (*System of Environmental Economic Accounting*) devraient fournir des bases plus satisfaisantes, bien que la juste valorisation soit toujours problématique.

Notons qu'Arrow *et al.* (2010), en calculant par une méthode différente de celle de la Banque mondiale une épargne ajustée, introduisent dans les stocks deux éléments originaux. Le premier est le progrès à venir (exogène) des techniques (suivant une idée de W. D. Nordhaus, 1995) et le second concerne la santé humaine. Dans son application numérique, ce dernier élément joue considérablement. Aux États-Unis, selon ces auteurs, le gain en capital santé entre 1995 et 2000 serait de plus de 50 000 dollars de 2000 par habitant, alors que la somme de tous les autres gains ou pertes en capital (capital naturel, produit, humain, CO₂) serait de 5 000 dollars de 2000 par habitant sur la même période. La soutenabilité de l'économie américaine ne reposerait que sur l'amélioration majeure de l'état de santé de sa population ! Ce chiffre considérable masque probablement un double compte.

3. L'épargne nette ajustée selon la Banque mondiale

Dans l'ouvrage *Where is the Wealth of Nations ?* (Hamilton *et al.*, 2006) le monde apparaît comme globalement soutenable. L'accumulation nette de capital productif (issue des comptes nationaux de chacun des pays), l'accumulation de capital humain (par le biais de l'investissement dans l'éducation) compensent les dégradations environnementales, la déforestation, la consommation des ressources épuisables ou l'impact des pollutions. Les pays développés sont, quant à eux, sur une trajectoire nettement soutenable, accroissant leurs stocks de capital généralisé, par un effet d'épargne de capital productif, d'éducation, de faible consommation des ressources épuisables et de faible déforestation (voire de reforestation). La pollution et les émissions de CO₂ jouent négativement

mais faiblement et n'inversent pas le diagnostic. Le tableau 1 reprend les données de la Banque mondiale pour une sélection de pays et de zones pour l'année 2008 :

Tableau 1. Épargne nette ajustée en 2008 selon la Banque mondiale

En % du PIB	1.EB	2.CCF	3.EN =1-2	4.DE	5.CRE	6.CRM	7.CRF	8.CO2	9.PM10	10.ENA =3+4-5- 6-7-8-9
France	18,7	13,9	4,9	5,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	9,8
Italie	18,5	14,0	4,5	4,5	0,2	0,0	0,0	0,2	0,1	8,5
Allemagne	25,4	13,8	11,6	4,3	0,3	0,0	0,0	0,2	0,0	15,4
USA	12,6	14,0	-1,4	4,8	1,9	0,1	0,0	0,3	0,1	0,9
Chine	53,9	10,1	43,8	1,8	6,7	1,7	0,0	1,3	0,8	35,1
Hauts revenus (HIC)	18,5	13,8	4,7	4,6	2,0	0,2	0,0	0,2	0,1	6,8
Revenus inter. supérieurs (UMC)	23,8	12,1	11,8	4,2	9,4	1,3	0,0	0,5	0,2	4,6
Revenus inter. supérieurs (LMC)	41,1	9,6	31,4	2,3	8,1	1,4	0,2	1,1	0,6	22,4
Faibles revenus (LIC)	25,9	7,9	18,0	3,4	7,8	1,0	1,0	0,7	0,3	10,7
Monde	20,9	13,0	7,9	4,2	3,9	0,5	0,0	0,4	0,2	7,2
Pays les moins développés (LDC)	24,5	8,9	15,6	2,3	15,0	0,8	1,0	0,3	0,5	0,4
Pays pauvres endettés (HPC)	15,7	8,4	7,3	3,0	7,7	1,5	1,1	0,3	0,4	-0,7

Source : Banque mondiale (<http://go.worldbank.org/EPMTVTZOM0>), version de mai 2010. EB : épargne brute, (comptes nationaux) ; CCF : consommation de capital fixe (comptes nationaux) ; EN : EB-CCF, épargne nette ; DE : dépense d'éducation ; CRE : consommation des ressources nationales en énergie fossile ; CRM : consommation des ressources nationales minérales ; CRF : déforestation nette ; CO₂ : émissions de gaz à effet de serre ; PM10 : pollution atmosphérique en particules de moins de 10 microns ; ENA : épargne nette ajustée.

Pour les pays en développement rapide, l'accumulation de capital physique ou humain est forte, compensant les autres postes, d'autant que les pollutions sont généralement plus faibles que dans les pays développés, puisque proportionnelles au niveau de développement. Au contraire, quelques pays (notamment l'Angola, le Congo, le Tchad, le Ghana, l'Indonésie) ont une épargne nette négative, et apparaissent comme non soutenables.

Certains de ces pays sont pauvres et lourdement endettés ou sont pauvres et possèdent des ressources importantes, ce qui évoque la « malédiction des ressources ».

En conséquence, le message de la Banque mondiale est optimiste. La substituabilité entre le capital produit, l'éducation et les dommages environnementaux, peu nombreux et valorisés de façon « prudente », font que, à part dans le cas de quelques pays, le monde est globalement soutenable et que pratiquement tous les pays le sont.

Nous proposons d'affiner le diagnostic en introduisant deux ajustements principaux au calcul de l'épargne nette de la Banque mondiale. Le premier concerne l'éducation et le calcul du capital humain ou éducatif. Le second a trait aux émissions de CO₂ et leur répartition internationale.

