



# FAERE

French Association  
of Environmental and Resource Economists

## Working papers

Construire un indicateur de PIB  
inclusif et soutenable.

Que peuvent apporter les valeurs de  
référence du calcul économique ?

Selma Labroue – Dominique Bureau

WP 2022.09

Suggested citation:

S. Labroue, D. Bureau (2022). Construire un indicateur de PIB inclusif et soutenable. Que peuvent apporter les valeurs de référence du calcul économique ?  
*FAERE Working Paper, 2022.09.*

ISSN number: 2274-5556

[www.faere.fr](http://www.faere.fr)

## Construire un indicateur de PIB inclusif et soutenable

### Que peuvent apporter les valeurs de référence du calcul économique ?

Selma Labroue et Dominique Bureau<sup>1</sup>

**Résumé :** Alors que les comptes nationaux ignorent les composantes non marchandes du bien-être liées à l'état de l'environnement et laissent de côté les questions d'inclusivité et de soutenabilité, le « PIB » demeure l'indicateur-phare pour évaluer la richesse d'un pays. Suite à la commission Stiglitz-Sen-Fitoussi, le souci a été de compléter ce dernier par des indicateurs complémentaires, ce qui a permis d'enrichir les analyses, mais au prix de la dispersion d'approches toujours plus multidimensionnelles.

On assiste aujourd'hui à des tentatives pour faire plus directement le lien avec la comptabilité nationale. Mais la question demeure : peut-on trouver des approches synthétiques, pour « remplacer le PIB »? Le développement de nouvelles références pour le calcul économique public, s'intéressant justement aux enjeux de soutenabilité et relevant d'un cadre microéconomique cohérent, peut y contribuer car il adresse les mêmes thématiques et produit des valeurs de référence. Afin d'apprécier l'utilité de ces valeurs pour évaluer la richesse véritable créée sur une période, dans l'esprit de la comptabilité nationale, on teste la possibilité pratique de compléter ainsi les indicateurs usuels de PIB et d'épargne, pour y intégrer les dimensions liées à l'équité, au patrimoine naturel (effet de serre et biodiversité), à l'éducation et à la santé des populations.

Les ajustements correspondants sur l'épargne et la consommation nous amènent à l'évaluation d'un 'PIN élargi' de l'ordre (seulement) de 1500 milliards d'€<sub>2014</sub> en 2019. L'étude permet par ailleurs de mieux apprécier les poids relatifs de ses différentes composantes, ainsi que la nature des enjeux qui y sont associés. Si la nécessité d'articuler les développements sur les indicateurs de croissance avec les travaux microéconomiques visant à définir des valeurs monétaires telles que le coût social du carbone se trouve confortée, différents chaînons manquants et lacunes sont pointés.

**Mots clefs :** *indicateurs de croissance, soutenabilité, épargne nette ajustée, changement climatique, patrimoine naturel*

**Code JEL :** E01, I30, O13, Q01

Ce travail s'est nourri du séminaire de Christian Gollier au Collège de France en 2021-2022. Les auteurs remercient les participants à la session du congrès 2022 de la FAERE présidée par Geir B.Asheim et les participants au séminaire PSE de Didier Blanchet et Marc Fleurbaey pour leurs questions sur une version préliminaire de l'étude, ainsi que Nicolas Carnot, Paul Champsaur, Francesco Ricci et le rapporteur de la FAERE pour leurs remarques. Ils demeurent évidemment seuls responsables de ses imperfections et limites.

---

<sup>1</sup> Commission économique du développement durable. Ministère de la Transition Ecologique

*Le premier objet [de cette théorie de la valeur] est d'identifier les valeurs dont on a besoin pour évaluer le produit social" (Hicks, 1952)*

## **INTRODUCTION**

Les comptes nationaux constituent le prisme au travers duquel nous examinons le progrès économique, par le biais des flux de richesse marchande et monétaire mesurés par le PIB réel. Cependant, la comptabilité nationale néglige ou sous-estime les composantes non monétaires du bien-être, et elle ne nous renseigne pas sur la soutenabilité de notre modèle de croissance.

Suite à la commission Stiglitz-Sen-Fitoussi (2009), la fourniture d'indicateurs complémentaires pour éclairer ces différents angles morts a permis d'enrichir considérablement les analyses, mais au prix de la dispersion, avec des approches toujours plus multidimensionnelles. On assiste aujourd'hui à des tentatives visant à faire plus directement le lien avec la comptabilité nationale. Mais la question demeure : peut-on retrouver des approches synthétiques ?

Dans cette perspective, il semble intéressant de rapprocher cette question du développement de nouvelles références pour le calcul économique public qui s'intéressent justement aux enjeux de soutenabilité et qui, de plus en plus sont fondées sur des concepts économiques intégrant les dimensions d'équité (inter et intra-générationnelles) et le risque. Les développements récents concernant l'estimation du coût social du carbone (Gollier, 2013, Wagner, Anthoff et Cropper, 2021) en sont l'exemple emblématique.

Plus généralement, les évaluations à mener pour mesurer l'épargne « véritable » sont de même nature que celles pour définir les prix implicites utilisés pour l'évaluation socio-économique des politiques publiques, dont le coût social du carbone, mais pas seulement. Ainsi, les travaux de Arrow et ses différents co-auteurs, qui retenaient en fait le même cadre de référence pour faire du calcul économique dans le contexte d'économies imparfaites (2003) et pour mesurer la soutenabilité (2012) suggèrent sans conteste de faire le lien entre les deux problèmes. En effet, dans les deux cas, il s'agit d'apprécier l'impact sur le critère de bien-être intertemporel de la disponibilité d'une unité supplémentaire de certain actif. Ceci suggère que les valeurs de référence du calcul économique constituent une source intéressante à mobiliser pour mieux mesurer le « produit social ».

Afin d'apprécier les potentialités de cette équivalence pour élargir la « comptabilité nationale », on se propose ici de faire un test de faisabilité de la possibilité de compléter ainsi les indicateurs usuels de PIB et d'épargne, pour y intégrer les dimensions liées aux inégalités, au patrimoine naturel (effet de serre et biodiversité), à l'éducation et à la santé des populations. Le lien avec les valeurs tutélaires utilisées pour l'analyse coûts-bénéfices des politiques publiques sera utilisé pour intégrer les enjeux climatiques et ceux liés au patrimoine naturel. Par ailleurs, la consommation courante sera ajustée sur l'état de santé de la population en valorisant la mortalité prématurée évitable avec la valeur statistique de la vie humaine (VSL). Enfin, on utilisera le critère d'Atkinson pour calculer un revenu équivalent ajusté sur l'inégalité des revenus, en cohérence avec la manière dont l'incertitude est intégrée dans ce « nouveau » calcul économique.

Après avoir rappelé brièvement l'état des lieux (première partie), notamment les travaux de la Commission Stiglitz-Sen-Fitoussi et ses suites, nous précisons, dans la deuxième partie, la structure des indicateurs retenus, en référence au modèle de soutenabilité économique qui émerge pour penser la comptabilité nationale (Blanchet et Fleurbaey, 2020). A cet égard, ces

auteurs suggèrent de considérer un binôme combinant un indicateur de bien-être courant élargi aux enjeux d'inclusivité, et un indicateur de soutenabilité dérivé d'un calcul d'épargne véritable. Cependant, nous soulignerons (deuxième partie) que, si ceux-ci sont complémentaires, ils dérivent d'un même cadre normatif, dans lequel l'épargne véritable et la consommation corrigée déterminent la richesse véritable créée. La définition de ce PIN « doublement élargi », au niveau de la consommation (verte et inclusive), et de l'épargne (nette et soutenable), ainsi que celle de la soutenabilité découlent de ce critère de bien-être intertemporel. Après avoir précisé un certain nombre de difficultés à résoudre pour chaque thématique eu égard aux données disponibles, la troisième partie présente une application empirique à la France, dans laquelle les prix implicites des actifs sont déduits des travaux nationaux en matière de calcul économique<sup>2</sup>.

## I- CONTEXTE ET ETAT DES LIEUX

### I-1. La commission Stiglitz-Sen-Fitoussi (CSSF)

En 2009, la Commission Stiglitz-Sen-Fitoussi (CSSF) avait été mandatée par le président de la République (Nicolas Sarkozy) pour revisiter la « mesure des performances économiques et du progrès social ». Le rapport issu de ses travaux mettait en exergue les limites du PIB comme unique indicateur des performances économiques et analysait la faisabilité de nouveaux indicateurs. Plus précisément, le rapport s'articulait autour de 3 axes : la dimension monétaire de la mesure du bien-être avec les « problématiques classiques du PIB » ; les dimensions non monétaires avec des réflexions sur la « qualité de vie » ; et enfin un dernier thème centré sur la question de la soutenabilité.

Les deux premiers axes insistaient sur l'importance d'adapter les systèmes comptables afin de mieux refléter les changements structurels notamment en se référant plus spécifiquement aux revenus et à la consommation mais aussi en valorisant les indicateurs non monétaires de qualité de vie qui devraient renseigner sur les inégalités dans les expériences individuelles. Le dernier axe, qui nous intéresse plus particulièrement, insistait sur un message fondamental : l'antagonisme entre croissance du PIB et protection de l'environnement peut être dépassé dès lors que la dégradation de l'environnement est intégrée pertinemment dans les mesures de performances économiques. Mais il convient pour cela de bien distinguer la mesure de la soutenabilité et celle du bien-être courant : avec l'idée de soutenabilité, il s'agit de savoir si nous « léguons aux générations suivantes suffisamment de ressources pour assurer un niveau de bien-être au moins équivalent au notre ».

Dans le sillage de ces travaux, Blanchet (2010) avait mis en exergue la difficulté de tenir compte à la fois du présent et du futur, soit du développement et de la soutenabilité, dans un indicateur unique. En effet, un indicateur de soutenabilité éclaire les perspectives futures de bien-être tandis qu'un indicateur de développement indique uniquement où on se situe à chaque instant en termes de niveau de bien-être. En particulier, le PIB vert, qui ne renseigne pas sur les perspectives futures, n'est pas un indicateur de soutenabilité.

Après avoir passé en revue cinq approches de mesure de la soutenabilité -tableaux de bord ou *Dashboard*, indice composite, PIB vert, épargne nette ajustée et empreinte écologie- la CSSF retenait finalement l'idée qu'il faudrait combiner un indicateur dérivé de l'approche de la richesse au sens large, prenant en compte la dépréciation du capital d'une part, et une batterie

---

<sup>2</sup> Travaux actuellement pilotés par la Commission Guesnerie à France Stratégie

d'indicateurs physiques, axée sur des dimensions de la soutenabilité environnementale d'autre part.

Cette approche multidimensionnelle présente l'avantage de prendre en compte un large spectre de facteurs, tels que la santé, l'éducation mais aussi la biodiversité et le climat. L'idée d'un indicateur unique était écartée aussi parce qu'elle réclamerait deux hypothèses irréalistes concernant : la capacité à prédire les évolutions éco-environnementales futures et notre connaissance sur la manière dont ces évolutions affectent le bien-être. Cependant, le tableau de bord et son approche multidimensionnelle rencontrent beaucoup de limites pratiques, par exemple pour mener des comparaisons internationales. Surtout, la complexité d'indicateurs juxtaposés empêche ceux-ci d'entrer véritablement en concurrence avec des indicateurs phares tels que le PIB qui, finalement, structurent les débats.

## I-2. Les nouveaux indicateurs de richesse

Dès la publication du rapport, les institutions statistiques françaises (Clerc et al. ,2010, Cling et al., 2019) s'en sont saisi : l'INSEE met en place un système d'enquête sur les revenus et les conditions de vie pour la construction d'une batterie d'indicateurs non-monétaires de la qualité de vie (Albouy et al, 2010) ; le Ministère de la Transition Ecologique éclaire les perspectives plus ou moins soutenables de la France à travers la publication annuelle des « Chiffres Clefs du Climat » qui comprend un certain nombre d'informations nécessaires sur les effets du changement climatique...

Le cadre réglementaire en ce domaine évolue également suite à la CSSF, la loi 2015-411 du 13 avril 2015 obligeant les pouvoirs publics à prendre en compte de nouveaux indicateurs de richesse dans l'évaluation et la définition des politiques publiques. Dix indicateurs-phares de développement durable, compatibles avec les cadres internationaux (notamment européens) sont choisis, qui élargissent l'éclairage du PIB (tableau 1).

**Tableau 1 : Indicateurs de richesse nationale – comparaisons européennes**

		France	UE-27
1	Taux d'emploi des 15-64 ans (%)	65.3	67.7
2	Dépenses de R&D (% PIB)	2.2	2.1
3	Endettement (% PIB)		
	Dette publique	115.0	90.1
	Endettement des ménages	67.8	60.4
	Endettement des SNF	105	85.6
4	Espérance de vie en bonne santé (ans)		
	Des Hommes	63.7	64.2
	Des Femmes	64.6	65.1
5	Satisfaction dans la vie (note 1 à 10)	7.3	7.3
6	Dispersion des revenus (rapport masse)	4.4	nd
7	Taux de pauvreté en conditions de vie (%)	13	Nd
8	Taux de sorties précoces (% des 18-24 ans)	8	9.9
9	Emission de GES par habitant (teq/CO2)	6.5	Nd
10	Artificialisation des sols (% du territoire)	5.6	4.2

Source : Eurostat.

Les Objectifs Développement Durable (ODD ou *Sustainable Development Goals*) mis en place par l'ONU en septembre 2015 ont retenu cette même approche du tableau de bord pour intégrer développement et durabilité, avec en perspective trois grands défis principaux : lutter contre les inégalités, l'exclusion et les injustices ; faire face au défi climatique ; et mettre fin à l'extrême pauvreté.

Ces objectifs sont déclinés ensuite en 169 cibles pour la période 2015-2030. Dans ce cadre, le Conseil national de l'Information statistique (Cnis) a proposé en 2018 un tableau de bord de 98 indicateurs, qui constituent le suivi des progrès de la France pour atteindre les « ODD ». La manière dont les dix nouveaux indicateurs de richesse s'y intègrent est rappelée ci-dessous (tableau 2). Le test de faisabilité que nous nous proposons de réaliser vise donc à intégrer « l'ensemble » de ces indicateurs (au moins, dans son principe, sachant que l'insertion des jeunes et ce qui a trait au fonctionnement du marché du travail, notamment, seront laissés en dehors de l'exercice, mais pourraient être incorporés, Guesnerie, 1984, Bureau, 1985).

