

ANALYSE DES LIMITES PHYSIQUES À LA CROISSANCE ÉCONOMIQUE

Par
Ovidiu Schiopu

Essai présenté au Centre universitaire de formation en environnement
et développement durable en vue de l'obtention du grade de maître en environnement

Sous la direction de M. Khalid Adnane

MAÎTRISE EN ENVIRONNEMENT
UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

Septembre 2017

SOMMAIRE

Mots clés : croissance, décroissance, entropie, limites biophysiques, ressources, changements climatiques, réalisme politique, pensée systémique, optimisme technologique

Loin d'un système autonome, l'économie est dépendante d'une multitude de systèmes biogéophysiques qui posent des limites à sa croissance. Ces limites sont des réalités inextricables comme l'entropie du processus économique de production matérielle, l'épuisement éventuel des ressources naturelles, le réchauffement climatique, et autres. Elles découlent des lois de la physique. L'essai montre comment la croissance économique enfreint les limites de soutenabilité imposées par le fonctionnement normal de l'écosystème terrestre.

Le modèle économique contemporain (néoclassique) est rejeté en analysant ses failles et ses lacunes fondamentales. Notamment, l'analyse rejette l'hypothèse de Kuznets, l'optimisme technologique et le concept d'économie verte et démontre pourquoi le processus de gestion pratiqué par les autorités politiques et économiques internationales pour contrôler le réchauffement climatique n'a pas atteint les résultats mandatés. La principale raison pour l'échec de la politique climatique internationale est la détermination presque axiomatique des États nationaux envers la croissance économique.

Un modèle post-croissance de développement durable est proposé et analysé—la décroissance soutenable. Ce modèle émergent répond convenablement aux problèmes posés par les limites physiques, mais comporte de difficultés de transition et un changement structurel de l'ordre socio-économique. Les propositions principales de la décroissance soutenable sont présentées et discutées, ainsi que son modèle de fonctionnement économique. L'essai aborde les défis d'application à grande échelle de la décroissance soutenable, spécifiquement le réalisme politique omniprésent dans les relations internationales, incluant dans le domaine des changements climatiques. La conclusion indique des pistes de recherche empirique en ce sens.

REMERCIEMENTS

Cet essai de maîtrise représente la pierre angulaire de mon parcours à l'Université de Sherbrooke. Merci à mes collègues et au personnel enseignant du Centre universitaire de formation en environnement et développement durable. Vous avez fait de mon cheminement à la maîtrise au campus de Longueuil une expérience académique et professionnelle plaisante et enrichissante. Nos débats furent constructifs, nos idées innovantes. Merci pour votre solidarité. Je remercie au directeur d'essai, M. Khalid Adnane pour avoir orienté mes arguments avec une grande lucidité. Je remercie aussi à M. Martin Comeau pour avoir suscité mon intérêt pour l'économie dans le cours Économie de l'environnement, et à Mme Carole Villeneuve pour avoir encouragé le débat au sujet de l'économie dans le cadre du cours Développement durable dans les organisations. Je tiens à signaler le support technique du personnel de la bibliothèque Roger-Maltais et du Carrefour de l'information. Merci à plusieurs de mes collègues pour avoir pris le temps de relire ce travail.

Il est convenable de remercier à tous ceux et celles qui provoquent la réflexion autour de l'économie sur les médias sociaux (Twitter, blogues, youtube et autres). Leur travail est volontaire. Ce sont des cadres d'enseignement, des étudiants, des journalistes et des simples citoyens. Ils et elles offrent des analyses, des opinions, et, le plus important, des solutions aux problèmes d'actualité. Ces sources ne font pas partie du référentiel de cet essai mais ont servi néanmoins comme motivation, tout comme une citation de Robert Unger qui revenait souvent dans la littérature : « Le plus important obstacle à transformer le monde est le manque de clarté et d'imagination pour concevoir qu'il peut être différent ».