4. La dépréciation du capital humain ou du capital éducatif

Traiter l'éducation comme un capital a rencontré de nombreuses critiques. L'analogie est commode entre l'ensemble des connaissances accumulées et incorporées ou non dans les individus et un stock de capital. Prise de façon stricte, elle peut conduire à des contresens. Par exemple, ce « capital humain » n'est pas échangeable et il ne se traduit pas uniquement par une productivité plus élevée. Il est également dépendant de l'état de la société et de la division des tâches à l'intérieur de celle-ci. Les bénéfices d'une meilleure éducation ne sont certainement pas à juger uniquement en fonction du niveau de productivité qu'elle permet d'atteindre. Il y aurait une dérive dangereuse à n'apprécier – et donc à n'orienter – l'éducation uniquement sous l'angle productif et non pas comme un bien en soi, un facteur d'émancipation et de réalisation personnelle ou un ingrédient nécessaire au fonctionnement d'une société démocratique et libre. Ces précautions étant prises, nous nous limiterons ici au point de vue productif, comme dans l'étude de Mélonio et Timbeau (2006).

L'approche de la Banque mondiale, en considérant que les dépenses d'éducation sont un investissement *net*, aboutit à une surestimation importante de cet investissement. La Banque mondiale ne prend pas en compte la dépréciation du capital humain qui se produit lorsque les individus formés dans leur jeune

âge ou au long de leur vie active vieillissent, se retirent de la force de travail, émigrent ou décèdent. Comme tout individu connaît une vie active finie (de l'ordre de 40 ans) et une vie également finie, ce phénomène de dépréciation est majeur. Si l'on suit une méthode d'inventaire perpétuel pour le calcul du stock, l'investissement net en éducation doit tenir compte du flux brut d'investissement (la dépense en éducation) et diminué de la dépréciation (les retraits de la force de travail).

L'oubli de la dépréciation est surprenant dans les calculs de la Banque mondiale ; dans l'ouvrage d'Hamilton *et al.*, (2006) la question n'est pas discutée. Dans des publications antérieures, des chercheurs de la Banque mondiale (Nehru, Swanson, & Dubey, 1993) étaient conscient de ce fait. Ils utilisaient un indicateur de nombre d'années d'études initiales moyen, qui ne peut pas croître indéfiniment. Pour augmenter le nombre d'années d'études initiales moyen, il faut plus éduquer la jeune génération que les générations précédentes. À population constante, lorsque toutes les générations ont accompli le même nombre d'années d'études, le nombre moyen d'années d'études est constant, alors que la dépense d'éducation peut être substantielle (fonction du nombre d'années d'études). L'investissement brut est alors égal à la dépense d'éducation, l'investissement net étant, dans ce cas, nul.

Lorsqu'au contraire les générations sortantes ont reçu peu d'éducation, l'investissement brut est proche de l'investissement net, du moins lorsqu'on considère que le niveau 0 de capital est conventionnellement attribué au capital humain des générations sortantes, c'est-à-dire celles ayant le plus bas nombre d'années d'études. Ce cas s'applique probablement aux pays en développement dont on peut estimer que les niveaux d'éducation il y a 40 ans étaient faibles. Dans le cas de ces pays, l'approximation de la Banque mondiale est plus proche de la réalité.

Arrow *et al.* (2010) utilisent une autre approche d'évaluation du capital humain. Ils l'estiment par une méthode de valeur nette actualisée appliquée à chaque individu, puis sommée sur les individus actifs. Cette méthode permet de prendre en compte correctement la dépréciation liée aux retraits du marché du travail ou aux décès. Elle présente en revanche l'inconvénient d'un risque de double compte. Les auteurs utilisent en effet le salaire moyen

comme base du flux actualisé des revenus du capital mais le salaire qu'il faudrait utiliser est le salaire marginal à chaque âge de la vie.

Il convient également de ne pas confondre capital éducatif (que nous intégrons dans notre analyse) et stock de connaissance (que nous ne considérons pas). Le premier résulte de l'investissement par la dépense en éducation et inculque aux individus les connaissances de la société. La production de connaissances découle d'un investissement de nature différente (recherche, recherche et développement), centralisé ou décentralisé qui peut avoir un rendement très élevé. C'est un stock dans lequel chacun peut puiser pour se situer sur la frontière de production, du moins si l'on néglige la question de la propriété intellectuelle. Le stock de connaissance et le capital éducatif peuvent avoir des dynamiques complexes, marquées par la création destructrice, un rendement différé ou nécessitant des complémentarités avec le niveau d'éducation des autres ou le stock de biens capitaux physiques. Le stock de connaissances est l'objet du modèle AK de Romer (1986) alors que celui de capital éducatif incorporé correspond à celui de Lucas (1993). Le stock de connaissances ne fait pas l'objet d'une évaluation dans le travail de la Banque mondiale, mais Arrow *et al.* (2010) en valorisant le progrès technique (voir plus haut) en proposent une évaluation indirecte.

Nous modifions l'estimation de la Banque mondiale en conservant l'accumulation annuelle de capital éducatif telle que calculée mais en déduisant également annuellement la dépréciation du capital éducatif. Celle-ci se fait en continu, chaque personne en âge de travailler voyant son capital éducatif se réduire de manière linéaire entre 20 et 62 ans. Ainsi, un individu amortit son capital éducatif de départ – valorisé par ses coûts de constitution – progressivement (ou brutalement s'il décède) au fur et à mesure qu'il se rapproche de la retraite. Nous n'intégrons pas dans notre évaluation l'effet de l'expérience professionnelle. Au premier ordre, tant que la durée de la vie active ne varie pas ou que les interruptions de carrière sont un phénomène constant, l'expérience professionnelle ne varie pas. En revanche, si, par exemple, la variation du chômage ou les modalités de la participation des femmes au marché du travail connaissent une variance dans le temps ou dans l'espace et que l'on est capable de la mesurer, il serait pertinent d'inclure un tel effet.