**Tableau 2 : Les 10 indicateurs de richesse et comparaison France-ODD des stratégies de développement durable**

Domaine	Thèmes	Bien-être présent	Bien-être futur	Bien-être « ailleurs »	France-ODD
<b>Economique</b>	Travail	<i>Taux d'emploi des 15-64 ans</i>			8.i.2
	Investissement		<i>Dépense de recherche</i>		9.i.5
	Stabilité financière		<i>Dette publique et privée</i>		17.i.3
<b>Social</b>	Santé	<i>Espérance de vie en bonne santé</i>			3.i.1
	Satisfaction dans la vie	<i>Satisfaction globale dans la vie</i>			3.i.4
	Inégalité	<i>Dispersion des revenus</i>			10.i.2
	Pauvreté	<i>Taux de pauvreté en conditions de vie</i>			1.i.2
	Education	<i>Sorties précoces du système scolaire</i>			4.i.4
<b>Environnement</b>	Climat			<i>Empreinte carbone</i>	13.i.3
	Biodiversité	<i>Artificialisation des sols</i>			11.i.2

Source : INSEE, *Indicateurs de richesse nationale*, 2021

### I-3. L'épargne véritable

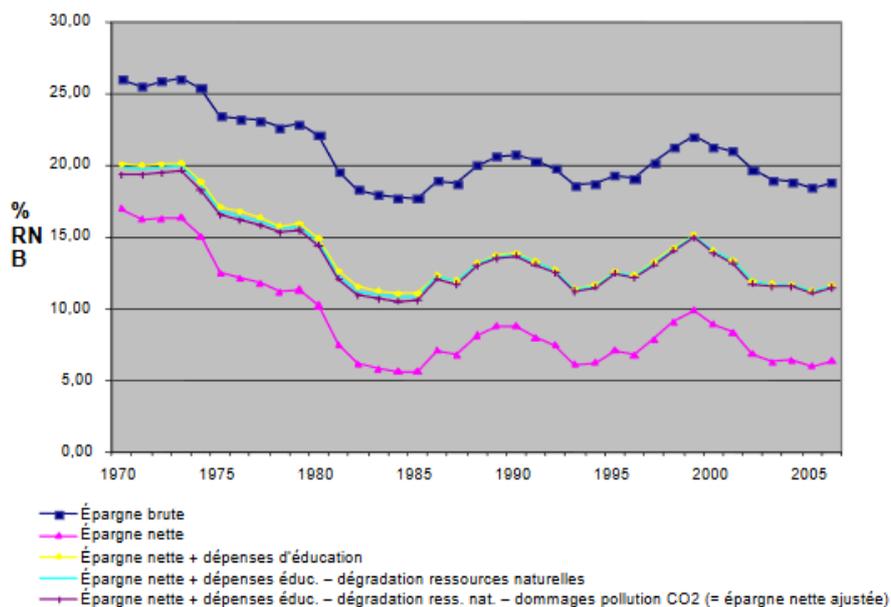
Cette notion permet d'évaluer, dans un cadre théorique et conceptuel cohérent, la soutenabilité en termes de préservation d'un concept très global de richesse (Hamilton, 2014), comprenant les capitaux physique, humain et environnemental. En effet, les GS se réfèrent à la notion de « vrai revenu » de Hicks, correspondant à la consommation maximale autorisée sans dégrader le stock de capital.

Elaborée par la Banque Mondiale en 1999, l'épargne véritable est obtenue à partir des mesures classiques de l'épargne nationale brute auxquelles on soustrait l'estimation de la consommation de capital ( $CCF$ ) des actifs produits – pour obtenir l'épargne nationale nette – et la dégradation des différents actifs environnementaux ( $-\Delta K_N$ ) monétarisés ( $P_N$ ). On ajoute ensuite les dépenses courantes d'éducation ( $D_{educ}$ ), considérées comme proxy de l'investissement en capital humain. L'équation d'épargne véritable peut alors se réécrire ainsi :

$$GS = S_{brut} - CCF + D_{educ} + P_N \Delta K_N \quad (1)$$

Une épargne nette ajustée positive signifie qu'un pays est sur une trajectoire soutenable au sens où chaque génération laisse aux suivantes plus que ce qu'elle a reçu. Les estimations élaborées par la CSSF montraient que l'épargne véritable française restait positive de 1970 à 2008 malgré un *trend* décroissant (cf. ci-dessous le graphique d'évolution de la GS tiré du rapport de la CSSF). De même, la Banque Mondiale tirait de ces études des conclusions raisonnablement optimistes quant à la compatibilité entre développement et soutenabilité, les taux d'épargne véritable ressortant positifs à l'échelle mondiale.

**Graphique 3.1 De l'épargne nationale brute à l'épargne nette ajustée**  
Quels sont les principales sources d'écart ? (France)



A partir de cette définition, on peut établir aussi un PIB élargi, en remplaçant l'épargne par l'épargne véritable. Et on peut poursuivre en corrigeant aussi la consommation pour avoir une approche plus complète (environnement, qualité de vie) et inclusive du bien-être courant, d'où l'indicateur synthétique :

$$GPIN = PIB_{brut} + (C_{\text{élargie}} - C) + (GS - S_{brut}) \quad (2)$$

L'objectif de notre étude est donc de calculer un tel indicateur (*in fine* de PIN élargi, car le passage d'un indicateur brut à un indicateur net est une première étape), dans lequel l'épargne véritable se réfère aux prix de référence du calcul économique pour les  $P_N$ .

#### I-4. Les limites de l'épargne nette ajustée

Dans la mesure où la correction de l'épargne constitue un élément essentiel de la démarche, il importe de rappeler les vifs débats à son propos. En particulier, la CSSF qualifiait l'épargne nette ajustée -au même titre que les évaluations « d'empreintes » - « d'ersatz de ce que devraient être de véritables indices d'évolution de la richesse au sens large ». De même, la revue très complète réalisée par Antonin et al. (2012) relativisait l'enthousiasme de la Banque mondiale, en soulignant les hypothèses fortes pour que le GS soit un indicateur pertinent de soutenabilité. De manière plus générale, il était souligné qu'on ne peut suggérer que le simple enregistrement d'observations sur le passé peut suffire pour établir un diagnostic en ce domaine.

Les limites des GS sont effectivement nombreuses. Par exemple, il est souligné que les calculs disponibles intègrent certains enjeux et pas d'autres. Le progrès technique, la croissance démographique mais aussi la répartition des capitaux sont négligés. De plus, les calculs prospectifs demeurent difficiles par rapport à l'évaluation de prix fictifs pertinents, alors que celle-ci est déterminante pour dépasser les controverses « a priori » entre tenants de la soutenabilité forte ou bien de la soutenabilité faible (Blanchet et Fleurbaey, 2013 et 2020, p.21).

Surtout, ils mettaient en avant que le choix du taux d'actualisation<sup>3</sup> pose des questions éthiques redoutables et que les calculs de GS supposent de connaître la loi d'évolution des prix implicites, si bien qu'un GS positif ne permet pas de conclure sur la soutenabilité globale du système en l'absence de connaissance parfaite du futur, deux points sur lesquels nous reviendront.

Outre que la « valeur d'existence » de la nature est ignorée (Thiry, 2010), les estimations de l'épargne véritable rencontrent des difficultés de valorisation pour tout ce qui concerne le patrimoine naturel, même si le caractère essentiel des enjeux économiques associés (Stern 2007, Dasgupta, 2021, Blanchard et Tirole, 2021) n'est plus contestable. Il faut noter cependant que ce domaine n'a pas l'apanage des difficultés de valorisation : elles sont nombreuses aussi pour évaluer le capital humain ou pour la RetD, mais c'est en s'astreignant à enrichir les estimations que l'on progresse. Il importe donc de sérier les problèmes, de principe, méthodologiques et de données. Le rapport Stiglitz Sen Fitoussi lui-même observe d'ailleurs que « la pertinence de l'approche par l'épargne nette ajustée dépend de ce qui est pris en compte, c'est à dire de ce qui est inclus dans la richesse au sens large et du prix utilisé pour comptabiliser et agréger ces différents types de capitaux ». Le renouveau des approches qui tentent de compléter et affiner les résultats d'épargne nette ajustée de la Banque Mondiale amènent ainsi à nuancer l'analyse.

#### 5. Un renouveau dans les estimations de l'épargne nette ajustée

A la lumière de réflexions autour de ces limites, de nombreuses réévaluations des « GS » ont visé à combler les différentes lacunes: ajout du progrès technique, prise en compte de la

---

<sup>3</sup> Défini par C. Gollier comme « le taux de rendement minimum d'un investissement sûr qui compense l'accroissement des inégalités que cet investissement engendre » (pour les générations présentes)

croissance démographique ou encore du commerce international ; nouvelles valorisations, estimation de la dépréciation du capital humain...

L'une des contributions majeures est l'intégration du progrès technique et de la croissance démographique dans l'estimation de l'épargne véritable. Notamment, Tokimatsu et al. (2011) proposent d'intégrer ces deux ajustements grâce à un modèle intégré – qui permet d'établir des prix implicites. Au niveau mondial, les résultats de leurs simulations sont optimistes : le déclin de la population dans la seconde moitié du siècle à venir et le progrès technique assureraient une trajectoire soutenable, ce dernier étant par ailleurs le facteur prépondérant. Les résultats sont cependant à prendre avec précaution car l'hypothèse de décroissance de la population n'est pas favorisée dans les scénarios de croissance démographique au niveau mondial. Plus fondamentalement, la prise en compte de l'évolution de la population est un sujet complexe (Asheim et Zuber, 2022).

Comme nous l'avons évoqué plus tôt, la valorisation du capital humain est aussi un domaine de recherche très actif. A cet égard, Canry (2020) propose un cadre qui met en exergue deux approches, l'une par les coûts (input) et l'autre par les revenus (output). La première correspond à la somme du coût de production marchande et non marchande d'éducation des APU et établissements privés tandis que la deuxième renvoie à la valeur à laquelle un individu pourrait à tout moment revendre le capital humain qu'il a accumulé si celui-ci n'était pas incorporé. Avec la première méthode, l'auteur trouve des évolutions analogues au taux d'épargne français standard. Antonin et al. (2012) considèrent quant à eux la dépréciation du capital humain et trouvent un nouveau taux d'épargne véritable français de 1.1% du PIB en 2007 pour un prix du carbone de 45\$/tCO<sub>2</sub>, contre 6.8% selon la Banque Mondiale.

En effet, de nombreuses études s'intéressent à l'empreinte carbone. En particulier, Germain et Lellouch (2020) insistent sur la nécessité d'adopter une optique de soutenabilité plus forte et adoptent pour cela un prix de 180\$/tCO<sub>2</sub>, en ligne avec les recommandations du rapport Quinet (2019) pour le calcul économique public. Ils en déduisent un taux d'épargne véritable négatif pour la France depuis le début des années 1990 et concluent que « les richesses que nous laissons ne compensent pas les coûts de réparation des dommages climatiques ». En tous les cas, la question du pont entre la mesure de l'épargne véritable et les prix implicites préconisés pour l'évaluation des politiques publiques est ainsi posée.

## **I-6. Renouveau, aussi, du calcul économique public**

Trois lignes de force marquent les évolutions récentes en ce domaine :

- l'étendue des domaines couverts par le calcul économique s'est progressivement étendu du côté des enjeux environnementaux, avec en premier lieu l'incorporation d'un prix de référence pour le carbone, dont la trajectoire est croissante avec le temps,
- les valeurs de référence pour les coûts sociaux ont été fortement revalorisées à la hausse. Ceci vaut pour le prix du carbone, en lien avec la documentation progressive de l'ampleur du changement climatique à l'œuvre et de ses impacts, dont les rapports du GIEC rendent compte. Mas ceci vaut aussi pour la valeur statistique de la vie humaine, à partir des nombreuses études économétriques ayant pu l'estimer à partir de l'observation des marchés affectés par les préférences des agents pour la sécurité, notamment les primes salariales pour les métiers à risque,

- la définition de taux d'actualisation à long terme, dérivés de la règle de Ramsey et, en France, ajustés au risque.

A titre d'illustration, l'encadré 1 ci-dessous rappelle la circulaire en vigueur, pour les valeurs de base à utiliser, dont se déduisent ensuite certaines valeurs plus spécifiques. Par exemple, le coût social des pollutions des transports combine la valeur statistique de la vie humaine avec les données caractéristiques de l'exposition des populations affectées par les infrastructures de transport selon le type d'urbanisation et les relations dose-effet issues de l'épidémiologie.

**Encadré 1 : Principales valeurs de référence prescrites par le calcul socio-économique (Commission Guesnerie- France Stratégie)**

- *Valeurs tutélaires de l'insécurité (en €2015)*

Tués (VSL : Valeur de la vie statistique)	3 200 000
Blessé hospitalisé (12,5% de la VSL)	400 000
Blessé léger (0,5% de la VSL)	16 000

Les valeurs de l'insécurité évoluent dans le temps comme le PIB/tête.

- *Prix du carbone et taux d'actualisation*

Valeurs fixées par la commission de France Stratégie présidée par Alain Quinet en 2018.

Prix de la tonne de CO <sub>2</sub> en €2015	
2018	53
2030	246
2040	491

Concernant le taux d'actualisation, le comité formule les recommandations suivantes lors de l'avis délibéré le 24 juin 2021 :

- Taux d'actualisation égal à  $\rho = 1,2\% + \beta \cdot 2\%$  pour la période de 2021 à 2070, ce qui suppose de connaître  $\beta$
- Si  $\beta$  est inconnu, il est proposé de procéder comme si  $\beta$  était égal à 1, le taux d'actualisation  $\rho$  à utiliser est alors de 3,2%.

- *Paramètres pour le coût de mobilisation des fonds publics*

Coût d'opportunité des fonds publics : les dépenses publiques nettes (dans les options de référence et de projet) sont multipliées par un coût d'opportunité des fonds publics (COFP) de 1,2.

Prix fictif de rareté des fonds publics : quand il apparaît nécessaire de tenir compte de la rareté budgétaire pour hiérarchiser les projets, les dépenses publiques nettes sont affectées d'un prix fictif de rareté des fonds publics (PFRFP) de 0,05 en sus du COFP.

## II- CADRE RETENU POUR LA MESURE DE LA PRODUCTION DE RICHESSES ET VERITABLE

L'importance des travaux évoqués ci-dessus témoigne des efforts réalisés actuellement pour améliorer l'évaluation économique de « tout ce qu'il n'y a pas dans le PIB ». Cependant, il s'agit généralement d'approches spécifiques à chaque thématique. Si la perspective d'en utiliser les résultats pour compléter le PIB est plus ou moins présente, il n'y a pas de démarche d'ensemble à cet égard.

En revanche, ces développements sont intégrés plus systématiquement dans les études visant à définir les valeurs de références - ou « prix implicites » - pour l'analyse bénéfices-coûts des politiques publiques. Notamment, l'émergence de nouveaux risques globaux a fait évoluer ses méthodes pour mieux prendre en compte les enjeux à très long-terme, y compris dans une perspective opérationnelle : pour éclairer les choix en matière d'objectifs et de politiques climatiques, bien sûr, avec la définition de « valeurs du carbone » à appliquer pour évaluer les investissements dans tous les secteurs émetteurs ; mais aussi évaluer des projets très concrets tels que, par exemple, l'enfouissement des déchets nucléaires à longue durée de vie à Bure.

Ce que l'on se propose d'examiner ici est la possibilité de retrouver l'ambition de fournir des mesures synthétiques de la richesse créée et de l'épargne véritable par ce biais, en tirant parti de ce renouveau du calcul économique public. Dans cette perspective, l'approche développée ci-dessous :

- rappelle que les cadres conceptuels pour mesurer la valeur sociale créée, rétrospectivement (comptabilité nationale) ou potentiellement (calcul économique), procèdent du même cadre conceptuel normatif pour mesurer la valeur. Certes, les deux mondes sont éloignés en pratique, le premier mettant au sommet de ses exigences l'objectivité, le second ayant intrinsèquement une dimension spéculative,
- que, dès lors que l'on désire aller au-delà du PIB pour intégrer des éléments sur la soutenabilité, à tout le moins une certaine combinaison d'observation et de modélisation est nécessaire,
- qu'à cet égard, les prix pour évaluer les actifs conditionnant le développement futur peuvent être déduits des prix implicites utilisés pour l'évaluation des politiques investissements publics,
- que l'on dispose, en général, des éléments pour appliquer une telle démarche, en mobilisant des indicateurs de mesure des impacts (pour la consommation corrigée) ou des actifs (pour l'épargne véritable) qui sont conceptuellement cohérents avec les valeurs de référence du calcul économique utilisés (mortalité prématurée et VSL, indicateur d'inégalités d'Atkinson, émissions de CO<sub>2</sub> et coût social du carbone...),
- ce qui, incidemment, conduira à souligner que les indicateurs correspondants peuvent permettre aussi d'enrichir certaines thématiques. En effet, ceux-ci, par exemple les indices d'inégalité développés par Atkinson, sont non seulement dérivés d'une même théorie de l'utilité sociale, mais ils synthétisent ainsi une information considérable qui justifierait de les utiliser plus dans les études statistiques.

## II-1. Critère d'utilité sociale

L'objectif n'est pas de fournir ici des développements conceptuels nouveaux sur les concepts liés à la soutenabilité, mais seulement d'appliquer les cadres existants pour évaluer un indicateur de PIN élargi « inclusif et soutenable » pour une année donnée, dans l'esprit de la Comptabilité nationale. L'objectif étant par ailleurs de montrer comment les résultats des méthodes utilisées pour établir les valeurs de référence du calcul économique peuvent être mobilisées pour cela, on retient le critère de bien-être intertemporel qui tend à s'imposer aujourd'hui en ce domaine, notamment pour évaluer le coût social du carbone (Gollier, 2011, Emmerling et al., 2021).