TABLE DE MATIÈRES

INTRODUCTION	1
1. L'ÉCONOMIE ET LA LIMITE ENTROPIQUE.....	5
1.1 Qu'est-ce que l'entropie?	5
1.2 Le bilan énergétique—une question de qualité	6
1.3 Le bilan matériel—un problème insurmontable	7
1.4 La substituabilité masse-énergie	10
1.5 L'économie stationnaire d'Herman Daly	11
1.6 La pensée systémique.....	14
2. LES LIMITES FONCTIONNELLES DE L'ÉCOSYSTÈME TERRESTRE	16
2.1 Halte à la croissance.....	16
2.2 Simulations et conclusions du modèle World3	18
2.3 Révisions et réactions au rapport Meadows	19
2.4 La courbe environnementale de Kuznets en 2017	21
2.5 Les limites biophysiques	23
2.6 Opérationnaliser le concept de limite	25
2.7 Scepticisme versus optimisme technologique.....	26
2.8 L'économie verte n'est pas un changement de paradigme.....	28
2.9 Transposer les limites au niveau national.....	30
3. LA DIFFICILE ÉQUATION CARBONE-ÉCONOMIE-CLIMAT.....	32
3.1 Le système du réchauffement climatique	32
3.2 Les données du problème.....	34
3.3 Modélisation et prévisions du PNUE.....	36
3.4 Les autres voix de la science climatique	38
3.5 Probabilité et statistiques climatiques.....	41
3.6 Captage et stockage du dioxyde de carbone	42
3.7 Tarification du carbone	43

4.	LA SOLUTION PROPOSÉE PAR LA DÉCROISSANCE	45
4.1	Une idéologie axée sur l'humain.....	45
4.2	La décroissance comme processus de gestion	48
4.3	L'argument pour la décroissance soutenable	49
4.4	L'économie décroissante	51
4.5	Mesurer le progrès d'une nation	55
4.6	Le réalisme politique.....	58
4.7	Le problème du « <i>free-riding</i> » dans les relations internationales.....	59
4.8	Un défi de communication.....	60
	CONCLUSION.....	63
	RÉFÉRENCES	66

LISTE DE FIGURES ET TABLEAUX

Figure 1.1 Représentation graphique du bilan masse-énergie	9
Figure 1.2 La frontière de la possibilité de substitution	11
Figure 3.1 Vue systémique du réchauffement climatique	32
Figure 3.2 Répartition du budget d'émissions de CO ₂ conforme à 2°C	34
Figure 3.3 Évolution de la concentration de CO ₂ et CH ₄	35
Figure 3.4 Profil des scénarios d'émissions 2015-2050	37
Figure 4.1 L'évolution du revenu national aux États-Unis	50
Tableau 2.1 Simulations et trajectoires modélisées par World3	18
Tableau 2.2 Les neuf limites biophysiques (fonctionnelles)	23
Tableau 2.3 Tableau-synthèse des limites physiques et biophysiques.....	25
Tableau 2.4 Matrice de conséquences pour scepticisme versus optimisme.....	27
Tableau 2.5 Comparaison paradigme du progrès-croissance verte	28
Tableau 4.1 Attitudes sociales de la décroissance.....	46
Tableau 4.2 Propositions centrales de l'économie décroissante.....	52
Tableau 4.3 Paramètres d'une trajectoire décroissante pour le Canada	56

LISTE DES ACRONYMES, DES SYMBOLES ET DES SIGLES

AIE	Agence internationale de l'énergie
BAU	<i>Business-as-usual</i> (statu quo)
CCNUCC	Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques
COP1	1 ^{re} conférence des parties du CCNUCC, (tenue à Berlin en 1995)
COP21	21 ^e conférence des parties du CCNUCC, (tenue à Paris en 2015)
EKC, Π	Courbe environnementale de Kuznets (<i>Environmental Kuznets Curve</i>)
GES	Gaz à effet de serre
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (<i>Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC</i>)
kWh	Kilowattheure d'énergie
MDDELCC	Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NOAA	<i>National Oceanic & Atmospheric Administration</i>
OCDE	Organisation de coopération et de développement économiques
OMC	Organisation mondiale du commerce (<i>World Trade Organisation, WTO</i>)
PNUE	Programme des Nations Unies pour l'Environnement (<i>United Nations Environment Program, UNEP</i>)
REIE	Retour énergétique sur investissement d'énergie
US EPA	<i>United States Environmental Protection Agency</i>