Les données de Barro et Lee (2010) nous permettent de connaître, pour l'ensemble des pays étudiés, le nombre de personnes par tranche d'âge et par niveau de diplôme en 2005 et 2010. Les données de l'Unesco indiquent le coût de chaque année de formation en pourcentage du PIB par cycle, tandis que la base de données de Cohen et Soto (2007) donne la durée exacte de chaque cycle scolaire par pays ainsi que les taux d'abandon intra-cycle. Cela permet de reconstituer pour toutes les tranches d'âge le coût total des formations reçues. En appliquant un coefficient d'amortissement du capital éducatif, cela permet de mesurer, en 2005 comme en 2010, le total du capital éducatif de chaque pays, mais aussi la dépréciation annuelle de ce capital, mesurée en moyenne sur cinq ans. Pour l'année 2008, nous avons donc retenu la dépréciation moyenne sur la période 2005-2010. La dépense éducative moins la dépréciation est la dépense éducative nette.

Tableau 2. Dépréciation du capital éducatif (consommation de capital humain)

En % du PIB	DE	CCH	DEN
	Unesco 2008	Les auteurs 2005-2010	Les auteurs 2008
France	5,5	4,9	0,6
Italie	4,7	5,3	-0,6
Allemagne	4,4	4,5	-0,1
USA	5,4	5,4	-0,0
Inde	3,2	1,1	2,0
Chine*	1,9	2,2	-0,3
Hauts revenus (HIC)	4,6	4,9	-0,3
Revenus inter. supérieurs (UMC)	4,2	2,6	1,6
Revenus inter. supérieurs (LMC)	2,3	1,5	0,8
Faibles revenus (LIC)	3,4	1,3	2,1
Monde	4,2	4,3	-0,1

* La dépense éducative publique de la Chine n'est plus publiée par l'Unesco depuis 2000 et par la Banque mondiale depuis 1999. Le chiffre indiqué est une estimation fondée sur l'évolution du nombre d'élèves sous l'hypothèse prudente d'une stagnation de la dépense réelle par tête.

Source : Banque mondiale (<http://go.worldbank.org/EPMTVTZOM0>), version de mai 2010, calculs des auteurs. DE : dépense d'éducation ; CCH : consommation de capital humain ; DEN : dépense éducative nette.

Dans tous les pays où la dépense éducative réelle par élève stagne, où la taille des cohortes diminue, où l'émigration est forte, ou encore où la mortalité des actifs est élevée, l'amortissement annuel de capital éducatif sera élevé, ouvrant la possibilité d'une dépense éducative nette négative, donc d'une baisse du capital éducatif du pays. Les pays de l'OCDE sont particulièrement

concernés, notamment en raison du non-renouvellement des générations, qui conduit à investir dans l'éducation de générations moins nombreuses que celles dont le capital éducatif s'amortit. Pour un pays où la taille des générations se réduit, la dépense éducative nette sera négative sauf hausse importante de la dépense éducative par année de scolarité ou élévation rapide du niveau d'éducation. C'est pour cette raison que la dépense nette éducative de la Chine est négative dans notre évaluation (tableau 2).

5. Les émissions de CO₂ et d'équivalent CO₂ et le prix

Dans les estimations de la Banque mondiale (Hamilton *et al.*, 2006), les émissions de CO₂ sont intégrées en multipliant les émissions par pays par un prix fixé à 20 dollars de 1995/tC (5,5 dollars de 1995/tCO₂)³. Cette estimation pose trois problèmes qui ont déjà été soulevés par différents auteurs (Stiglitz *et al.*, 2009 par exemple). Le premier est le prix choisi pour la tonne de carbone, le second concerne les sources de gaz à effet de serre et le troisième réside dans l'affectation des émissions de carbone. Nous proposons des alternatives pour aborder ces problèmes.

La valorisation de la tonne de carbone dans le travail de la Banque mondiale provient d'une revue de la littérature de Fankhauser (1994). Le même auteur, en 2009 (Dietz et Fankhauser, 2009), estime dans une autre revue de la littérature des fourchettes larges dont les bornes supérieures sont élevées (0 à 654 dollars/tCO₂ en valorisant le CO₂ à son coût social, et entre 0 et 60 dollars/tCO₂ en utilisant le coût marginal de réduction des émissions (*abatement curve*). Tol (2008) procède à une méta-analyse des estimations disponibles du coût social du carbone. La valeur de 20 dollars/tC la tonne de carbone est le mode de la distribution des évaluations revues par les pairs, le mode étant supérieur lorsqu'on intègre également les études non soumises à la revue de pairs. Tol note également le manque d'analyses robustes et approfondies. Il souligne cependant que la prise en compte de l'incertitude associée aux conséquences des émissions conduit à retenir des équivalents certains très supérieurs à 20 dollars/tC. La prise en compte d'incertitudes conduit ainsi, dans un cadre de contrôle optimal, Newbold *et*

3. Il y a autant de carbone dans une tC que dans 44/12 tCO₂.

al. (2010) à proposer des valeurs de la tonne de CO₂ supérieures à 100 dollars, soit plus de 300 dollars la tonne de carbone, ce qui est la valeur retenue par N. Stern dans le rapport de 2006. La commission présidée par A. Quinet (Quinet *et al.*, 2008) a recommandé au gouvernement français une valeur de 100 euros/tCO₂ (soit 360 euros/tC) en 2030 en adoptant une règle de Hotelling pour son évolution dans le temps (4 % par an). En 2010, la valeur serait de 45 euros/tCO₂ (soit 165 euros/tC) et en 2050 de 200 euros/tCO₂ (soit 720 euros/tC). En 2009, le *Department of Energy and Climate Change* britannique a retenu des estimations proches de la commission Quinet dans sa recommandation au gouvernement britannique (Département of Energy and Climate Change, 2009).