Se situant dans une approche à la Ramsey avec incertitude, celui-ci agrège l'espérance des utilités ( $u(C)$ ,  $u' \geq 0$ ,  $u'' < 0$ ) retirées d'une trajectoire de consommation ( $C_n$ ) aux différentes périodes ( $n$ ). L'évaluation du bien-être apporté aux générations  $s$  et suivantes, telle qu'elle peut être réalisée avec l'information disponible à la date  $p$ , est supposé de la forme :

$$V_{sp}((C_n)) = E_p \left( \sum_{n=s}^{\infty} u(C_n) / (1 + \rho)^{n-s} \right) \quad (3)$$

Cette formulation permet d'englober toutes les combinaisons « s-p » et l'état des incertitudes correspondant à chaque période. Ceci est essentiel pour la définition des trajectoires des prix des actifs, qui n'ont en effet aucune raison de demeurer constants. La règle de Hotelling en constitue un exemple emblématique, structurel, pour les ressources épuisables. Mais il y a à envisager d'autres revalorisations de ces prix, par exemple parce qu'on prend conscience qu'une ressource est plus précieuse que ce que l'on imaginait.

Le modèle est écrit en temps discret car notre objectif est d'appliquer des formules de type (1) et (2) dans une logique de comptabilité nationale, laquelle est par définition associée à une périodicité. La date de l'évaluation ( $p$ ) correspondra à la période faisant l'objet de l'établissement des comptes, les données correspondantes pour cette période (consommation réalisée et legs pour la croissance future) étant connues. Dans ce cas, il n'y aura donc plus d'incertitude pour la première période de la formule (3) et il faut comprendre le conditionnement de l'espérance comme se situant « à la fin » de la période  $p$ . On notera  $V_p$  cette évaluation du bien-être intertemporel réalisée en  $p$  :

$$V_p = V_{pp}((C_n)) = u(C_p) + E_p \left( \sum_{n=p+1}^{\infty} u(C_n) / (1 + \rho)^{n-p} \right) \quad (4)$$

Ce critère appelle les remarques suivantes :

- le paramètre  $\rho$  est un taux de préférence pur pour le présent. Pour le critère de bien-être social, il est généralement admis maintenant que celui-ci doit être faible, pour des raisons éthiques. A cet égard, les débats qui avaient suivi la publication du rapport Stern (2007) semblent donc dépassés,

- les revenus à chaque période sont des revenus équivalents (Blanchet et Fleurbaey, 2020 et 2022), ajustés sur la qualité de vie (santé, environnement).  $C$  correspond donc à la

consommation agrégée à l'échelle du pays, qui comprend à la fois les composantes marchandes et non marchandes liées à la qualité de vie,

- le calcul de ce critère nécessite de se projeter dans le futur pour ce qui concerne les périodes postérieures à celle dont veut dresser la comptabilité élargie. L'incertitude sur la croissance future de ces consommations équivalentes est donc introduite, en considérant, à chaque période, l'espérance de  $u$ , compte-tenu de l'information disponible à la date où est évalué le critère. La concavité de  $u$  reflète alors l'aversion au risque des ménages. Les implications en résultant pour l'évaluation, en termes de prudence et de valorisation des enjeux assurantiels des politiques, ont été étudiées, en particulier par C.Gollier (2011, 2013),

-la prise en compte des inégalités peut procéder de même. En effet, le critère retenu s'interprète comme un critère d'équité intertemporelle. Il est donc naturel d'y introduire de manière cohérente les enjeux d'inégalité intragénérationnelle, en se référant au voile de l'ignorance d'Harsanyi, l'espérance à considérer intégrant aussi la possibilité d'être riche ou pauvre à une période donnée. La fonction  $u$  détermine donc aussi l'aversion à l'inégalité intragénérationnelle. De cette manière, le critère de bien-être retenu prend en compte l'inclusivité (ou non) du développement. Lorsque l'évaluation concerne une période dont les résultats sont connus, on considèrera le revenu équivalent avec l'indice d'inégalité correspondant,

-finalement, les revenus considérés devraient être « normalisés », prenant en compte l'hétérogénéité des situations des différents ménages, en corrigeant par exemple, les situations familiales par des échelles d'équivalence ou des revenus équivalents, comme le fait la méthode de King (1986) utilisée pour évaluer les réformes fiscales,

Si le critère retenu est compatible avec le critère d'efficacité de Pareto, au sens où sa spécification assure qu'un accroissement d'ensemble de la trajectoire de consommation augmente le bien-être social, il valorise aussi les politiques réduisant les inégalités, intra et intergénérationnelles et prend en compte leurs dimensions assurantielles. Ainsi une transformation accroissant excessivement l'inégalité sera évaluée négativement alors que, par exemple, des transferts d'utilité entre générations réduisant l'inégalité intertemporelle seraient évalués positivement, même s'ils ne constituent pas une amélioration au sens de Pareto. Enfin, il n'est nullement postulé que la situation de référence corresponde au premier rang, contrairement au calcul économique dit « classique ».

Celui-ci s'était attaché plutôt à mettre en évidence les hypothèses de fonctionnement compétitif des marchés, de distribution optimale de revenus et de diversification des risques (en se référant au théorème d'Arrow-Lind) qui permettent de ramener les évaluations socio-économiques à une simple analyse coûts-bénéfices des impacts sur les revenus moyens, avec les prix de marchés, ou de justifier les grandeurs agrégées de la Comptabilité nationale. Dans ce contexte, les évaluations produites par l'analyse coûts-bénéfices étaient présentées comme des indicateurs d'efficacité, à compléter par des analyses des enjeux distributifs, notamment.

De cette manière, on évitait certes les problèmes de définition de la fonction d'utilité collective et donc tout risque de « paternalisme », en renvoyant au domaine exclusif du « politique » les enjeux d'inclusivité et de soutenabilité. On écartait même de lui apporter un éclairage socio-économique en ce domaine. Mais ceci était réalisé au prix d'hypothèses héroïques sur le

fonctionnement des marchés et l'action publique, correspondant à, bien plus qu'une affectation stricte des instruments, à une répartition extrême des grandes fonctions définies par Musgrave.

Les hypothèses faites ici pour définir le critère de bien-être (3) n'emportent nullement des hypothèses d'efficacité des marchés et de répartition optimale des revenus assurée « par ailleurs ». Déterminé essentiellement par le paramètre d'aversion au risque et à l'inégalité, celui-ci peut donc être utilisé pour établir un jugement intégré sur l'opportunité d'une politique pour la société, dans des contextes qui ne satisfont pas ces hypothèses. Les écarts entre les prix implicites à utiliser par le calcul économique et les prix de marché reflètent alors ces imperfections à corriger par les politiques publiques et les contraintes de toutes natures que celles-ci rencontrent.

Ainsi, on ne postule donc nullement une croissance future optimale ou exogène. Non seulement celle-ci est généralement considérée incertaine, mais elle peut aussi dépendre des capacités (ou incapacités) des politiques à bien orienter à long-terme l'accumulation du capital. A titre d'illustration, si l'on se place dans le cadre d'un modèle « AK », la productivité du capital valant  $a$ , le taux de croissance optimal ( $a - \rho$ ) nécessite un taux d'épargne ( $1 - \rho/a$ ). Si ce taux ( $\tau$ ) est différent et non contrôlable, alors le taux de croissance de référence de la consommation en résultera ( $\tau a$ ).

De même, dans son principe, ce critère ne préjuge pas des possibilités ou non de substitutions entre capital productif et patrimoine naturel, par exemple. C'est au niveau du modèle d'évaluation des trajectoires futures (cf.infra) que cet élément, qui évidemment est crucial ensuite pour l'évaluation des prix implicites à utiliser dans le calcul économique et l'évaluation de l'épargne véritable, interviendra.

## II-2. Calcul économique

Avec l'irruption des enjeux climatiques ou d'extinction de la biodiversité, le calcul économique public est aujourd'hui confronté à la nécessité d'évaluer des politiques publiques engageant des horizons très longs, allant bien au-delà de ceux des marchés financiers. Par ailleurs, l'approche consistant à se référer au principe d'Hicks-Kaldor, sans pour autant calculer les transferts compensateurs à y associer, a montré ces limites lorsque l'on essayait d'introduire une tarification du carbone sans se préoccuper de ses éventuels effets régressifs. Ainsi, pour des raisons théoriques de pertinence des hypothèses sous-jacentes et de portée opérationnelle, le calcul économique en ces domaines est contraint de reconsidérer les approches plus normatives fondées sur la définition d'une fonction d'utilité collective. Mais il peut le faire désormais sur la base de fonctions de spécifications éthiquement solides, telles que définies ci-dessus.

Dans son principe, l'évaluation socio-économique d'un projet public ou d'une politique qui ferait passer la séquence de consommation de  $(C_n)$  à la séquence  $(C'_n = C_n + F_n)$ , considère l'impact de ce changement de trajectoire sur le critère de bien-être intertemporel, tel qu'il peut être estimé à la date ( $p$ ) où se fait l'évaluation (4). La valeur actuelle nette correspondante ( $\sigma_p$ ), exprimée en termes de revenu équivalent de l'année où se fait l'évaluation (numéraire), est donc telle que :

$$[V_p((C'_n)) - V_p((C_n))] = u(C_p + \sigma_p) - u(C_p) \quad (5)$$

Pour un « petit » projet dont les bénéfices sont certains, ceci conduit à une analyse bénéfices-coûts pondérant les revenus aux différentes générations, avec des coefficients d'actualisation

( $\delta_{np}$ ) entre les périodes  $p$  et  $n$ , estimés à la date  $p$ , reflétant les sacrifices que la collectivité juge équitable de réaliser pour les générations futures. En effet, le taux de préférence pure pour le présent étant faible, le facteur principal déterminant ces coefficients est le second terme de la dernière équation du système ci-dessous, reflétant l'arbitrage intertemporel associé aux écarts de richesse entre les générations (règle de Ramsey corrigée) :

$$\begin{cases} \sigma_p = \sum_{n=p}^{\infty} \delta_{np} F_n \\ \delta_{np} = (1 + \rho)^{p-n} \frac{E_p(u'(C_n))}{u'(C_p)} \end{cases} \quad (6)$$

Lorsque les politiques considérées affectent le système de prix ou l'état de l'environnement, les écarts ( $F_n$ ) à prendre en compte résultent de calculs de revenu équivalent. Pour l'impact d'une pollution en  $n$ , par exemple, il s'agira du coût des dommages associés, défini comme la compensation devant être versée aux ménages l'année considérée pour qu'ils soient indifférents entre la situation de référence et la situation nouvelle. Ces coûts ou bénéfices sociaux aux différentes périodes sont ensuite actualisés selon la règle ci-dessus, en ajustant sur le risque si les bénéfices sont incertains. En effet, il convient d'ajuster le taux d'actualisation de chaque projet en fonction du risque non diversifiable qui y est associé car, à mêmes bénéfices moyens, il n'est pas du tout équivalent, dans une perspective de choix à long terme, de contribuer à la résilience du développement ou d'en accroître la vulnérabilité<sup>4</sup>.

Le coût social du carbone ( $SCC_p$ ) à la date  $p$  correspond ainsi à la valeur actualisée des dommages générés aux périodes ultérieures par l'émission d'une tonne de carbone à cette date. Si l'on caractérise l'état de l'atmosphère par l'opposé du cumul des émissions anthropiques depuis l'ère préindustrielle, celui-ci représente donc le prix implicite de cet « actif carbone » à cette même date (cf. encadré 2).

### Encadré 2. Définition du coût social du carbone

Source : *Interagency working group on social costs of greenhouses gases, US government, 2022*

The SC-GHG is the monetary value of the net harm to society associated with adding a small amount of that GHG to the atmosphere in a given year. In principle, it includes the value of all climate change impacts, including (but not limited to) changes in net agricultural productivity, human health effects, property damage from increased flood risk natural disasters, disruption of energy systems, risk of conflict, environmental migration, and the value of ecosystem services. The SC-GHG, therefore, should reflect the societal value of reducing emissions of the gas in question by one metric ton. The marginal estimate of social costs will differ by the type of greenhouse gas (such as carbon dioxide, methane, and nitrous oxide) and by the year in which the emissions change occurs. The SC-GHGs are the theoretically appropriate values to use in conducting benefit-cost analyses of policies that affect GHG emissions.

Plus généralement, on fait l'hypothèse (Arrow et al. 2003, 2012) que les caractéristiques des trajectoires futures (incertaines) de consommation au-delà d'une date quelconque ( $s$ ) sont déterminées par :

- un ensemble de différents actifs nécessaires au développement ( $i$ ), dont on note ( $K_{is}$ ) le stock de chacun constitué à la période  $s$  pour les périodes suivantes, capital

<sup>4</sup> i.e. techniquement  $E_p(F_n u'(C_n))$  n'est pas égal à  $E_p(F_n) E_p(u'(C_n))$ , l'écart reflétant ce caractère assurantiel.

manufacturier, stocks de brevets, capital humain, concentration de gaz à effet de serre dans l'atmosphère, patrimoine naturel etc.

-ainsi que de l'état de différents facteurs exogènes ( $j$ ) affectant la croissance, comme l'état des connaissances et des technologies ou certains facteurs institutionnels concernant, par exemple, l'ambition ou l'effectivité des politiques climatiques, que l'on note de même ( $\epsilon_{js}$ ) pour les informations disponibles à la fin de la période  $s$ . Le vecteur correspondant intégrera en général la date  $s$  elle-même pour intégrer une tendance du progrès technique.

Supposant que l'on dispose d'un tel modèle permettant d'estimer les probabilités conditionnelles des différentes variables ( $(k_{it}), (\epsilon_{jt}), c_t$ ) aux dates futures, le critère de bien-être ci-dessus estimé à la date  $s$  pour l'ensemble des générations postérieures (soit  $V_{s+1,s}$ ) peut s'exprimer comme une fonction  $\tilde{V}((K_{is}), (\epsilon_{js}))$  :

$$V_{s+1,s} = E_s(\sum_{n=s+1}^{\infty} u(C_n)/(1+\rho)^{n-s-1}) = \tilde{V}((K_{is}), (\epsilon_{js})) \quad (7)$$

En particulier, on a donc :

$$V_p = u(C_p) + \left( \frac{\tilde{V}((K_{ip}), (\epsilon_{jp}))}{1+\rho} \right) \quad (8)$$

Par ailleurs, c'est sur la base de ce modèle que doivent être définis les prix de référence du calcul économique. En particulier, la valeur marginale escomptée de la disponibilité de l'actif  $i$  à la date  $s$ , telle qu'on peut l'estimer à la date  $p$  vaut :

$$\lambda_{isp} = \frac{\left( \frac{1}{1+\rho} \right) E_p \left( \frac{\partial \tilde{V}}{\partial K_{is}} \right)}{E_p(u'(C_s))} \quad (9)$$

### II-3. Indicateur de production véritable : PIN élargi

Suivant (8), la contribution au bien-être social des *choix* de production, de consommation et d'investissement, ainsi que de redistribution, réalisés à la période  $p$  est résumée par :

- le niveau de consommation de cette période (premier terme),
- et la variation des actifs permise par ces choix et le fonctionnement de l'économie, par rapport à leur niveau de la période précédente (legs des générations antérieures).