LEXIQUE

Décroissance soutenable	Une réduction de la production et de la consommation, qui augmente la qualité de vie humaine et améliore les conditions écologiques et l'équité sur la planète. (Schneider, Kallis et Martinez-Alier, 2010).
Économie circulaire	Modèle émergeant qui optimise l'utilisation de ressources en adoptant une pensée réparatrice et régénératrice lors de la conception de produits et de services. (Ellen MacArthur Foundation, 2015).
Économie de fonctionnalité	Modèle émergeant dont le principe consiste à ne plus vendre un bien mais son usage. (Damesin, 2013).
Énergie (sej)	Énergie incorporée dans un bien ou un service. Le total d'énergie utilisée pour produire le bien ou le service. Aussi appelée mémoire de l'énergie. (Odum, 1996).
Empreinte écologique	Indicateur quantitatif qui estime la pression exercée par une population sur les ressources naturelles et les services écologiques, incluant pour l'alimentation, la production de biens, les exutoires, et autres. (Wackernagel, 2002; Rees, 2014).
Énergie (joules)	Capacité d'un système physique à modifier un état, à générer un travail (mouvement) ou de la chaleur (Sèdes et Guénoche, 1993).
Exergie (joules)	Mesure la partie utilisable, ou la qualité de l'énergie. L'exergie diminue de manière irréversible au cours d'une transformation énergétique (Sèdes et Guénoche, 1993).
Flux	La somme des éléments matériels ou immatériels qui sont transformés par un processus. L'énergie, la matière première, l'extrait de produits et sous-produits sont des flux. (Georgescu-Roegen, 1971).
<i>Free-riding</i>	Terme provenant de l'anglais, signifiant une opportunité ou avantage qu'une entité obtient sans le mériter. (Dictionnaire Cambridge).

Réalisme politique	Théorie des relations internationales affirmant que les seuls acteurs d'importance sur la scène mondiale sont les États et que ceux-ci sont uniquement guidés par la rationalité de la puissance (économique, politique, militaire) dans un système international fondamentalement anarchique. (Université de Sherbrooke, 2016).
Stock	Les agents matériels ou immatériels ayant une qualité transformative dans un processus. La quantité de main d'œuvre, le capital et la terre arable sont de stocks. Les stocks servent à l'accomplissement d'un processus. (Georgescu-Roegen, 1971). Dans une définition plus large du terme, un stock est une accumulation de flux. (Meadows, 2015).
Système	Ensemble d'éléments inter-reliés ou interdépendants, en interaction dans un tout organisé en fonction d'un but. (Ackoff et Addison, 2010)
Système Terre	L'intégration des processus et interactions biophysiques et socioéconomiques entre l'atmosphère, la hydrosphère, la cryosphère, la biosphère, et l'anthroposphère en dimension spatiale [...] et temporelle, qui détermine l'état environnemental de la planète» (Rockström et al., 2009).
Systémique	Discipline qui regroupe les démarches théoriques, pratiques et méthodologiques, relatives à l'étude de ce qui est reconnu comme trop complexe pour pouvoir être abordé de façon réductionniste, et qui pose des problèmes de frontières, de relations internes et externes, de structure, de lois ou de propriétés émergentes caractérisant le système comme tel, ou des problèmes de mode d'observation, de représentation, de modélisation ou de simulation d'une totalité complexe. (Donnadieu et Karsky, 2002)

INTRODUCTION

Le 15^e point de la Déclaration de Rio (Nations Unies, 1992) invitait les gestionnaires de l'environnement à l'action, selon le principe de précaution, et en fonction de l'évidence scientifique. Vingt ans plus tard, à la Conférence de Rio+20, ils déclaraient l'engagement à « l'intégration équilibrée des trois dimensions du développement durable, » au soutien d'une « approche pragmatique et axée sur les résultats [...]» et la promotion des « échanges entre scientifiques et décideurs dans le cadre d'évaluations scientifiques fondées sur les faits [...]» (Nations Unies, 2012). Ce même texte de 60 pages de la Déclaration de Rio+20, inclut l'expression « croissance économique » pas moins de 16 fois. Plusieurs chapitres mentionnent la croissance économique dans le but de la promouvoir et affirmer vivement sa nécessité. Avec surprise, le lecteur discernant note que l'existence de limites physiques ou biophysiques n'est point mentionnée.