Les valeurs proposées à des décideurs politiques sont supérieures à celles retenues par la Banque mondiale et s'éloignent de ce que Tol considère comme « raisonnable ». Deux raisons peuvent être avancées pour comprendre de telles différences d'appréciation : la première concerne la représentation que l'on se fait de l'économie et des mécanismes de moyen terme, c'est-à-dire l'horizon temporel, la rigidité plus ou moins grande des comportements, le caractère « putty putty » ou « putty clay » du capital installé, ou la courbe des coûts de réduction des coûts en carbone. Dans les modèles mettant en avant l'équilibre idéal sans friction, la réponse à une taxe carbone même faible peut conduire à des réductions importantes des émissions par d'importantes substitutions peu coûteuses dans les choix de production ou dans les modes de consommation. Dans les modèles, plus réalistes, avec une forte inertie de comportements, des coûts de transition élevés, et où les effets de dégradation du climat sont rapides et s'imbriquent avec les inerties, il faut au contraire une taxe carbone plus importante pour échapper au réchauffement climatique. L'incertitude et la non neutralité quant au risque (face au changement climatique, comment être neutre au risque ?) conduit également à choisir un prix du carbone élevé. Ce débat a été vif à la suite de la publication du rapport Stern et il a permis de clarifier les partis-pris. La seconde raison tient aux objectifs choisis ou considérés comme acceptables pour la concentration en carbone à l'équilibre : la plupart des auteurs retiennent 450 ppm (ou un réchauffement de 1,5 à 2°C par rapport à l'époque pré-industrielle). Un objectif plus drastique, tel que proposé par J. Hansen (Hansen *et al.*, 2008), de retourner aux

concentrations pré-industrielles correspond implicitement à une valorisation plus importante des dommages induits et donc des impulsions par les prix sociaux à appliquer. La valeur du carbone serait alors bien supérieure, y compris aux estimations hautes de la commission Quinet.

Nous retiendrons dans notre exercice d'estimation alternative outre la valeur de la Banque mondiale de 5,5 dollars de 1995/tCO₂ (7,1 dollars de 2007/tCO₂), une estimation du prix de la tonne de CO₂ 10 fois plus importante, 45 dollars de 2007/tCO₂ (commission Quinet).

Le second point concerne la prise en compte de sources plus exhaustives d'émissions anthropogéniques de carbone. La Banque mondiale intègre les émissions liées à la combustion des énergies fossiles (y compris le gaz brûlé à l'extraction, *flaring*) et à la décarbonation de la chaux pour la fabrication du ciment. On peut ajouter à cela les autres gaz à effet émis par l'activité industrielle et agricole (méthane, composés fluoroés, oxyde nitrique) et le déstockage du carbone par la déforestation (plus généralement pas le changement de destination des sols, *Change in Land Usage*). Nous utilisons les résultats de la NTNU (carbonfootprintofnations.com) tels que décrits dans l'étude de Hertwich et Peters (2009) et nous nous basons en particulier sur leur calcul d'équivalent CO₂ pour les autres gaz à effet de serre.

Le tableau 3 indique les disparités entre différentes évaluations des sources d'émission de gaz à effet de serre. Pour les grands pays en développement, les évaluations les plus exhaustives sont proches des évaluations limitées aux combustibles fossiles, un des effets compensant l'autre. En revanche pour les grands pays industrialisés, la différence peut être notable.

Le troisième point consiste à affecter au consommateur final et non au producteur les émissions de gaz à effet de serre qu'il induit par sa consommation. Proops *et al.* (1999) avaient proposé cette imputation. Peters et Hertwich de la NTNU (2009) et Davis et Caldeira (2010) en proposent une mise en œuvre à partir des matrices *input* et *output* de la base de données GTAP (voir Minx *et al.*, 2009). Dans beaucoup de pays développés, la délocalisation d'activités polluantes ou consommatrices d'énergie, c'est-à-dire principalement des activités industrielles, a limité les émissions de

polluants ou de CO₂ donnant l'impression d'une vertu environnementale. Par exemple, Lenglard, Lesieur et Pasquier (2010) détaillent la balance des échanges « CO₂ » de la France. Les émissions par habitant de CO₂ sont estimées à 9tCO₂/h/an dont 6.3tCO₂/h/an émises directement sur le territoire et 2,7 tCO₂/h/an importées (net des exportations). Ainsi, les émissions par habitant diffèrent de 15 % entre l'Allemagne et la France lorsqu'on intègre a) des sources de gaz à effet de serre plus exhaustives, b) une correction pour la balance des échanges en CO₂, alors que les émissions directes de CO₂ issues des combustibles fossiles diffèrent de presque 60 % (tableau 2). L'imputation au consommateur des émissions de CO₂ se justifie d'autant plus qu'il existe une taxe carbone dans peu de pays. Le prix du CO₂ est donc implicitement nul dans la plupart des pays et les échanges de biens et de services sont basés sur des coûts et des prix hors carbone. L'imputation au producteur demanderait donc d'inscrire dans les prix d'import et d'export le prix implicite du CO₂ à moins de penser que les producteurs réduiraient leurs marges du montant d'une taxe carbone. La logique est donc de directement l'imputer au consommateur afin de prendre en compte la subvention implicite que celui-ci reçoit du fait de l'absence d'une taxe carbone payée par le producteur ou le consommateur. En ce qui concerne les produits pétroliers, le prix du pétrole sert à établir la rente et comme il correspond au prix payé par le consommateur (à quelques exceptions près), l'imputation est de fait intégrée dans les comptes nationaux, parce que la rente est définie par les prix de marché.