La « richesse » *créée* (GPIN) à la période  $p$ , pour la génération présente et pour les générations futures, exprimée en termes monétaires, vaut donc :

$$GPIN_p = C_p + \left( \frac{\tilde{V}((K_{ip}), (\epsilon_{jp})) - \tilde{V}((K_{ip-1}), (\epsilon_{jp}))}{1+\rho} \right) / u'(C_p) \quad (10)$$

A noter que celle-ci est définie en partant du critère de bien-être intertemporel. A l'encontre de la démarche la plus « classique » qui, partant d'une définition du PIB en termes de revenus, établit que, sous les conditions rappelées ci-dessus (efficacité des marchés, distribution optimale des revenus, pertinence des coûts d'investissements et des coûts des facteurs de la production publique pour évaluer la valeur sociale des actifs et services correspondants, pas de non marchand notamment environnemental), celui-ci peut s'interpréter en termes de variation de bien-être social, cette production véritable est définie ici en identifiant ce qui compte dans le critère de bien-être pour juger des résultats de la période.

En effet, c'est le critère de bien-être intertemporel  $V$  qui doit être considéré en premier lieu si l'on veut évaluer la qualité des politiques publiques menées à une certaine période. Dans la mesure où le dernier terme de la formule (10), c'est-à-dire le terme négatif de la parenthèse, ne dépend pas des décisions prises à la période courante, il résulte de (8) et (10) qu'une action à cette période est favorable si elle augmente le PIN élargi ainsi défini.

*Proposition 1. Les politiques de la période courante doivent maximiser le PIN élargi.*

A cette fin, celui-ci doit intégrer, en plus des dépréciations du capital productif, à la fois : les ingrédients d'un PIB « vert et inclusif » pour évaluer le bien-être de la génération courante d'une part ; et les élargissements nécessaires de la notion d'épargne pour prendre en compte les actifs non marchands, notamment environnementaux, d'autre part.

Sous réserve que l'épargne véritable soit bien évaluée, ces corrections apportées au PIB permettent d'évaluer le PIN élargi sur une certaine période, en intégrant notamment les enjeux pour les générations futures. C'est ce PIN élargi que l'on se propose d'évaluer ci-dessous, en mobilisant les travaux sur les valeurs de référence en matière d'évaluation socio-économique. Dès lors que ceux-ci se placent directement dans la perspective de la maximisation de ce critère, la connexion entre les deux problèmes d'évaluation apparaît naturelle. L'évaluation de l'épargne véritable est l'élément-clé à cet égard.

#### **II-4. Epargne véritable et prix implicites des actifs**

Considérons en effet le second terme de la formule (10), qui mesure la contribution des choix de la période  $p$  sur le bien-être des générations futures, tel qu'il est appréhendé au sein du critère de bien-être ( $V_p$ ), au moment où l'on établit les comptes de cette période. Tout d'abord, une première remarque est que l'expression de cette formule manifeste bien à quel point cette évaluation est, par essence, un exercice prospectif, nécessitant d'adopter un modèle exprimant les trajectoires futures du bien-être courant et des différents actifs comme fonction des actifs disponibles et de l'état des facteurs exogènes, l'ensemble étant ici résumé par la fonction  $\tilde{V}$ .

Plus précisément, ce terme reflète donc la valeur anticipée de l'accroissement (ou de l'épuisement) des stocks (ou « *assets* ») qui a été réalisé, par rapport à la période précédente ( $(\Delta K_{ip})$ ), pour les générations postérieures à  $p$ . Nous considérerons donc que ce terme correspond à l'épargne véritable de la période ( $GS_p$ )<sup>5</sup>.

---

<sup>5</sup> Il s'agit ici de la définition que nous retenons, sachant que les terminologies peuvent différer selon les auteurs à cet égard, dès lors que l'on intègre le progrès technique notamment (cf. débats entre Solow et Arrow et ses coauteurs, qui ne sont pas l'objet de cette étude, mais soulignent la nécessité d'explicitier la définition retenue des *assets*). L'épargne véritable que nous considérons ici reflète seulement des décisions de la génération présente, le bien-être des générations futures dépendant de celles-ci et des exogènes dans  $\tilde{V}$ .

La valeur des actifs correspondants constitués à la période ( $p$ ) est par ailleurs associée aux prix implicites  $\pi_{ip}$  tels que :

$$\pi_{ip} = \frac{\left(\frac{1}{1+\rho}\right) \left(\frac{\partial \tilde{V}}{\partial K_{ip}}\right)}{u'(C_p)} \quad (11)$$

Et l'épargne véritable (def.) réalisée à la période  $p$  vaut :

$$GS_p = \sum_i \pi_{ip} \Delta K_{ip} \quad (12)$$

Combinant (10), (11) et (12), le PIN élargi est donc égal à la somme de la consommation courante (ajustée, cf.infra.) et de cette épargne véritable. A noter que, dans ce calcul, les « volumes » relèvent de données observables (ie. de la « statistique »). En revanche, leur monétarisation procède d'un calcul prospectif reflétant comment la croissance future peut alors être appréhendée, avec ses incertitudes<sup>6</sup>. De plus, on a  $\pi_{ip} = \lambda_{ipp}$

*Proposition 2 : La valorisation des actifs pour mesurer l'épargne véritable doit utiliser les prix implicites du calcul économique pour les biens et à la date correspondants.*

S'agissant des actifs marchands tels que l'investissement manufacturier, l'écart avec les évaluations de la comptabilité nationale résulte potentiellement de trois éléments :

- que ce qui compte est la variation des actifs nets, ce qui implique d'intégrer les dépréciations ;
- que leur évaluation doit refléter une juste valeur et non les coûts ;
- et que cette juste valeur doit être une juste valeur sociale (non de marché, comme dans les normes IFRS). Par ailleurs, l'épargne véritable prend en compte tous les actifs, marchands (investissement, dette extérieure, RetD) ou non marchands (capital humain, état de l'atmosphère, patrimoine naturel...), influençant le développement.

## **II-5. Trajectoire des prix implicites et revalorisation du prix des actifs**

Les références du calcul économique proposent des trajectoires pour les différents prix implicites, en particulier pour ceux des actifs qui nous intéressent pour évaluer l'épargne véritable ( $\lambda_{itp}$ ). Ces trajectoires s'appliquent à partir de la date où a été effectuée leur définition ou révision ( $p$ ), puis selon le moment ( $s$ ) où interviendraient les impacts du projet que l'on évalue. Ainsi, le coût social du carbone, par exemple, n'a pas de raison d'être constant si les dommages sont fortement non-linéaires, la règle de Hotelling où le prix croît comme le taux d'actualisation prévalant en particulier dans le cas de dommages catastrophiques au-delà d'un

---

<sup>6</sup> En appliquant ces prix implicites aux actifs disponibles, on peut obtenir par ailleurs une monétarisation globale du patrimoine légué à la génération suivante. Mais il faut rappeler que la variation de cet indicateur de patrimoine n'est pas représentative de l'épargne véritable réalisée sur une période, car il faut retrancher l'effet des revalorisations de ces prix implicites au cours de la période (cf. Arrow et al., 2012, paragraphe 2.5).

certain seuil des concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère (« budget carbone strict »).

Comme on l'a vu, ces prix implicites coïncident avec ceux à utiliser pour évaluer l'épargne véritable à la date où est réalisée leur évaluation, mais pas forcément pour les valorisations à appliquer rétrospectivement. Pour apprécier l'enjeu, rappelons, par exemple, que lors du Club de Rome en 1972, le carbone n'était pas encore considéré comme un actif polluant (ce qui n'ôte rien à son alerte sur les conséquences dramatiques d'une croissance exponentielle dans un monde fini) : c'est davantage à partir de la création du GIEC en 1988 que des travaux évaluent plus spécifiquement l'évolution du climat, ses causes et ses impacts ; et l'acuité des enjeux associés s'est renforcée progressivement.

Quelle valeur carbone appliquer alors pour évaluer l'épargne véritable réalisée par des générations qui n'étaient pas informées des enjeux climatiques (donc ne relevant des GS courants, sauf dans une démarche rétrospective) ? Plus généralement, à quelles conditions les trajectoires de prix du référentiel du calcul économique coïncident-elles avec celles qu'il faudrait mobiliser pour calculer l'épargne véritable, année après année ? Ceci oblige à préciser l'articulation entre les différents prix implicites qui sont utilisés pour aux différentes périodes.

D'après ce qui précède, on a bien, pour tous les actifs  $\pi_{ip} = \lambda_{ipp}$ , puisqu'il s'agit de l'évaluation, réalisée à la période  $p$ , de l'accroissement de bien-être pour les générations ultérieures qui résulterait de la disponibilité à cette date d'une unité supplémentaire de l'actif considéré. Mais, au-delà, la trajectoire pour les prix du calcul économique a été définie à cet instant  $p$ , donc sur la base des variables disponibles à cette date et de l'état de l'économie associé et l'on n'a donc pas en général  $\pi_{is} = \lambda_{isp}$ . En d'autres termes, la méthode suppose que le référentiel du calcul économique soit révisé en permanence pour être utilisable à l'évaluation de l'épargne véritable. Toutefois, cette égalité demeurerait vérifiée si tout ce qui a trait à l'incertitude sur les trajectoires futures disparaissait et que l'on se trouvait sur des trajectoires prévisibles, parfaitement réalisées.

*Proposition 3.  $\lambda_{iss}$  différent de  $\lambda_{isp}$  d'autant plus que les réalisations  $(K_{it}), (\epsilon_{jt})$  s'écartent des scénarios qui étaient envisagés à l'instant  $p$ , le référentiel d'évaluation des actifs doit être réévalué dès lors que l'on s'écarte de cette hypothèse.*

Les évaluations d'épargne véritable doivent ainsi préciser les trajectoires pertinentes de prix des actifs et l'information disponible quand ils ont été calculés. Si les trajectoires fixées pour certains prix implicites du calcul économique sont mobilisables pour cela, il importe cependant que ces dernières soient régulièrement réévaluées.

## **II-6. Liens avec les indicateurs de soutenabilité. Quelques éléments**

Le PIN élargi agrège les bénéfices pour les générations présentes et futures avec un critère de pondération qui est un critère d'équité intertemporelle. Sa décomposition permet d'apprécier par ailleurs ce qui bénéficie respectivement à la période courante et aux générations futures. Cette répartition n'ayant aucune raison d'être optimale, on comprend le souci de considérer plus avant la situation des générations futures, non seulement par rapport à la contribution des générations présentes, mesurée par l'épargne véritable telle que nous l'avons définie, mais aussi plus directement en termes de niveaux de bien-être. A cet égard, les indicateurs à la Bruntland-Hartwick retiennent comme critère de soutenabilité l'évolution de  $V$  au cours du temps.

Dans cette perspective, deux indicateurs renseignant sur l'évolution de  $V$  peuvent être calculés quand on établit les comptes de la période  $p$ .

Le premier est  $\tilde{V}((K_{ip}), (\epsilon_{jp})) - \tilde{V}((K_{ip-1}), (\epsilon_{jp-1}))$ . Il est purement prospectif et compare l'évaluation que l'on fait du bien-être des générations futures à la période  $p$ , par rapport à celle que l'on faisait à la période précédente, pour les générations futures d'alors. Les éléments ainsi pris en compte sont l'évolution des actifs mais aussi des « exogènes ». En effet, cet indicateur peut se décomposer comme :  $\tilde{V}((K_{ip}), (\epsilon_{jp})) - \tilde{V}((K_{ip-1}), (\epsilon_{jp})) + \tilde{V}((K_{ip-1}), (\epsilon_{jp})) - \tilde{V}((K_{ip-1}), (\epsilon_{jp-1}))$ .

Le premier terme correspond à l'épargne véritable<sup>7</sup>, le second à l'impact de l'évolution des facteurs exogènes (progrès technique et connaissances scientifiques sur le climat et le patrimoine naturel, institutions...). Exprimé en termes monétaires de la période  $p$ , comme pour l'épargne véritable, cet impact vaut :

$$X = \left[ \frac{\left( \tilde{V}((K_{ip-1}), (\epsilon_{jp})) - \tilde{V}((K_{ip-1}), (\epsilon_{jp-1})) \right)}{u'(C_p)} \right] / (1 + \rho) \quad (13)$$

Et on a donc  $\Delta\tilde{V}/(1 + \rho) = GS + X$

*Proposition 4. L'évaluation prospective que l'on fait du bien-être des générations futures à la période  $p$ , par rapport à celle que l'on en faisait à la période précédente, pour les générations futures d'alors, est croissante si la somme de l'épargne véritable et de l'impact des facteurs exogènes est positif.*

Par ailleurs, on peut aussi considérer plus rétrospectivement l'évolution  $V_p - V_{p-1}$ , que l'on notera  $\Delta V$  (en termes monétaires). Compte-tenu de (8), on a :

$$\Delta V = \Delta C + \left( \frac{1}{1 + \rho} \right) \Delta\tilde{V} = \Delta C + GS + X \quad (14)$$

En effet, le critère de bien-être agrège les impacts sur les générations présentes<sup>8</sup> et ceux sur les générations futures. Sa variation d'une période à l'autre combine donc l'évolution observée pour les « premières » générations et celle pour les générations ultérieures, cette dernière dépendant de l'évolution des facteurs exogènes.

Ces deux indicateurs de soutenabilité apparaissent ainsi complémentaires, le dernier renseignant sur la soutenabilité de l'évolution la plus récente, et le précédent sur la perspective

<sup>7</sup> Telle que définie ci-dessus (formule (12)), qui n'intègre pas l'impact des exogènes. En d'autres termes, contrairement à Arrow et al. (2013, §2), nous ne considérons pas le temps comme un actif, car non contrôlable, et qu'il y a d'autres exogènes à considérer (cf. infra § « SCC et VAC). Les termes correspondants de leur « investissement complet (ie y compris le temps) » sont donc ici isolés dans un terme spécifique et leur interprétation consistant à intégrer le temps pour constituer des actifs composites a ici pour contrepartie que l'évolution des exogènes affecte le prix des actifs, comme cela sera illustré ci-dessous à propos du budget carbone.

<sup>8</sup> Non négligeable dans un modèle en temps discret.

ultérieure. La comparaison de ces indicateurs peut être utile en particulier pour détecter d'éventuelles difficultés avec les modèles prospectifs utilisés, si les deux estimations divergent de manière permanente, soit parce que le modèle prospectif demeure favorable alors que le rétrospectif est alarmant, ou l'inverse. Plus fondamentalement, l'équation (14) est intéressante car elle exprime directement une condition de soutenabilité en termes de consommation « autorisée » :

$$\Delta V > 0 \text{ si } C_{p-1} < \text{GPIN}_p + X \quad (14')$$

*Proposition 5. La consommation à la période p-1 était compatible avec la soutenabilité si celle-ci était inférieure à la richesse créée à la période suivante, augmentée ou après déduction de l'impact de l'évolution des facteurs exogènes sur la croissance future.*

Ce calcul permet d'éclairer les débats sur la situation où l'on se trouve à un instant donné. Mais il faut souligner que ce n'est qu'un point de départ pour le diagnostic : il ne renseigne nullement sur ce qu'il faudrait faire -ou aurait fallu faire - pour restaurer une croissance soutenable. Il constate seulement que la consommation passée était ou non supérieure à cette consommation dite « autorisée ». Mais, il se peut, typiquement dans une situation conjoncturelle keynésienne, qu'une augmentation de l'investissement public (vert) aurait permis de relever aussi cette dernière.

Par ailleurs, l'épargne véritable, telle qu'elle a été définie, n'est qu'une composante de la soutenabilité, reflétant la contribution des comportements économiques des générations présentes au bien-être des générations futures. La situation de ces dernières dépendra aussi de l'évolution des facteurs exogènes, tels que: chocs sur le progrès techniques ou révision (dans le sens de l'ambition ou, au contraire, du non-respect des engagements pris) des politiques d'investissement et de développement durable etc.

En effet, le progrès technique peut permettre, ou non, de compenser la dégradation de différents stocks et préserver la soutenabilité. La balance correspondante entre l'épargne véritable et l'impact des facteurs exogènes dépend des prix implicites des actifs naturels, ceux-ci reflétant les raretés et les possibilités de substitutions entre les différents actifs, ce que doit décrire avec la meilleure pertinence le modèle prospectif utilisé.