La croissance désigne l'augmentation quantitative de biens matériels et de services échangés. Celle-ci se mesure par le produit intérieur brut (PIB), qui n'est rien d'autre que la somme de toutes les transactions monétaires associées au commerce de biens et services, incluant ceux qui ne contribuent pas à la hausse de la qualité de vie de la population respective. La croissance du flux de marchandises et services (par rapport à une période précédente) équivaut à l'augmentation du PIB.

La croissance est au cœur du système économique moderne. Ce système se caractérise par sa linéarité, selon le modèle *Extraction*→*Production*→*Consommation*→*Rejets* (Morris, 2016). Ce paradigme endure encore aujourd'hui. Malgré des efforts exercés vers l'économie circulaire, un rapport des experts de la Environmental Protection Agency affirmait récemment « Nous vivons présentement dans une économie hyperlinéaire. » (Stanislaus, 2016). La conception néoclassique (moderne) de l'économie place le processus économique dans un vide analytique où les intrants et les rejets ne sont pas pris en calcul. Les paramètres *Extraction* et *Rejets* sont considérés effectivement infinis. Ce modèle incomplet prend l'économie pour une entité autosuffisante qui produit des biens et des services dans une boucle fermée sur soi. Celle-ci assure l'emploi de la population, et donc la demande constante, pour arriver à produire toujours plus, selon la logique des dividendes et du maintien des régimes de pensions. Or, ce processus s'intègre très intimement à une réalité physique, biophysique, et écologique, qui pose des contraintes.

Savants de disciplines variées s'engagent de plus en plus dans le débat visant la non-soutenabilité du processus économique orienté vers la croissance. La communauté académique intensifie la recherche ainsi que le discours critique à l'égard de la croissance. Dans le contexte du réchauffement climatique et de la perte de plus en plus accélérée d'espèces et de ressources naturelles, économistes, écologistes et

d'autres intellectuels étudient la dynamique néfaste entre le processus économique et les limites du système planétaire. Ces limites sont communément appelées ici « limites physiques ». Cette appellation est empruntée pour bien distinguer des autres types de limites discutées dans la littérature spécialisée, comme les limites éthiques et sociales. Celles-ci ne sont pas discutées dans ce travail; néanmoins, des brèves références par rapport à ces aspects sont faites lorsqu'applicable.

Vu l'existence de limites physiques et des problèmes systémiques liées à la croissance, la décroissance économique semble inévitable. La prise de conscience du gestionnaire qui se préoccupe de la soutenabilité du modèle économique-social actuel consiste à réévaluer le paradigme croissantiste. La grande question est la suivante : est-ce que les fondements du modèle économique moderne sont soutenables? Selon les lois de la physique et selon la décroissance, la réponse est catégoriquement non.

L'idéologie de décroissance soutenable n'est pas nouvelle. Ses fondements se trouvent dans les théories révolutionnaires publiées dans les années soixante-dix par des intellectuels d'une grande intégrité, ayant eu le courage d'identifier explicitement les limites du dogme dominant néoclassique. Leur analyses sont demeurés jusqu'à ce jour périphériques et se positionnent à contre-courant de l'économie de croissance et ses multiples facettes, incluant l'économie de marché, la globalisation et le consumérisme. Basées sur des considérations différentes, chacune de ces théories démontrent la non-soutenabilité du paradigme actuel de croissance continue. Selon une définition pertinente qui cependant, ne provient pas de la littérature décroissantiste, l'idéal ultime d'une économie gérée en harmonie avec les limites qui la soutendent est de

«[...] rendre soutenable, durable, concevable à long terme, l'impact de l'économie humaine sur l'environnement terrestre, de manière à profiter d'une base minimale de survie. Nous devons respecter les limites que nous fixe l'environnement, ne pas vivre du capital naturel, mais nous contenter des intérêts, sous peine d'en souffrir un jour ou l'autre. Et ce jour risque d'être très prochain, si nous ne modifions pas rapidement nos façons de faire. » (Prades, Tessier et Vaillancourt, 1992).