Tableau 3. Différentes évaluations des émissions annuelles de gaz à effet de serre

	tCO ₂ /h IEA	tCO ₂ /h WRI	tCO ₂ /h WRI+LU	teCO ₂ GHG/h
	IEA	WRI	WRI+LU	NTNU
	2003	2003	2000	2001
France	6,4	6,6	5,7	13,1
Italie	7,8	8,2	7,5	11,7
Allemagne	10,2	10,5	10,4	15,1
USA	19,5	19,9	17,0	28,6
Inde	1,0	1,0	0,8	1,8
Chine	3,2	3,3	2,5	3,1

Source : International Energy Agency (IEA), World Resource Institute (WRI), Norwegian University of Science and Technology (NTNU). La colonne IEA ne compte que les émissions liées aux carburants fossiles. La colonne WRI intègre les émissions liées à la fabrication du ciment, la colonne WRI+LU intègre, en 2000, les émissions précédentes plus les changements dans la destination des terrains (LU), la dernière colonne intègre aux définitions précédentes les autres sources des autres gaz à effet de serre, notamment le méthane issu de l'agriculture. La colonne NTNU par ailleurs affecte les émissions au consommateur final.

Nous ne couvrons que 60 pays sur les 120 que la Banque mondiale traite. La population de ces 60 pays est de 4,8 milliards, et les pays développés sont presque entièrement couverts.

Le tableau 4 intègre l'ensemble des corrections que nous apportons ici à l'épargne nette ajustée. Nous calculons cette épargne nette réajustée pour deux valeurs de la tonne de CO₂. Dans les deux cas notre estimation de l'épargne nette pour les pays développés est plus faible que dans l'estimation initiale de la Banque mondiale.

Tableau 4. Epargne nette ré-ajustée, 2007-2008

En % du PIB	ENA	CO ₂	CO ₂	CO ₂	CCH	ENrA	ENrA
	BM	BM 7,1\$/tCO ₂	AMT 7,1\$/tCO ₂	AMT 45\$/tCO ₂	AMT	AMT 7,1\$/tCO ₂	AMT 45\$/tCO ₂
France	6,8	0,11	0,23	1,4	4,9	2,2	1,1
Italie	4,5	0,17	0,26	1,5	5,3	-0,7	-2,0
Allemagne	11,8	0,18	0,26	1,6	4,5	7,3	6,0
USA	2,4	0,32	0,45	2,7	5,4	-2,5	-4,8
Inde	27,5	1,05	1,67	10,0	1,1	25,7	17,4
Chine	44,0	1,45	1,69	10,1	2,2	41,6	33,2
Hauts revenus (HIC, 30 pays)	5,5	0,24	0,35	2,1	4,9	0,5	-1,2
Revenus inter. supérieurs (UMC, 20 pays)	24,1	0,87	0,69	5,7	2,6	21,7	16,7
Revenus inter. supérieurs (LMC, 6 pays)	23,1	0,90	1,45	8,7	1,5	21,0	13,8
Faibles revenus (LIC, 4 pays)	22,1	0,38	2,39	14,3	1,3	18,8	6,8
Monde (60 pays)	9,8	0,39	0,46	3,1	4,3	5,5	2,8

Sources : Norwegian University of Science and Technology (NTNU), Banque mondiale, calcul des auteurs. BM : Banque mondiale ; AMT : les auteurs ; ENA : Epargne nette ajustée ; CO₂ : émissions de gaz à effet de serre ; CCH consommation de capital humain ; ENrA : Epargne nette ré-ajustée, ENrA = ENA + CO₂_{BM} - CO₂_{AMT} - CCH. Les agrégats de pays sont suivant les catégories de la Banque mondiale. Les agrégats sont calculés sur les 60 pays pour lesquels nous disposons de données.

La France ou l'Italie ont une épargne nette ré-ajustée très faible. Celle des États-Unis est négative. La grande consommation de capital éducatif et un poids plus lourd des émissions de CO₂ expliquent cette révision. Les pays en développement rapide (l'Inde et la Chine) conservent une épargne nette très élevée, les corrections apportées ici n'inversant pas le diagnostic d'une accumulation

forte de capital physique, bien que l'accumulation de capital éducatif soit plus faible que dans l'estimation de la Banque mondiale ou que la prise en compte des émissions de CO₂ rapportées au PIB pèse plus lourdement.

L'épargne nette réajustée agrégée sur le monde (en fait sur le sous-échantillon pour lequel nous disposons des données) apparaît ainsi plus faible, bien que positive, y compris pour un coût social du carbone de 45 dollars de 2007/tCO₂. Il faut une valorisation de 110 dollars de 2007/tCO₂ pour que l'épargne nette réajustée mondiale soit nulle.

6. Conclusion

Le diagnostic de la Banque mondiale est assez largement remis en cause par les réajustements que nous proposons. En négligeant la dépréciation du capital humain, en affectant à la tonne de carbone un prix faible et en ne comptabilisant pas certaines sources de gaz à effet de serre, la Banque mondiale présentait un tableau encourageant du développement du monde, où la question de la soutenabilité ne se posait pas. Nos corrections indiquent que les économies des pays développés peuvent être beaucoup plus proches de la non-soutenabilité, voire être non-soutenables. L'accumulation rapide de capital dans les pays en développement rapide leur permet de justifier un sort meilleur aux générations futures. Mais qu'en sera-t-il lorsqu'ils auront rattrapé les pays développés ?