Si l'on se place dans la perspective d'enrichir la comptabilité nationale, il importe enfin que la nature des différents termes que l'on ajoute soit aussi homogène que possible. A cet égard, on peut rappeler que les macro-économistes n'ont pas attendu l'émergence des problèmes de soutenabilité environnementale pour se livrer à des estimations de productivité tendancielle. Mais dans la mesure où les exercices correspondants relevaient de modélisation prospective, aucun comptable national n'aurait imaginé en ajouter l'impact à l'épargne observée. Indépendant des arguments théoriques, ceci renforce l'importance de bien distinguer entre les éléments exogènes et l'épargne véritable.

*Proposition 6. Le PIN élargi reflète une approche intégrée de la politique économique, mais il convient de distinguer la nature des termes complémentaires au PIB classique en termes d'information mobilisée et de traitement de celle-ci :*

*-les modifications de la consommation courante valorisent la qualité de l'environnement et les inégalités observées sur la base de valorisations estimées économétriquement (VSL, échelles d'équivalence, aversion au risque...),*

*-pour l'épargne véritable, les niveaux d'actifs sont observés mais leurs prix, eux, découlent de modélisations prospectives, comme les facteurs exogènes de croissance.*

## **II-7. Coût social du carbone et valeur de l'action carbone**

Le cas des émissions de gaz à effet de serre illustre l'importance de bien définir les actifs que l'on prend en compte et l'articulation entre ces actifs et les facteurs exogènes.

En effet, deux types de valeurs de référence en matière de calcul économique sont utilisées pour leur prix implicite : le coût social du carbone (SCC) reflétant le coût des dommages climatiques, ou une valeur de l'action carbone (VAC) fixant une référence pour les coûts d'abattement. Les deux approches sont complémentaires, car elles ne répondent pas à la même question : le SCC est à considérer pour apprécier l'ambition climatique souhaitable au niveau mondial et guider les négociations internationales; la VAC est utile, au niveau d'un pays, pour mobiliser par ordre de mérite les gisements dont il dispose pour tenir son objectif de décarbonation.

Cette distinction reflète plus fondamentalement le caractère de bien public des politiques d'atténuation. En effet, au niveau mondial, le prix à considérer est le coût social du carbone, actualisant les dommages futurs induits par une émission supplémentaire. Mais, au niveau national, l'état du climat est essentiellement déterminé par les émissions globales de gaz à effet de serre, et non par les émissions nationales. L'impact de celui-ci relève donc des déterminants exogènes de sa soutenabilité ( $\epsilon_{jp}$ ). En revanche, il y a une autre dimension à prendre en compte, liée à l'obligation de tenir nos engagements climatiques en matière d'atténuation. Si le budget carbone national correspondant constitue encore un exogène de  $\tilde{V}$ , l'opposé du cumul des émissions nationales doit lui être incorporé à ce titre comme actif (endogène) dans les évaluations d'épargne véritable, un prélèvement sur ce budget à un instant donné signifiant en effet plus d'efforts à réaliser plus tard par les générations suivantes au sein du pays.

*Proposition 7. La distinction entre SCC et VAC reflète, qu'au niveau d'un pays, les enjeux climatiques interviennent dans le bien-être par plusieurs canaux, que l'on peut décomposer comme suit:*

*-le cumul des émissions passées au niveau mondial, qui détermine le changement climatique acquis, ce qui affecte chaque pays à hauteur des dommages qui le concernent au sein du SCC ou des efforts d'adaptation qu'il devra réaliser pour les limiter,*

*- le supplément de réchauffement climatique à anticiper au-delà, qui dépend de l'ambition future des politiques climatiques mondiales et de la science du climat,*

*-le budget résiduel dont dispose le pays compte-tenu des engagements qu'il a pris de réduction de ses émissions (exogène) et de ses émissions passées.*

Seul ce dernier terme, c'est-à-dire l'opposé du cumul des émissions nationales, constitue un actif endogène au sens de  $\tilde{V}$ . Les autres relèvent de facteurs exogènes, même si certains liens « hors modèle » sont à considérer. Par exemple, la cible nationale pourra être durcie si la coopération internationale se renforce.

Certes, les valeurs implicites des différentes composantes coïncideraient si la coopération climatique était idéale, assurant l'égalité de tous les coûts marginaux d'abattement nationaux

au SCC. Mais, en pratique, il faut distinguer entre ce qui relève des actifs endogènes pour le pays et ce qui relève des exogènes à son niveau. Les premiers interviennent dans l'évaluation de l'épargne véritable (contribution de la génération présente au bien-être des futures) et les seconds dans la partie X de l'indicateur global de soutenabilité, reflétant ce qui n'est pas directement imputable année par année aux comportements économiques des générations présentes du pays.

### **III- APPLICATION EMPIRIQUE A LA FRANCE**

L'application complète de ce cadre d'analyse nécessite d'agir sur deux fronts : revisiter l'évaluation de certaines évaluations ou valorisations d'éléments qui sont incorporés dans la comptabilité nationale, ou la prospective de la productivité pour apprécier la soutenabilité de la croissance en ses termes ; intégrer des actifs qui n'y sont pas en s'appuyant sur les valeurs implicites du calcul économique ou d'autres éléments qui en sont exclus quoique relevant du critère de bien-être social que nous avons retenu (inégalités).

Comme on l'a vu dans la première partie, les éléments sont nombreux pour nourrir le premier axe (éducation, innovation, mesure de la productivité, évaluation de la dépréciation du capital pour estimer le PIB net...). Le rapport Stiglitz-Sen-Fitoussi avait d'ailleurs ouvert de nombreuses pistes en ce domaine. Mais ce qui nous intéresse ici est le second axe : dispose-t-on des éléments pour estimer le PIB net élargi que nous avons défini, en combinant des indicateurs et des valorisations cohérentes ?

Nous ne chercherons donc pas ici à introduire d'éléments nouveaux concernant ce qui est déjà peu ou prou dans la comptabilité nationale même quand des estimations alternatives évaluant la rentabilité sociale des actifs considérés existent, qui seraient éventuellement plus pertinentes que « le coût des facteurs ». De même, s'agissant du bien-être courant, l'article de Blanchet et Fleurbaey (op. cit.) décrit l'état de l'art. Proposer des estimations spécifiques de revenus ou échelles d'équivalence dépasserait notre propos. En revanche, notre objectif étant de tester la faisabilité d'un PIN élargi, ce qui nous intéresse est de voir comment le cadre défini ci-dessus peut être mis en œuvre en pratique.

Il s'agit d'appliquer à la France le cadre d'évaluation présenté ci-dessus, en partant des indicateurs physiques pour ensuite arriver à une valorisation et une agrégation au niveau national, des mesures d'épargne et de PIB notamment. A ce titre, ce qui retiendra notre attention en premier lieu est la capacité (ou non) à mesurer les empreintes environnementales. S'agissant de la consommation ajustée, on soulignera la cohérence que permet cette démarche, d'une part si on applique l'indice d'Atkinson pour mesurer les inégalités, d'autre part en combinant mortalité prématurée et valeur statistique de la vie humaine (VSL) pour intégrer l'état de santé des populations.

#### **III-1. Empreinte carbone**

Comme indiqué ci-dessus, on considérera que, pour un pays comme la France, l'actif pertinent pour évaluer l'épargne véritable annuelle est celui de l'empreinte carbone associée à une approche coût-efficacité, de minimisation des coûts d'abattements face à un budget carbone intertemporel déterminé par nos engagements internationaux.

Ainsi, la Valeur de l'Action pour le Climat (VAC) est définie par France Stratégie (2019) comme une « référence que se donne la collectivité pour évaluer et sélectionner les actions

[d'atténuation] utiles à la lutte contre le changement climatique ». En France, les premiers travaux à ce propos ont eu lieu à l'occasion du rapport Boiteux en 1994 qui envisageait une VAC autour de 32€/tCO<sub>2</sub>. La plus récente révision de la VAC, présentée par la commission présidée par Alain Quinet en 2018, est en accord avec les objectifs de la COP21 ce qui conduit à une trajectoire de VAC se situant à 250€/tCO<sub>2</sub> en 2030, puis 500€/tCO<sub>2</sub> en 2040 et 775€/tCO<sub>2</sub> en 2050.

Suivant ce qui précède, ces révisions peuvent avoir été motivées, soit parce que les engagements collectifs internationaux n'ont pas été tenus, obligeant à revoir le budget carbone à se partager ; soit en fonction du diagnostic scientifique sur le climat et les technologies conduisant à réviser l'objectif climatique ; ou encore, comme vu ci-dessus, si les politiques climatiques mises en œuvre au niveau national ne respectaient les budgets par période cohérents avec ces engagements.

L'Annexe 1 présente la stratégie qui a été retenue pour exploiter les références du calcul économique pour évaluer l'épargne véritable. Incidemment, elle permet aussi d'illustrer comment les modèles utilisés pour évaluer les prix de référence du calcul économique peuvent permettre d'estimer la contribution à la soutenabilité de certains facteurs exogènes en lien.

En pratique, celle-ci retient deux hypothèses : d'une part que les trajectoires retenues dans les rapports administratifs avaient artificiellement incorporé une phase de rattrapage parce qu'il n'apparaissait pas possible de mettre en œuvre les prix du carbone effectifs qu'elles impliquaient ; d'autre part, que le « *waiting game* » constaté au niveau de la coopération internationale a conduit à un épuisement accéléré du budget carbone global. En conséquence, les budgets résiduels considérés à l'occasion des exercices de réévaluation de la VAC avaient dû constater la nécessité d'infléchir de plus en plus drastiquement les trajectoires de décarbonation, avec un glissement du « facteur 4 » au « zéro nettes émissions ».

D'abord, on a donc corrigé les trajectoires des Commissions Quinet pour se conformer à la règle de Hotelling, en relevant leurs valeurs à l'origine, qui avaient été artificiellement baissées par rapport aux résultats des travaux d'optimisation. En effet, ce sont ces valeurs sous-jacentes qui reflètent le prix implicite du carbone, pour apprécier l'épargne véritable à chaque période.

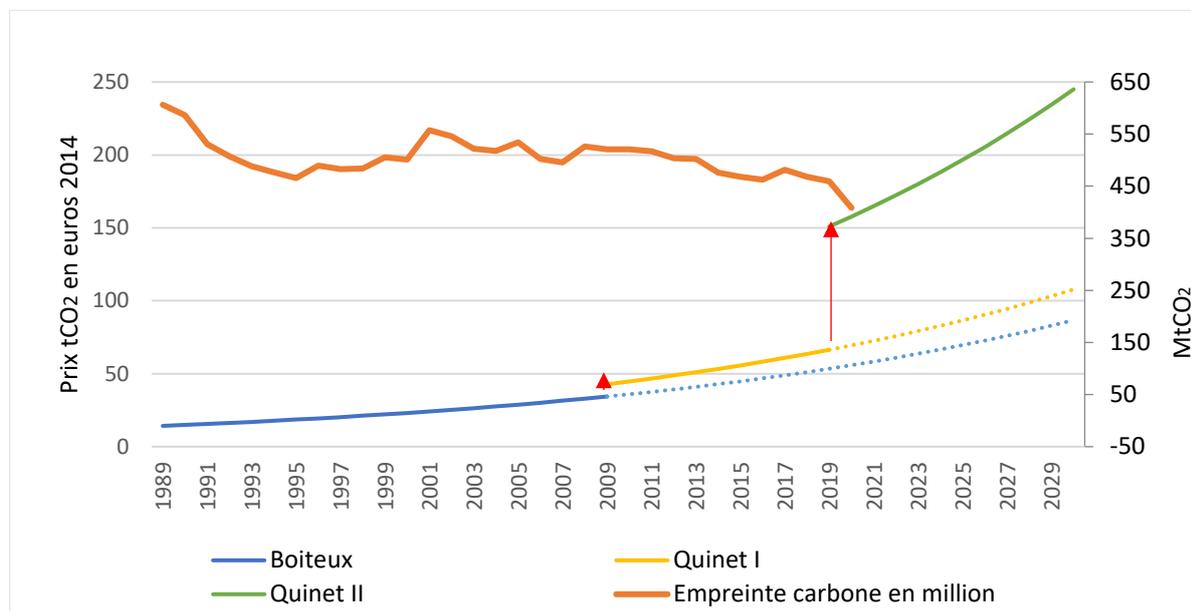
Considérant par ailleurs que les révisions successives de la VAC reflétaient cet amenuisement des budgets carbone résiduels du fait de l'inaction générale, on a aussi estimé sur la base d'un modèle simple de ressource épuisable, la perte (coût de l'inaction) qui est résultée de la non-action internationale pour les générations futures au niveau national sur les différentes périodes. Elle ressort à – 98 milliards d'€ pour Quinet I par rapport à Boiteux et à – 729 milliards d'€ pour Quinet II par rapport à Quinet I.

Le graphique 2 ci-dessous rappelle l'évolution des émissions nationales et celle des VAC prescrites pour le calcul économique.

Sur l'axe de gauche est représenté le prix du carbone retenu avec deux revalorisations : Quinet I en 2009 suivie de Quinet II en 2019. Sur chaque sous-période, le prix du carbone croît selon une loi d'Hotelling de 4,5% par an. Entre 1989 et 2009, la trajectoire du prix est déterminée par une cible de 34,4€<sub>2014</sub>/tCO<sub>2</sub> en 2009. Ensuite, entre 2009 et 2019, la commission Quinet I fixe un objectif de 107,8€<sub>2014</sub>/tCO<sub>2</sub> en 2030 tandis qu'à partir de 2019 la trajectoire Quinet II réévalue le prix cible 2030 à 245€<sub>2014</sub>/tCO<sub>2</sub> afin d'atteindre les objectifs de neutralité carbone en 2030.

Sur l'axe de droite, on note que l'empreinte carbone « physique » annuelle suit un trend décroissant avec une empreinte carbone qui passe de 606MtCO<sub>2</sub> émises en 1989 contre 408MtCO<sub>2</sub> en 2020.

**Graphique 2. Références Boiteux, Quinet I et Quinet II – Valeur de l'Action pour le Climat (VAC)**



Source : calcul des auteurs, *Les chiffres du climat 2022*, MTE

### III-2. Dégradation des actifs naturels

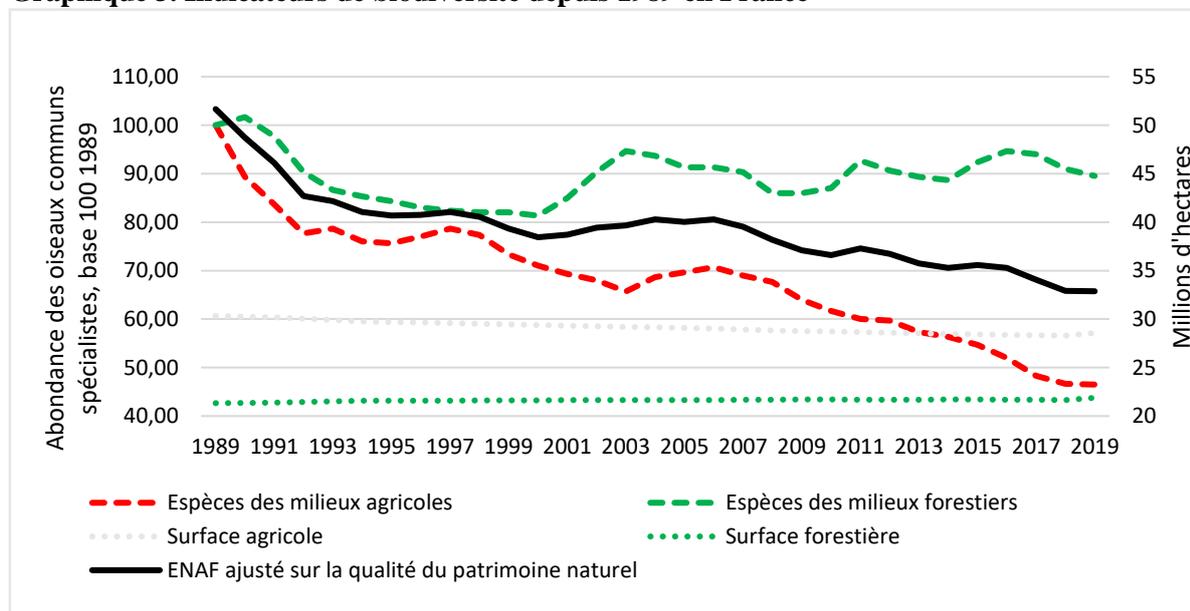
Après le rapport Dasgupta (2021), il n'apparaît plus possible d'évaluer une épargne véritable sans prendre en compte la destruction du patrimoine naturel. Mais en ce domaine, l'évaluation des actifs demeure plus difficile que pour l'empreinte carbone. On dispose cependant des travaux du rapport Chevassus-au-Louis et al. (2009) pour évaluer la valeur des services écosystémiques. Celle-ci fournit notamment des estimations, consolidées sur les différents services (productions de biens, de services de régulation, de puits de carbone, aménités...) des pertes subies quand on détruit un hectare de certain type de sol. On peut donc combiner l'observation des ha changeant d'usage et ces valeurs des services écosystémiques pour chaque type d'ha.