Dans son ensemble, l'économie mondiale n'est plus aussi clairement soutenable que dans l'évaluation de la Banque mondiale. Il suffirait d'imputer à la tonne de carbone un prix social de l'ordre de 100 dollars par tonne de CO₂ pour que le futur soit compromis par nos comportements actuels. Ce résultat ne choque malheureusement pas l'intuition commune.

D'autres ajustements sont nécessaires. D'une part, l'amélioration de la santé humaine ou le progrès technique sont des arguments positifs à intégrer. À ce stade, les résultats d'Arrow *et al.* (2010) ne semblent pas vraisemblables pour l'évaluation de la santé. La prise en compte du progrès technique est difficile à justifier pour l'ensemble des pays, en particulier pour ceux qui se situent sur la frontière technologique. Concevoir le progrès des techniques comme une manne éternelle est difficilement justi-

fiable. Soit on identifie les sources de ce progrès et on peut avec confiance penser que la continuation des sources alimentera un progrès continu, soit on est obligé d'intégrer une rupture possible dans le progrès des techniques. Le passage d'une économie dont la principale source d'énergie est carbonée à une économie où les sources d'énergie sont renouvelables ou reposent sur des technologies difficiles à maîtriser (comme le nucléaire) peut se traduire par une régression dans la productivité globale des facteurs. Pour les pays qui ne sont pas sur la frontière de production, l'intégration progressive et la diffusion des meilleures techniques peuvent, en revanche, être valorisées positivement dans l'épargne nette ajustée.

D'autre part, il existe une myriade d'effets négatifs qui sont autant de territoires inconnus pour l'évaluation économique, de la prise en compte de l'inégalité à l'évaluation des services que nous tirons des écosystèmes. La collecte systématique et l'intégration progressive de ces éléments dans des calculs d'épargne nette ajustée ne pourra que noircir un tableau déjà gris.

Références bibliographiques

- Arrow K. J., P. Dasgupta, L. H. Goulder, K. J. Mumford et K. Oleson, 2010, « Sustainability and the Measurement of Wealth », *National Bureau of Economic Research*, 16599.
- Asheim G. B., 2000, « Green national accounting: why and how? », *Environment and Development Economics*, 5, pp.25-48.
- Asheim G. B., W. Buchholz et C. Withagen, 2003, « The Hartwick rule: myths and facts », *Environmental and Resource Economics*, 25(2), pp. 129-150.
- Atkinson G. D. et D. W. Pearce, 1993, « Capital theory and the measurement of sustainable development: an indicator of "weak" sustainability », *Ecological Economics*, 8(2), pp. 103-108.
- Barro R. J. et J. W. Lee, 2010, « A new data set of educational attainment in the world, 1950-2010 », *NBER working paper*, 15902, National Bureau of Economic Research Cambridge, Mass., USA.
- Blanchet D., J. Le Cacheux et V. Marcus, 2009, « Adjusted net savings and other approaches to sustainability: some theoretical background », *Document de travail de la Direction des Etudes et Synthèses Economiques*, G2009/10.
- Bolt K., M. Matete et M. Clemens, 2002, « Manual for Calculating Adjusted Net Savings », *World*, septembre, pp. 1-23.

- Bruntland G. H., 1987, *Our Common Future Report of the World Commission on Environment*, pp. 318, New York.
- Cohen D. et M. Soto, 2007, « Growth and human capital: good data, good results », *Journal of Economic Growth*, 12(1), pp. 51-76.
- Daly H. et J. Cobb, 1989, *For the Common Good*, Boston: Beacon Press.
- Dasgupta P., 2001, *Human Well-Being and the Natural Environment*, pp. 351, Oxford: Oxford.
- Dasgupta, P., et G. Heal, 1979, *Economic Theory and Exhaustible Resources*, Cambridge, MA: Calbridge University Press.
- Dasgupta P. et K.-G. Mäler, 2000, « Net national product, wealth, and social well-being », *Environment and Development Economics*, 5, pp. 69-93.
- Davis S. J. et K. Caldeira, 2010, « Consumption-based accounting of CO2 emissions », *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107(12), pp. 5687-92. doi:10.1073/pnas.0906974107
- Departement of Energy and Climate Change, 2009, « Carbon Valuation in UK Policy Appraisal: A Revised Approach », p. 128, *DECC Publications*.
- Dietz S. et S. Fankhauser, 2009, « Environmental prices, uncertainty and learning Centre for Climate Change Economics and Policy », *Centre for Climate Change Economics and Policy Working Paper*, 12.
- Fankhauser S., 1994, « The economic costs of global warming damage: A survey », *Global Environmental change*, 4(4), pp. 301-309.
- Hamilton K., 2000, « Genuine Saving as a sustainability indicator », Frameworks to measure sustainable development: an OECD expert workshop. Publications de l'OCDE.
- Hamilton K. et M. Clemens, 1999, « Genuine savings rates in developing countries », *The World Bank Economic Review*, 13(2), 333, World Bank.
- Hamilton K., G. D. Atkinson et D. Pearce, 1997, *Genuine Savings as an indicator of sustainability*, CSERGE GEC WORKING.
- Hamilton K., G. Ruta, K. Bolt, A. Markandya, S. Pedroso-Galinato, P. Silva, M. S. Ordoubadi *et al.*, 2006, *Where is the Wealth of Nations?*, p. 188, Washington: World Bank.
- Hansen J., M. Sat, P. Kharecha, D. Beerling, R. Berner, V. Masson-Delmotte, M. Pagani *et al.*, 2008, « Target Atmospheric CO2: Where Should Humanity Aim? », *The Open Atmospheric Science Journal*, 2(1), pp. 217-231, doi:10.2174/1874282300802010217
- Hartwick J. M., 1977, « Intergenerational equity and the investing of rents from exhaustible resources », *The American Economic Review*, 67(5), pp. 972-974, JSTOR.
- Hertwich E. G. et G. P. Peters, 2009, « Carbon footprint of nations: a global, trade-linked analysis », *Environmental science et technology*, 43(16), pp. 6414-20.

- Hicks J.R., 1958, « The measurement of real income », *Oxford Economic Papers*, 10(2), pp. 125-162, JSTOR.
- Hicks J. R., 1946, *Value and Capital: An Inquiry into some Fundamental Principles of Economic Theory*, 2nd ed., Oxford: Oxford University Press.
- Lenglart F., C. Lesieur et J.-L. Pasquier, 2010, « Les émissions de CO2 du circuit économique en France », *L'économie française 2010*, Paris: INSEE.
- Lucas Jr R. E., 1993, « Making a miracle, *Econometrica* », 61(2), 251-272, JSTOR.
- Minx J. C., T. Wiedmann, R. Wood, G. P. Peters, M. Lenzen, A. Owen, K. Scott *et al.*, 2009, « Input-Output Analysis and Carbon Footprinting: an Overview of Applications », *Economic Systems Research*, 21(3), 187-216. doi:10.1080/09535310903541298
- Mélonio T. et X. Timbeau, 2006, « L'immatérielle richesse des Nations », *Revue de l'OFCE*, n° 97, pp. 329-363.
- Nehru V., E. Swanson et A. Dubey, 1993, « A New Database on Human Capital Stock », *World Bank Working Papers*, 1124.
- Newbold S. C., C. Griffiths, C. Moore, A. Wolverton et E. Kopits, 2010, « The "Social Cost of Carbon" Made Simple », *NCEE Working Paper Series*, (Mc 1809), National Center for Environmental Economics, US Environmental Protection Agency.
- Nordhaus W. et J. Tobin, 1971, « Is growth obsolete? », *Cowles Foundation Paper*, 398.
- Nordhaus W.D., 1995, « How should we measure sustainable income? », *Cowles Foundation Discussion Paper*, 1101.
- Pezzey J., 1992, *Sustainable Development Concepts: An Economic Analysis*, Environment.
- Proops J. L. R., G. Atkinson, Frhr. v., B. Schlothiem, et S. Simon, 1999, « International trade and the sustainability footprint: a practical criterion for its assessment », *Ecological Economics*, 28, pp. 75-97.
- Quinet A., L. Baumstark, J. Célestin-Urbain et H. Pouliquen, 2008, *La valeur tutélaire du carbone*, p. 110, doi:10.3917/esp.134.0115
- Repetto R. C. et WRI., 1989, *Wasting assets: natural resources in the national income accounts*, p. 68, Whashington D.C.: World Resource Institute.
- Romer P. M., 1986, « Increasing returns and long-run growth », *The Journal of Political Economy*, 94(5), pp. 1002-1037, JSTOR.
- Solow R. M., 1974, « Intergenerational Equity and Exhaustible Resources », *The Review of Economic Studies*, 41(Symposium on the Economics of Exhaustible Resources), pp. 29-45. doi:10.1377/hlthaff.23.5.142
- Stiglitz J. E., A. Sen, et J. P. Fitoussi, 2009, *Rapport de la Commission sur la mesure des performances économiques et du progrès social*, Rapport.

- Tol R. S. J., 2008, « The social cost of carbon: trends, outliers and catastrophes », *Economics: The Open-Access, Open-Assessment E-Journal*, 2(25), pp. 1-22.
- Vincent J. R., 2000, « Introduction to the Special Issue Green accounting: from theory to practice », *Environment and Development Economics*, 5, pp. 13-24.
- Weitzman M. L., 1976, « On the welfare significance of national product in a dynamic economy », *The Quarterly Journal of Economics*, 90(1), 156. Oxford University Press.
- Weitzman M. L., 2000, « The linearised Hamiltonian as comprehensive NDP », *Environment and Development Economics*, 5, pp. 55-68.
- Weitzman M. L., 2003, *Income, Wealth, and the Maximum Principle*, Cambridge, MA: Harvard University Press.
- World Bank, 1995, *Monitoring Environmental Progress, a report on work in progress*, World Bank.