Cependant, il faut souligner que ces valeurs demeurent plus exploratoires que les autres valeurs de référence utilisées par le calcul économique. De plus, si on peut ainsi fournir des évaluations pour les changements d'usage des sols -ce qui est important car le « stock » d'artificialisation des sols détermine l'état de la biodiversité-, ceci ignore les destructions de biodiversité résultant des pollutions, par exemple, qui ne font pas disparaître l'écosystème mais en dégradent le fonctionnement et donc la capacité à fournir certains services écosystémiques. Ceci suggère d'essayer de compléter les données sur les surfaces par des données de qualité de celles-ci.

A cet égard, l'érosion de la biodiversité est liée à de nombreux facteurs, dont la population d'oiseaux communs spécialistes constitue un marqueur synthétique (pour la biodiversité continentale). En effet, une baisse de l'abondance des espèces spécialistes marque une perturbation des habitats, qualitative ou quantitative. Pour mesurer physiquement cet actif (cf. graphique 3), nous retiendrons une synthèse des deux types d'indicateurs de biodiversité combinant l'évolution considérant l'évolution des surfaces naturelles et agricoles, corrigées de

leur état, mesuré par l'abondance des populations d'oiseaux communs spécialistes correspondants (moyenne mobile sur 3 ans). On note que l'évolution de l'indicateur global est alors principalement déterminée par celle de l'abondance des oiseaux communs spécialistes dans les espaces agricoles.

**Graphique 3. Indicateurs de biodiversité depuis 1989 en France**



Source : calcul des auteurs, données Teruti, Agreste, rapport NIR 2020

La chute de la courbe des ENAF (Espaces Naturels, Agricoles et Forestiers) ajustés sur la qualité du patrimoine naturel qui intervient en début de période est à relier à la politique agricole qui prévalait avant la grande réforme de la politique agricole commune de 1992, celle-ci opérant un basculement d'une politique de soutien des prix très incitative à l'intensification vers un soutien au revenu. La tendance s'est alors infléchie même si elle est demeurée défavorable.

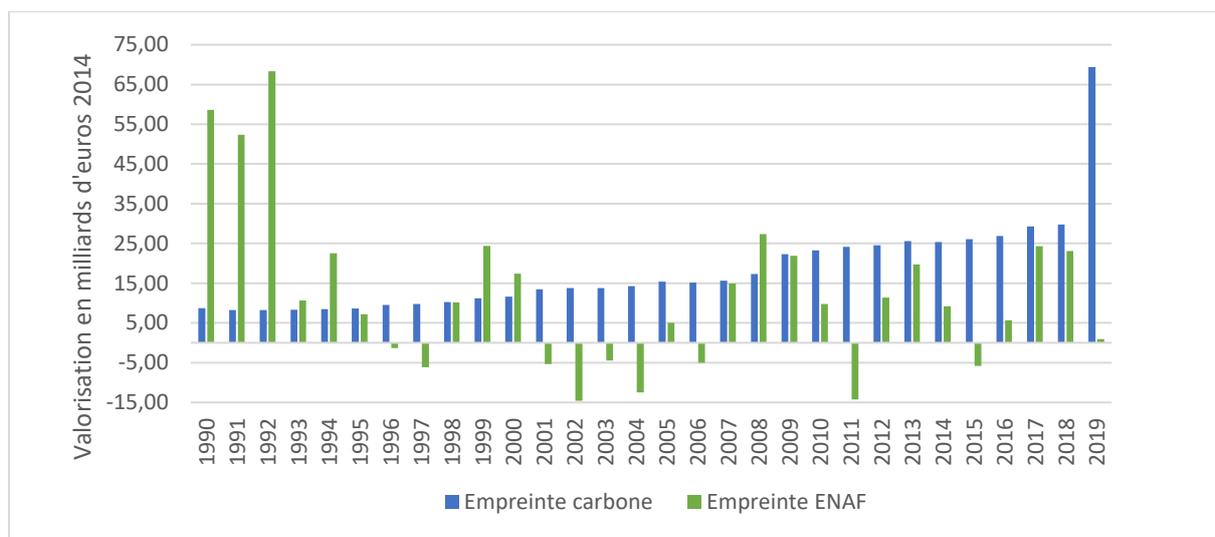
Pour la valorisation, nous avons retenu un prix de 20 000€/ha qui combine différentes références, en premier lieu celles du rapport Chevassus-au-Louis (2009) qui propose un montant de l'ordre de 10 000€/ha. Cependant, quoique supérieure à la valeur vénale moyenne des terres agricoles (environ 6 000€/ha avec des écarts forts en fonction des régions), cette évaluation ne prend en compte que les valeurs d'usage. Compte-tenu de son ancienneté, elle sous-estime aussi les enjeux de puits de carbone.

A titre de comparaison, on observe que les Mesures Agro-Environnementales Climatiques (MAEC) ont un prix compris entre 50 et 900 €/ha soit, pour le maximum 28 000€/ha en valeur totale actualisée, ce qui fournit une indication sur ce que la collectivité peut être prête à dépenser pour préserver ces services. A noter enfin que la Caisse des dépôts propose des compensations environnementales associées à des mesures de restauration pouvant coûter autour de 48 000€/ha.

### III-3. Epargne véritable

Le graphique 4 ci-dessous décrit les impacts en termes d'empreintes « valorisées » qui résultent chaque année de la dégradation des actifs naturels (graphique 4)

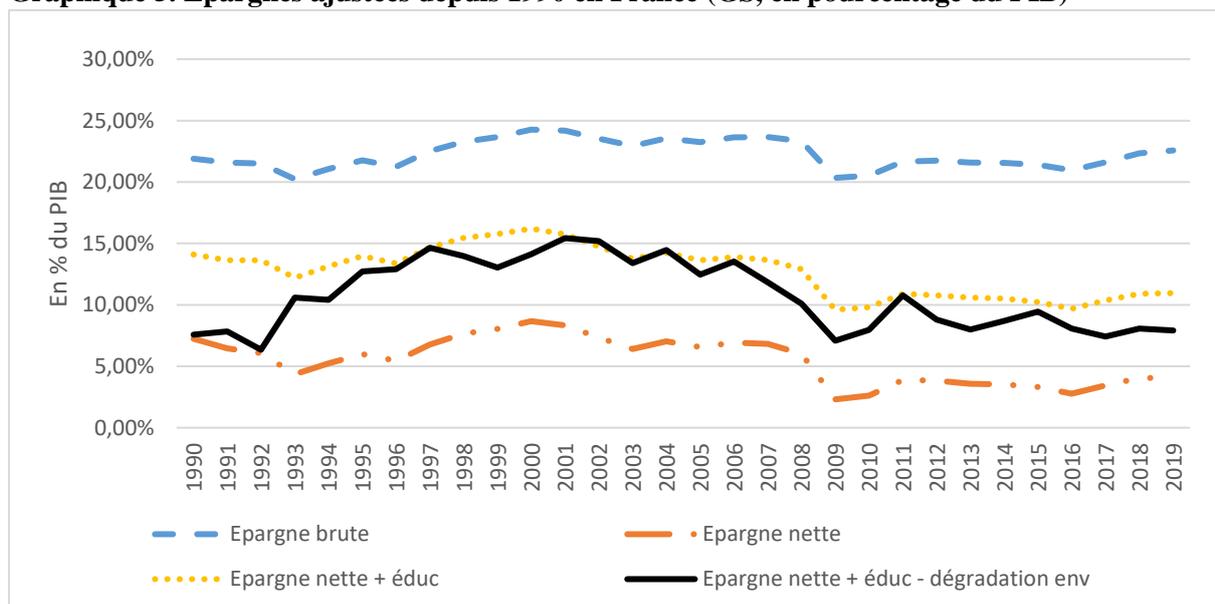
**Graphique 4. Contribution de la dégradation des actifs naturels – y compris revalorisation, à la croissance future**



Source : calculs des auteurs, *Chiffres clefs du climat 2022*, NIR 2020

Le graphique 5 synthétise les corrections à apporter alors à l'évaluation de l'épargne sur la période 1990-2019.

**Graphique 5. Epargnes ajustées depuis 1990 en France (GS, en pourcentage du PIB)**



Source : calculs des auteurs, données INSEE et Ecostat

Les résultats entre 1990 et 2005 sont cohérents avec les estimations de la CSSF. Ensuite, étant donné que la valorisation des atteintes à l'environnement s'accroît, on parvient à un écart plus important entre la courbe jaune (épargne nette + éducation) et la courbe noire (GS) : chaque année, l'environnement pèse négativement sur l'épargne et cet écart se creuse en 2019, les émissions de gaz à effet de serre étant comptées avec la VAC Quinet II.

Cette estimation semble diverger de celle de Germain et Lellouch (2020) qui adoptent une définition restreinte d'épargne ajustée en valorisant uniquement les émissions de CO<sub>2</sub> avec un

prix rétopolé en 2019 de 153€/tCO<sub>2</sub> et trouvent une trajectoire de l'épargne non soutenable (-0,2% du PIB en 2018).

L'écart résulte principalement des dépenses d'éducation (publiques et privées), dont la prise en compte comme investissement pour l'avenir conduit à considérer que l'épargne nette ajustée est sur une trajectoire soutenable, avec un taux de l'ordre de 8% du PIB en 2019. En effet, l'empreinte carbone compte actuellement pour environ 60 mds€ alors les dépenses d'éducation représentent en moyenne 138 milliards d'€<sub>2014</sub> avec une tendance croissante, ce qui contribue grandement à la soutenabilité.

Bien que ces résultats semblent plus optimistes quant à la soutenabilité de notre économie, il est important de souligner que l'écart entre l'épargne brute « classique » et le GS est tout de même de 14%, du fait des consommations de capital fixe et l'environnement. Par ailleurs, l'augmentation permanente du prix du carbone et –sans doute- la réévaluation des impacts à la biodiversité vont accroître à l'avenir le poids des dégradations environnementales. Enfin, au niveau des facteurs exogènes, l'importance des enjeux d'adaptation au changement climatique a été soulignée : l'empreinte carbone n'est donc pas le seul élément à prendre en compte en relation avec le changement climatique.

### **III-4. Consommation agrégée ajustée**

Les enjeux de santé-environnement, en particulier ceux liés à la pollution de l'air du fait des émissions diffuses, sont un élément important à prendre en compte pour apprécier le bien-être de la génération courante. Plus généralement, dans la partie consacrée à la qualité de vie, la CSSF soulignait le fait que la santé est fondamentale ; « sans vie, aucune des composantes n'a de valeur ». C'est donc plus généralement par rapport à l'ensemble des facteurs l'affectant qu'il conviendrait d'ajuster la consommation pour mieux refléter le bien-être associé.

A cet égard, les indicateurs usuels en termes de QALY (Quality-adjusted life years) et DALY (Disability-adjusted life years) ne peuvent être aisément interprétés en termes économiques, de consentements à payer pour plus de sécurité.

En revanche, on dispose d'estimations de valeur statistique de la vie humaine, utilisées par exemple pour évaluer les politiques de réduction des pollutions. Par ailleurs, la VSL informe sur l'effort que l'on est prêt à consentir pour réduire un risque de mortalité. En 2012, l'OCDE a conduit une méta-analyse de 856 études économétriques disponibles, aboutissant à une VSL moyenne de 4 007 900 USD<sub>2005</sub> au sein des pays de l'OCDE. Ce rapport propose également une différenciation des valeurs tutélaires par secteur, par type de risques et par âge. En France, les prescriptions rappelées à l'encadré 1 avaient considéré que les résultats ne sont pas assez robustes dans les différenciations sectorielles, ceci conduisant à retenir une valeur unique de 3.43 millions d'€<sub>2018</sub>, croissant au même rythme que le PIB/tête. Nous retiendrons dans notre application cette valeur de référence.

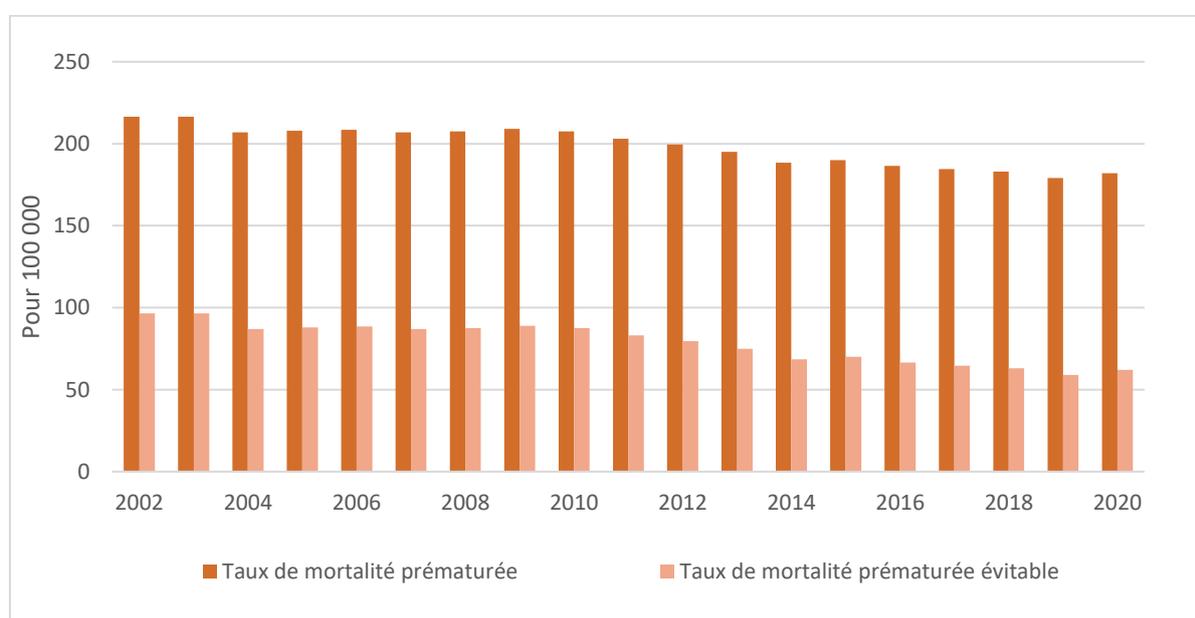
Les indicateurs de santé publique qui, conceptuellement, peuvent y être combinés le plus aisément sont les taux de mortalité prématurée, l'indicateur le plus courant à cet égard étant le nombre de décès avant l'âge de 65 ans. A cet égard, Muriel (2019) souligne le fait que la France occupe une position intermédiaire parmi les pays européens avec une longévité très élevée pour les femmes mais un écart important au désavantage des hommes, qui souffrent d'un taux de mortalité prématuré parmi les plus élevés d'Europe de l'Ouest (270 pour 100 000 habitants en

2015). Le taux de mortalité prématurée baisse en France à partir de 2009 et cela est dû à la baisse de la mortalité sur les routes.

Afin d'estimer un taux de mortalité prématurée évitable, nous avons soustrait du taux français le taux des pays qui affichent les meilleurs résultats. Pour les femmes, à Chypre le taux de mortalité est de 96 tandis que pour les hommes, la Suède connaît un taux de 145 pour 100 000. A ce chiffre, nous avons retiré les suicides car ils peuvent être considérés comme évitables notamment grâce à des accompagnements psychologiques ou psychiatriques. On note alors que ce taux de mortalité prématuré décroît et stagne autour de 60 pour 100 000 en France (graphique 6).

Nous valorisons ce taux grâce à la valeur de la vie humaine française (Quinet, 2013). En 2020, on estime alors les coûts de la mortalité prématurée à 74 milliards d'euros.

**Graphique 6. Taux de mortalité prématurée depuis 2002 en France**



Source : calculs des auteurs, données INSEE et Eurostat.

### III-4. Inclusivité

Pour que la croissance soit soutenable et inclusive, la préservation du stock de capital et de l'environnement ne suffisent pas. Il faut qu'elle soit accompagnée de mécanismes permettant que le bénéfice futur de ce stock de capital ne soit pas accaparé de manière croissante par une seule partie de la population.

Une recommandation importante de la CSSF était ainsi « d'accorder davantage d'importance à la répartition des revenus, de la consommation et des richesses ». Dans cette perspective, l'indicateur d'Atkinson est d'intérêt particulier, car compatible avec la formulation du bien-être social « sous le voile de l'ignorance », pour des fonctions d'utilité CARA ( $u(C) = C^{1-m}/(1 - m)$ ) :

$$A_{1-m} = \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n c_i^{1-m} \right)^{\frac{1}{1-m}} \quad (15)$$

$m$  caractérisant l'aversion à l'inégalité, le focus se déplace vers les individus de plus en plus défavorisés au fur et à mesure que  $m$  augmente.

Plutôt que la comparaison inter quintiles, on propose donc ici d'aborder les enjeux d'inclusivité en corrigeant le niveau de consommation moyenne  $\bar{C}$  par l'indice d'inégalité  $I$  associé à ce critère. De plus, on retient  $m = 2$ , en ligne avec l'indice d'aversion au risque généralement retenu dans le critère de bien-être. La consommation corrigée des inégalités correspond alors à  $\bar{C}(1 - I)$ , pour le modèle d'Atkinson.

Sachant que les indicateurs statistiques les plus courants considèrent seulement la part des revenus du quintile le plus pauvre ( $s$ ) et le rapport entre les quintiles extrêmes ( $k$ ), on s'est limité à diviser la population en 3 groupes : les 20% les plus pauvres, les 20% et les plus riches et les 60% de la classe intermédiaire. Mais retenir une décomposition par déciles ne présenterait pas de difficulté. Notant  $S20$  la part de la masse totale de niveau de vie détenue par les 20% les plus pauvres après redistribution et  $S80$  la part détenue par les 80% restant, et  $k$  le rapport des masses soit la richesse finale après transfert détenue par les 20% les plus riches sur la richesse des 20% les moins riches:

$$k = \frac{100 - S80}{S20} \quad (16)$$

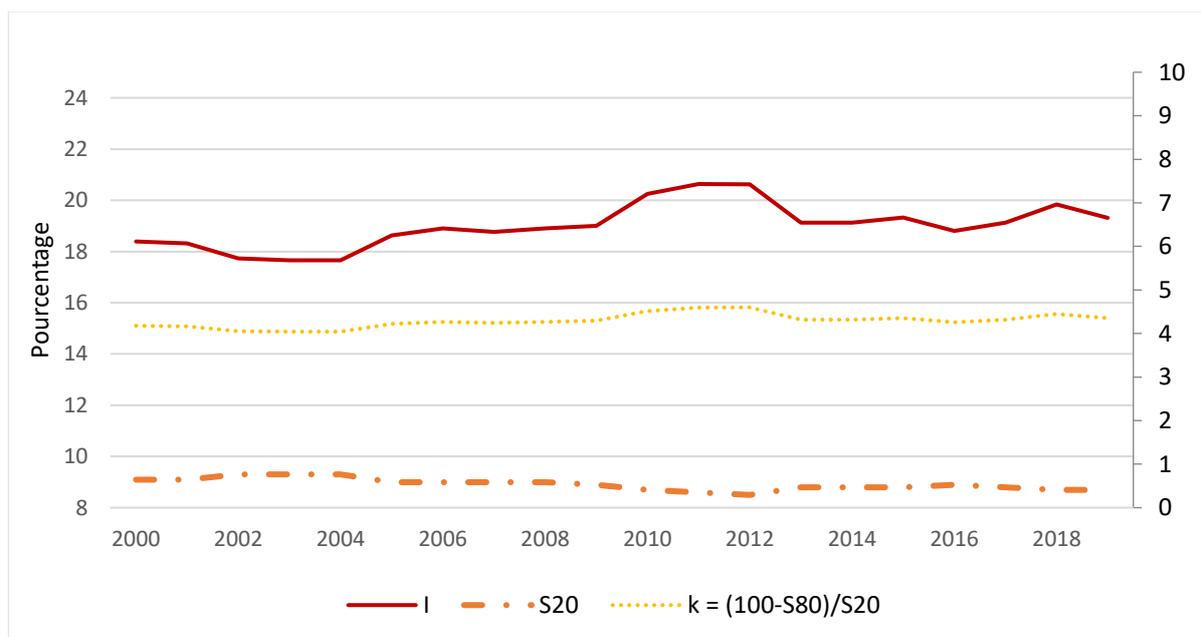
$$s = \frac{S20}{0,2} \quad (17)$$

Cet indice d'inégalité vaut (cf Annexe 2):

$$I = \frac{0,2[1 - 0,2(1 + k)] - \frac{ks}{1+k} [0,64 - 0,2s(1 + k)]}{0,2[1 - 0,2s(1 + k)] + 0,6^2 \frac{ks}{1+k}} \quad (18)$$

Le graphique 7 ci-dessous en propose une estimation.

**Graphique 7. Indices d'inégalités depuis 2000 en France**



Source : calcul des auteurs, données « niveaux de vie et indicateurs d'inégalités », INSEE

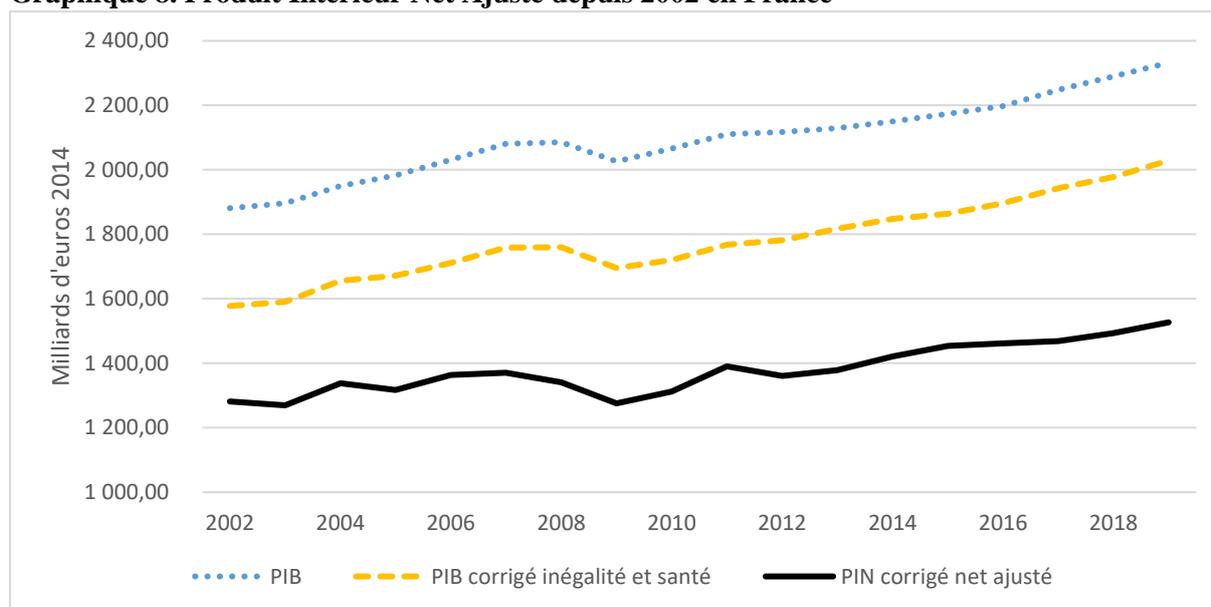
On note que la courbe grise, qui renvoie à l'échelle de droite et qui correspond au rapport des masses entre les 20% les plus riches et 20% les plus pauvres est relativement stable car ce rapport oscille entre 4 et 4,6. En revanche, l'indicateur d'Atkinson que nous avons présenté dans la deuxième partie et dans l'annexe 1 est relativement plus sensible. D'une part, il corrige la consommation d'environ 18% en niveau et comporte une légère tendance à la hausse.

Ce graphique suggère que l'indice d'inégalités retenu est non seulement intéressant du fait qu'il s'intègre dans notre cadre d'analyse, mais aussi parce que la correction sociale du PIB à laquelle il aboutit n'est pas négligeable. De plus, l'indicateur d'Atkinson est par nature disymétrique, ce qui n'est pas le cas des Gini, ni du rapport des quintiles, si bien que par le fait qu'on y ajoute la composante S20, la tendance est plus marquée. Contrairement à ce que l'on imagine souvent, l'évaluation socio-économique, telle que menée ici, ne conduit pas à relativiser les enjeux distributifs par rapport à ceux d'efficacité allocative.

### III-5. PIN élargi

Le graphique 8 déduit des éléments précédents une évaluation ajustée de la richesse créée (PIN élargi), qui intègre à la fois les corrections sur le bien-être courant (inégalités et santé publique) et celles qui précèdent sur la mesure de l'épargne.

**Graphique 8. Produit Intérieur Net Ajusté depuis 2002 en France**



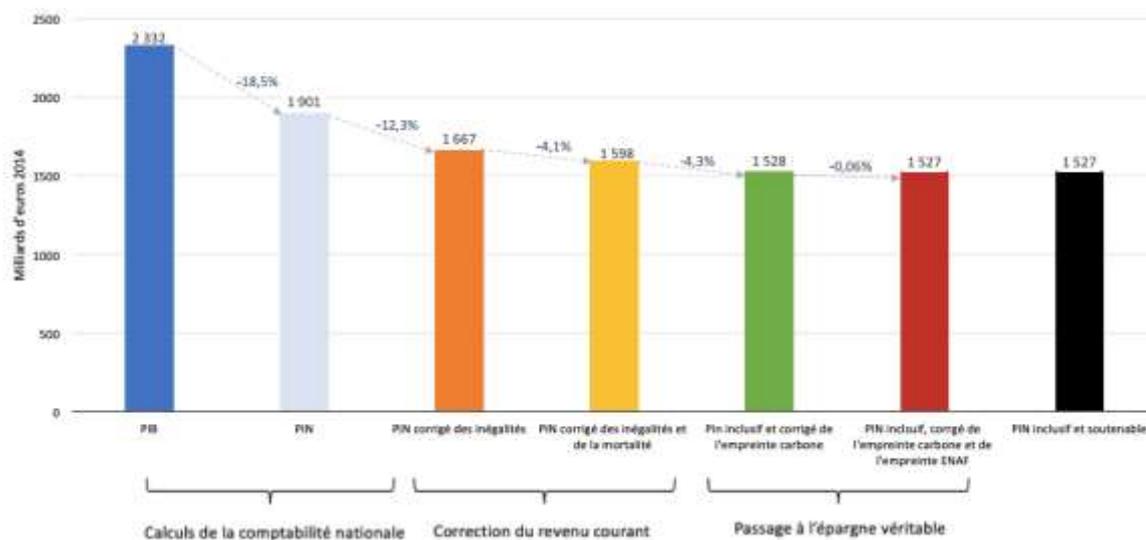
Source : calculs des auteurs, données INSEE et Ecostat

Celui-ci souligne l'écart qui existe entre le PIB et ce que serait un indicateur de richesse véritable créée. L'écart résulte principalement des consommations de capital et de la prise en compte d'un revenu équivalent corrigé des inégalités. Cependant, la dégradation des actifs environnementaux accroît l'écart, et ce facteur est appelé à s'élargir tendanciellement.

De manière plus désagrégée, le graphique 9 ci-dessous synthétise la démarche qui a été suivie pour passer du PIB à un PIN corrigé net ajusté des inégalités, de la santé et des dommages environnementaux, en distinguant trois étapes : les données de la comptabilité nationale ; les corrections du bien-être courant ; et celles pour mesurer l'épargne véritable. Il souligne que

toutes les corrections comptent et qu'il importe de pouvoir les balancer, dans le cadre d'évaluations intégrant les différents enjeux.

**Graphique 9. Du PIB au PIN inclusif et véritable en 2019**



En termes quantitatifs, la prise en compte des dépréciations de capital productif demeure la correction principale et celle qui suit résulte des inégalités. Dans la logique de second rang qui sous-tend la trajectoire de référence, un tel chiffre ne signifie pas nécessairement que l'on n'en fait pas assez car l'inégalité après transferts doit être balancée avec le coût des distorsions induites pour financer les politiques de redistribution : avec l'indice d'inégalité retenu, pour un pur impôt négatif, le bilan net s'exprime simplement comme la différence entre ( $I$ ), qui mesure la valeur associée à la réduction des inégalités obtenue ainsi, et le « coût d'opportunité des Fonds publics » qui lui reflète la perte de consommation « moyenne » liée aux distorsions induites par le financement de la mesure. Mais ceci souligne à nouveau que des dégradations faibles de l'indicateur d'Atkinson ne sont pas à négliger.

Les autres corrections sont macro économiquement d'ampleur plus limitée, chacune ayant un ordre de grandeur se chiffrant en unités de point de PIB (sauf, pour le patrimoine naturel en 2019, mais il faut noter que l'indicateur correspondant est très volatile). Cela n'est cependant non négligeable pour des enjeux sectoriels, pour lesquels des mesures politiques publiques sont susceptibles de réduire grandement certaines pertes. Enfin il faut répéter que l'épargne véritable n'est qu'une composante de l'indicateur de soutenabilité et que, pour le changement climatique, c'est aussi par le biais des conséquences du changement global que notre économie est désormais affectée, la température moyenne française ayant cru de 1,7% depuis le début du siècle dernier. De plus, cette tendance est appelée à se poursuivre pendant au moins une vingtaine d'années.

## CONCLUSION

Avec l'objectif de tester la faisabilité d'indicateurs intégrés de la croissance, nous avons évalué un indicateur de production véritable élargissant le PIB dans les deux dimensions, de l'amélioration de la mesure du bien-être courant, y intégrant les inégalités, et de la soutenabilité, avec une épargne véritable élargie à l'empreinte carbone et au patrimoine naturel. Après avoir rappelé comment l'ensemble dérive d'un même cadre normatif d'espérance des utilités sous le

voile de l'ignorance, et que les prix implicites des actifs à considérer sont ceux du calcul économique, la démarche a été appliquée au contexte français, avec les références correspondantes s'y appliquant pour le calcul économique.

En premier lieu, il est notable, sur le plan méthodologique, que la plupart des thématiques visées par les nouveaux indicateurs nationaux de richesse peuvent donc être intégrées dans un cadre cohérent unique de mesure de la richesse créée. Ainsi, on peut apprécier les poids relatifs des différentes composantes de soutenabilité et d'inclusivité, ainsi que la nature des enjeux qui y sont associés. Cependant, ceci n'empêche pas que beaucoup reste à faire pour consolider les estimations, le domaine du patrimoine naturel étant celui où le besoin de progrès est le plus manifeste. En d'autres termes, c'est au niveau empirique que les critiques concernant l'épargne véritable méritent l'attention, le concept apparaissant en revanche incontournable si l'on veut évaluer la manière dont les générations présentes se préoccupent du développement futur.