ANNEXE

Données par pays

	ENA BM	CO2 (7.1) BM	CO2 (7.1) AMT	CO2 (45) AMT	CCH AMT	ENrA (7.1) AMT	ENrA (45) AMT
LIC	22,1	0,4	2,4	14,3	1,3	18,8	6,8
Bangladesh	26,5	0,4	2,1	12,8	1,4	23,4	12,8
Madagascar	6,1	0,3	2,9	17,7	NA	NA	NA
Malawi	21,7	0,2	1,9	11,6	0,9	19,1	9,4
Mozambique	-1,1	0,2	3,4	20,5	1,0	-5,2	-22,3
Tanzanie	NA	0,2	3,7	22,0	1,9	NA	NA
Ouganda	8,4	0,2	3,6	21,5	1,3	3,7	-14,3
Zimbabwe	NA	NA	2,9	17,3	NA	NA	NA
LMC	23,1	0,9	1,5	8,7	1,5	21,0	13,8
Inde	27,5	1,1	1,7	10,0	1,1	25,7	17,4
Indonésie	10,0	0,7	1,1	6,6	2,1	7,6	2,1
Maroc	22,9	0,5	0,7	4,3	3,1	19,5	15,9
Philippines	20,8	0,4	0,3	1,6	1,5	19,5	18,2
Sri Lanka	18,2	0,3	0,8	4,6	NA	NA	NA
Vietnam	27,3	1,2	2,8	16,8	2,9	22,8	8,8
Zambie	16,8	0,2	2,6	15,7	0,7	13,7	0,6
UMC	24,1	0,9	0,7	5,7	2,6	21,7	16,7
Albanie	8,5	0,3	0,7	4,3	NA	NA	NA
Argentine	15,7	0,5	1,0	6,0	2,7	12,6	7,6
Botswana	31,7	0,3	0,7	4,0	3,7	27,6	24,2
Brésil	6,6	0,2	0,5	3,0	2,8	3,6	1,0
Bulgarie	1,3	1,0	1,2	7,1	5,2	-4,1	-10,1
Chili	17,1	0,3	0,6	3,4	2,9	14,0	11,2
Chine	44,0	1,4	1,7	10,1	2,2	41,5	33,1
Colombie	8,5	0,2	0,6	3,9	2,9	5,3	2,0
Lettonie	5,2	0,2	0,6	3,6	4,9	0,0	-3,0
Lituanie	3,7	0,3	0,6	3,3	4,6	-1,2	-3,9
Malaisie	26,9	0,8	0,6	3,7	3,6	23,5	20,3
Mexique	14,0	0,3	0,5	2,9	3,1	10,8	8,3
Pérou	14,5	0,3	0,2	1,1	1,4	13,2	12,4
Roumanie	9,3	0,5	0,0	0,1	0,5	9,2	9,1
Russie	19,0	1,0	0,2	1,0	4,1	15,8	15,0
Afrique du Sud	2,1	1,2	0,9	5,2	2,1	0,3	-4,1
Thaïlande	22,5	0,9	0,9	5,3	2,4	20,1	15,7
Tunisie	12,4	0,5	0,8	4,6	3,8	8,4	4,6
Turquie	4,0	0,3	0,6	3,5	2,0	1,7	-1,2
Uruguay	7,8	0,2	1,0	5,7	1,5	5,5	0,8
Venezuela	23,5	0,6	0,7	4,2	1,2	22,2	18,7

ANNEXE : Données par pays (suite)

	ENA BM	CO2 (7.1) BM	CO2 (7.1) AMT	CO2 (45) AMT	CCH AMT	ENrA (7.1) AMT	ENrA (45) AMT
HIC	5,5	0,2	0,4	2,1	4,9	0,5	-1,2
Australie	16,6	0,3	0,4	2,7	5,1	11,4	9,2
Autriche	10,2	0,1	0,3	1,5	5,9	4,2	2,9
Belgique	10,3	0,2	0,3	1,5	6,4	3,8	2,5
Canada	9,2	0,3	0,4	2,2	5,4	3,8	2,0
Croatie	9,3	0,3	0,5	3,0	2,9	6,2	3,7
Chypre	-3,1	0,3	0,6	3,6	7,4	-10,8	-13,9
République tchèque	7,6	0,6	0,6	3,3	4,6	3,0	0,3
Danemark	6,9	0,1	0,2	1,3	6,6	0,1	-0,9
Estonie	8,5	0,8	0,9	5,4	5,4	3,0	-1,5
Finlande	11,4	0,2	0,3	2,0	5,3	5,9	4,2
France	6,8	0,1	0,2	1,4	4,9	1,8	0,7
Allemagne	11,8	0,2	0,3	1,6	4,5	7,2	5,9
Grèce	-3,4	0,2	0,4	2,5	5,5	-9,0	-11,1
Hong Kong	20,2	0,2	0,7	4,3	NA	NA	NA
Hongrie	2,2	0,3	0,6	3,7	6,0	-4,1	-7,2
Irlande	14,3	0,2	0,2	1,3	4,5	9,7	8,6
Italie	4,5	0,2	0,3	1,5	5,3	-0,8	-2,1
Japon	8,0	0,2	0,3	1,7	5,5	2,4	1,0
Corée du Sud	17,5	0,4	0,4	2,1	5,0	12,6	10,8
Luxembourg	17,3	0,2	0,4	2,3	5,0	12,1	10,2
Malte	2,2	0,3	0,6	3,7	0,5	1,4	-1,7
Pays Bas	15,6	0,2	0,3	1,6	5,5	10,0	8,7
Nouvelle Zélande	NA	0,2	0,0	0,1	5,3	NA	NA
Norvège	25,8	0,1	0,0	0,0	6,0	19,9	19,9
Pologne	8,0	0,6	1,5	8,7	4,0	3,2	-4,1
Portugal	-3,6	0,2	1,4	8,2	4,3	-9,0	-15,9
Singapour	32,8	0,3	0,5	3,0	2,6	30,0	27,5
Slovaquie	-86,5	0,5	0,4	2,4	3,3	-89,7	-91,7
Slovénie	14,7	0,3	0,4	2,6	5,3	9,3	7,2
Espagne	6,1	0,2	0,3	1,8	4,7	1,3	-0,2
Suède	15,9	0,1	0,2	0,9	7,3	8,5	7,8
Suisse	NA	0,1	0,2	1,2	6,1	NA	NA
Royaume-Uni	5,2	0,2	0,2	1,5	3,9	1,3	0,0
États-Unis	2,4	0,3	0,4	2,7	5,4	-3,1	-5,4
Monde	9,8	0,4	0,5	3,1	4,3	5,5	2,8