Par ailleurs, la spécificité des indicateurs de soutenabilité -comme celle des prix de référence pour le calcul économique-, est qu'ils nécessitent un calcul prospectif. En conséquence, ils ne valent que par la qualité des modèles utilisés pour appréhender l'impact des différents actifs sur la croissance future. Les indicateurs d'épargne véritable relèvent donc d'exercices hybrides combinant l'évaluation statistique des actifs et des modèles aptes à prévoir l'évolution des raretés. Alors que les corrections opérées sur la richesse courante mobilisent des instruments auxquels peut déjà recourir la statistique, pour calculer, par exemple, des indices de vrai coût de la vie, certains partages volume-prix ou des échelles d'équivalence, cette dimension prospective conduit sans aucun doute à distinguer les évaluations en ce domaine de la pure statistique, même si le cadre conceptuel est bien celui de la comptabilité nationale.

Enfin, on a rappelé que l'épargne véritable n'est qu'une composante de l'indicateur de soutenabilité, reflétant la contribution de la génération présente. Les évaluations de soutenabilité doivent s'attacher à évaluer aussi l'impact des facteurs exogènes sur la croissance et le bien-être des générations futures, pour apprécier la balance entre les différents facteurs. Là encore, les données et modèles à utiliser sont de même nature que ceux qu'il faut développer pour définir les références du calcul économique.

## **BIBLIOGRAPHIE**

- Albouy V., P. Godefroy et S. Ollivier, 2010, « Une mesure de la qualité de vie », France Portrait Social – édition 2010, Coll. Insee Références, 99-146.
- Antonin, C., Mélonio, T., & Timbeau, X. (2012). « L'épargne nette ré-ajustée ». *Revue de l'OFCE*, (1), 259-286.
- Arrow, K. J., Dasgupta, P., & Mäler, K. G. (2003). « Evaluating projects and assessing sustainable development in imperfect economies ». *Environmental and Resource Economics*, 26(4), 647-685.
- Arrow, K. J., Dasgupta, P. and Maler, K. G. (2003), 'The genuine savings criterion and the value of population, *Economic Theory*21(2-3)
- Arrow, K. J., Boussoian, A., Feng, Q., & Sethi, S. P. (2008). "The Genuine Saving Criterion and the Value of Population in an Economy with Endogenous Population Changes".
- Arrow, K. J., Dasgupta, P., Goulder, L. H., Mumford, K. J., & Oleson, K. (2012). "Sustainability and the measurement of wealth". *Environment and development economics*, 17(3), 317-353.
- Arrow, K. J., Dasgupta, P., Goulder, L. H., Mumford, K. J., & Oleson, K. (2013) "Sustainability and the measurement of wealth: Further reflections". *Environment and Development Economics* 18(4), 504-516
- Asheim G. & S. Zuber, 2022. "Rank-discounting as a resolution to a dilemma in population ethics," PSE-Ecole d'économie de Paris
- Blanchard, O., & Tirole, J. (2021). Les grands défis économiques. *Rapport de la Commission internationale présidée par Olivier Blanchard et Jean Tirole*, 23.
- Blanchet D. (2010). « La mesure de la soutenabilité : les propositions de la commission Stiglitz ». *Les indicateurs de développement durable*, 15.
- Blanchet D. & M. Fleurbaey (2020). « Construire des indicateurs de la croissance inclusive et de sa soutenabilité: que peuvent offrir les comptes nationaux et comment les compléter? /Building Indicators for Inclusive Growth and its Sustainability: What Can the National Accounts Offer and How Can They Be Supplemented? ». *Economie et Statistique*, 517(1), 9-25.
- Blanchet D. & M.Fleurbaey (2022). « Valeurs, volumes et partages volume-prix : sur quelques questions (re)soulevées par la crise sanitaire ». *Economie et Statistique*, 532-33, 71–88.
- Bureau D. (1985), « Cohérence entre choix de projets et politique de régulation macroéconomique », *Annales de l'INSEE*, n° 57, pp. 51-72, 1985.
- Canry, N. (2019). « Pourquoi et Comment mesurer le capital humain dans la comptabilité nationale ? ». *INSEE Méthodes*, 134(F1901), 65-83.
- Chevassus-au-Louis, B., Salles, J. M., Pujol, J. L., Bielsa, S., Martin, G., & Richard, D. (2009). *Approche économique de la biodiversité et des services liés aux écosystèmes: contribution à la décision publique* (No. 18, pp. 400-p). Ministère de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Pêche.
- Clerc, M., Gaini, M., & Blanchet, D. (2010). « Les préconisations du rapport Stiglitz-Sen-Fitoussi: quelques illustrations ». *L'économie française*.
- Cling, J. P., Eghbal-Teherani, S., Orzoni, M., & Plateau, C. (2019). « La France et les objectifs du développement durable. Insee Références ». *L'économie française-comptes et dossiers*, 57-81.

- Dasgupta, Folke, C., Polasky, S., Rockström, J., Galaz, V., Westley, F., Lamont, M. & Walker, B. H. (2021). "Our future in the Anthropocene biosphere". *Ambio*, 50(4), 834-869.
- Emmerling J., Groom B, Van der Ploeg F. (2022). "Intragenerational Inequality under Economic Uncertainty". Working Paper, Resources for the Future
- Everett, G., & Wilks, A. (1999). "The World Bank's Genuine Savings Indicator: a useful measure of sustainability". *Bretton Woods Project*, 1-10.
- Fleurbaey, M., & Blanchet, D. (2013). *Beyond GDP: Measuring welfare and assessing sustainability*. Oxford University Press.
- Germain, J. M., & Lellouch, T. (2020). "Coût social du réchauffement climatique et indicateurs de soutenabilité: les enseignements d'une application à la France ». *Economie et Statistique*, 517(1), 85-106.
- Gollier, C et al. (2011). « Le calcul du risque dans les investissements publics ». *Centre d'analyse stratégique. La documentation française*
- Gollier, C. (2013). "Pricing the Planet's Future. The Economics of Discounting in an Uncertain World". Princeton University Press.
- Guesnerie. R. et al. (1984). "Calcul économique et resorption des déséquilibres", Rapprt pour le Commissariat general au Plan, La Documentation française.
- Hamilton, K. (2000). "Genuine saving as a sustainability indicator". *OECD Proceedings: Frameworks to Measure Sustainable Development*, 65-78.
- King M. (1986). « The Empirical Analysis of Tax Reforms » (August 1986). NBER Working Paper No.1996
- Muriel, M. « Santé et vieillissement: un regard comparé sur la situation des femmes et des hommes en France et en Europe ». *La France dans l'Union européenne*. 2019
- Quinet E. (2013). « L'évaluation socio-économique des investissements publics ». Commissariat général à la stratégie et à la prospective.
- Quinet, A., Bueb, J., Le Hir, B., Mesqui, B., Pommeret, A., & Combaud, M. (2019). « La valeur de l'action pour le climat ». *France stratégie*, 3624-48.
- Stern, N. (2007). *The economics of climate change: the Stern review*. Cambridge University press.
- Stiglitz, J. E., Sen, A. K., & Fitoussi, J. P. (2009). Rapport de la Commission sur la mesure des performances économiques et du progrès social.
- Thiry, G. (2010). « Indicateurs alternatifs au PIB: Au-delà des nombres. L'épargne nette ajustée en question ». *Emulations*, (8), 39
- Tokimatsu, K., Yamaguchi, R., Sato, M., Yasuoka, R., Nishio, M., & Ueta, K. (2011). « Measuring future dynamics of genuine saving with changes of population and technology: application of an integrated assessment model". *Environment, Development and Sustainability*, 13(4), 703-725.
- Wagner G., Anthoff . D, Cropper M. et al. (2021). « Eight priorities for calculating the social cost of carbon ». *Nature*, 590(7847):548-550

## ANNEXE 1 : VALEUR CARBONE ET APPROCHE EN « BUDGET CARBONE »

On adopte un modèle de ressource épuisable d'équilibre partiel avec une fonction d'utilité  $u(C + v(x))$  avec  $v(x)$  le consentement à payer (WTP) des générations présentes.

$$v(x) = \alpha(1 - e^{-kx})$$

On définit le budget carbone comme la quantité cumulée de dioxyde de carbone autorisée pouvant être libérée dans l'atmosphère par le pays à partir de la date considérée. Ayant explicité le lien entre la valeur carbone de ce modèle coût-efficacité et le budget carbone dont elle découle, on peut évaluer les pertes de richesse implicitement constatées à l'occasion des révisions de celles-ci.

### Valeur du carbone

Soit  $B_t$  le budget carbone résiduel en  $t$ . La gestion optimale du budget carbone à partir de cette date est définie par la fonction ci-dessous, fonction du taux d'actualisation  $r$ , à maximiser sous la contrainte de budget total  $B_t$  dont on note  $P_t$  la variable duale :

$$\text{Max} \int_s^\infty v(x_s) e^{-r(t-s)} ds$$

D'où, la condition nécessaire en  $s$  ( $s \geq t$ )  $P_t e^{r(s-t)} = v'(x_s)$  (règle de Hotelling)

Soit  $P_t e^{r(s-t)} = k\alpha e^{-kx_s}$ . Ainsi, plus  $r$  est élevé, plus la préférence pour le présent est forte et donc moins les générations futures comptent ; le budget carbone est alors consommé plus vite. En revanche, lorsque  $k$  est élevé, on cherche une meilleure répartition entre les générations et donc le budget carbone est consommé moins vite. Sachant que, en particulier que  $P_t = k\alpha e^{-kx_t}$ , le niveau optimal des émissions et le budget carbone résiduel en période  $s$  sur cette trajectoire vérifient :

$$x_s = x_t - \frac{r}{k}(s - t)$$

Le stock de carbone s'épuise en  $T$  lorsque  $T = \frac{k}{r}x_t$ , d'où  $B_t = \frac{k}{2r}x_t^2$  et donc  $x_t = \sqrt{\frac{2r}{k}B_t}$

### La valeur sociale du budget carbone $B_t$

Pour mémoire, on a donc  $P_t = k\alpha e^{-kx_t}$

$$\text{Avec } x_t = \sqrt{\frac{2r}{k}B_t} \qquad T = \sqrt{\frac{2k}{r}B_t} \qquad rT = kx_t$$

$$x_s = x_t - \frac{r}{k}(s - t)$$

On pose  $u = s - t$  et donc  $x_u = x_t - \frac{r}{k}u$

$$W_t = \int_t^\infty v(x_s) e^{-r(s-t)} ds = \int_0^T \alpha(1 - e^{-kx_u}) e^{-ru} du = \int_0^T \alpha(e^{-ru} - e^{-kx_t}) du$$

$$W_t = \left[ -\frac{1}{r} e^{-ru} \right]_0^T - \alpha T e^{-kx_t} = \frac{\alpha}{r} (1 - (1 + rT) e^{-kx_t})$$

Sachant que :

$$\alpha e^{-kx_t} = \frac{P_t}{k}$$

$$kx_t = rT = -\log\left(\frac{P_t}{k\alpha}\right)$$

On a

$$W_t = \frac{\alpha}{r} - \frac{P_t}{kr} \left(1 - \log\left(\frac{P_t}{k\alpha}\right)\right)$$

Cette formule permet ainsi de calculer la variation de bien-être associée à une révision de  $P_t$  supposée refléter une réestimation à la baisse du budget carbone disponible à cette date, par rapport à ce qu'il était estimé antérieurement à ce même horizon

### Calage des paramètres suite aux rapports Quinet 1 et 2

- Trajectoire Quinet 1 :

La trajectoire optimale de réduction des émissions de gaz à effet de serre est définie par la première Commission Quinet par une baisse de 30% en 2030 par rapport à 1990 (546 Mt/CO<sub>2</sub>) soit un objectif de 382 Mt/CO<sub>2</sub>. Pour 2020, l'objectif était de réduire de 20% les émissions c'est-à-dire cibler 437Mt/CO<sub>2</sub>.

$$\Delta = 437 - 382 = 55$$

Soit une baisse de -5,5 Mt/an.

$$\frac{r}{k} = 5.5 * 10^6 \text{ t/an}$$

$$r = 0.045$$

$$k = \frac{0.045}{5.5} * 10^{-6} = 8.2 * 10^{-9}$$

$$p_{2019} = 66.5\text{€/t}$$

$$\text{Pour } x_{2019} = 442.5 * 10^6$$

$$kx_{2019} = 8.2 * 442.5 * 10^{-3} = 3.65$$

$$T = \frac{kx_t}{r} = 81$$

$$k\alpha = p_{2019}e^{kx_{2019}} = 66,5e^{3.65} = 2559$$

Quinet 2 réévalue le prix du carbone à 151€/tCO<sub>2</sub>, soit une dévalorisation du stock équivalente à :

$$\begin{aligned} -\Delta W &= W_{Q1} - Q_{Q2} = \frac{151}{kr} \left(1 - \log \frac{151}{k\alpha}\right) - \frac{66.5}{kr} \left(1 - \log \frac{66.5}{k\alpha}\right) = \frac{1}{kr} (578 - 309) \\ &= \frac{269}{8.2 * 0.045} * 10^9 = 729 \text{ Mds } \text{€} \end{aligned}$$

Calcul réévaluation Boiteux-Quinet I :

$$\begin{aligned} -\Delta W &= (W_B - Q_{Q1}) = \frac{43}{kr} \left(1 - \log \frac{43}{k\alpha}\right) - \frac{34.4}{kr} \left(1 - \log \frac{34.4}{k\alpha}\right) = 2.71 * (219 - 183) * 10^9 \\ &= 98 \text{ Mds } \text{€} \end{aligned}$$

## ANNEXE 2 : INDICATEUR D'INEGALITES

L'objectif est de corriger le niveau de consommation moyen  $\bar{C}$  par un indice d'inégalité  $I$ . Le revenu équivalent corrigé de l'inégalité correspond alors à  $\bar{C}(1 - I)$  avec  $U(\bar{C}(1 - I)) = E(U(C))$ .

$U$  est une fonction de forme CRRA (Constant Relative Risk Aversion) avec  $\delta = 2$  qui reflète une situation d'aversion au risque sous le voile de l'ignorance.  $C$ 'est le critère d'Atkinson.

$$U(C) = \frac{C^{1-\delta}}{1-\delta} \rightarrow -\frac{1}{C}$$

On divise la population en trois catégories : les 20% les plus pauvres ( $c_p = s\bar{C}$ ), les 60% intermédiaires ( $c_i$ ) et les 20% les plus riches ( $c_r$ ).

A partir des équations (12) et (13), on a

$$S20 = \frac{0,2 s\bar{C}}{\bar{C}}$$

$$\text{Et } 0,2c_r = (100 - S80)\bar{C} = k S20 \bar{C} = k0,2 s \bar{C}$$

$$\text{Et donc } c_r = ks\bar{C} = s'\bar{C}$$

$$\text{Et } 0,6c_i = \bar{C} - S20\bar{C} - (100 - S80)\bar{C} = \bar{C}(1 - 0,2s - 0,2ks)$$

$$-\frac{1}{\bar{C}(1 - I)} = -\frac{0,2}{s\bar{C}} - \frac{0,6^2}{\bar{C}(1 - 0,2s(1 + k))} - \frac{0,2}{ks\bar{C}}$$

$$\frac{1}{1 - I} = \frac{0,2}{s} + \frac{0,6^2}{1 - 0,2s(1 + k)} + \frac{0,2}{ks}$$

$$\frac{1}{1 - I} = \frac{0,2[1 - 0,2(1 + k)]s(1 + k) + 0,6^2 ks^2}{ks^2[1 - 0,2s(1 + k)]} = \frac{0,2(1 - 0,2s(1 + k)) + 0,6^2 \frac{ks}{1 + k}}{\frac{ks}{1 + k}(1 - 0,2s(1 + k))}$$

$$I = \frac{0,2[1 - 0,2(1 + k)] - \frac{ks}{1 + k}[0,64 - 0,2s(1 + k)]}{0,2[1 - 0,2s(1 + k)] + 0,6^2 \frac{ks}{1 + k}}$$