L'étude des limites physiques et des solutions qui s'y associent s'insère dans le contexte plus large du développement durable. Dans ce contexte, des solutions comme l'économie circulaire, l'économie verte ou l'économie de fonctionnalité offrent chacune leur remède respectif. Parmi ces solutions, l'économie décroissante offre la cure la plus forte. Intentionnellement provocateur, le mot choisi pour décrire ce courant, *la décroissance*, dérange, pousse à la réflexion, au débat et à une prise de position. En effet, la décroissance contredit plusieurs prémisses du développement durable pour arriver à cristalliser un nouveau discours social, économique et politique, beaucoup plus résolu.

L'objectif secondaire est d'examiner les enjeux et les difficultés du modèle de durabilité proposé par l'école de pensée de la décroissance soutenable. Un problème bien défini est à moitié résolu. Ainsi, les premières trois chapitres exposent la problématique que la décroissance veut résoudre. Plus spécifiquement, le modèle de l'économie moderne est incompatible avec les limites physiques de l'écosystème terrestre. Les trois premiers chapitres analysent pourquoi d'autres modèles, paradigmes et méthodes de gestion testées depuis les années soixante ne sont pas efficaces à aborder le problème des limites physiques. Dans un style discursif, ces chapitres regroupent et analysent les principaux arguments et contre-arguments en ce sens. Le chapitre trois discute le problème des changements climatiques. Dans ce chapitre, le lien de causalité entre l'économie et le réchauffement climatique est étudié en détail, en lien avec les politiques climatiques contemporaines.

Une fois le problème défini, dans le quatrième chapitre, l'analyse se concentrera sur les préceptes de la décroissance soutenable. L'essai étudiera comment la décroissance propose d'atteindre l'économie soutenable et comment ce paradigme émergent peut dépasser son état actuel de courant marginal. Quelles sont les conditions nécessaires à une éventuelle acceptation généralisée, à grande échelle? Les défis ne manquent pas, spécialement à cause du fait que la décroissance prône un profond changement structurel et non seulement un réemballage du statu quo.

De plus, la discipline de la pensée systémique est souvent évoquée dans la littérature décroissanciste et s'intègre aux principes de celle-ci. La pensée systémique n'est pas un outil spécifique à la décroissance, mais bien un outil d'analyse universellement applicable. En effet, les règles de la pensée systémique ont été appliquées à travers la recherche et l'analyse effectuée dans le cadre de cet essai. La compréhension holistique de l'économie comme un système complexe ainsi que ses prémisses et ses limites est plus importante que jamais. Ainsi, les différentes parties de l'essai sont parsemés de références aux principes de la pensée systémique.

Pour examiner la problématique de fond de l'essai, la littérature scientifique qui discute les limites physiques a été examinée débutant par les auteurs qui ont été à l'origine de ce débat dans les années soixante-dix. Les auteurs visés ont été notamment Nicholas Georgescu-Roegen, l'économiste réformé de Harvard, ainsi que l'équipe dirigée par Dennis Meadows, à l'origine du rapport *Limits to Growth*. Cet ouvrage révolutionnaire a été publié suite aux travaux de modélisation effectués par cette équipe au Massachusetts Institute of Technology (MIT). La revue de littérature a suivi l'évolution du débat autour des limites, ainsi que les auteurs qui ont subséquemment contribué et enrichi ces courants de pensée.

L'essai puise dans la littérature pertinente à l'économie écologique et au métabolisme industriel. Le référentiel documentaire à la base de cet essai inclut également la littérature académique et institutionnelle récente autour de la problématique des changements climatiques. À ce sujet, seuls les articles parus après la conférence de Copenhague de 2009 ont été retenus pour assurer l'actualité de l'analyse.

La littérature décroissanciste est abondante et varie en qualité. Les auteurs les plus influents ont été considérés. L'accent a été mis sur la nouvelle génération d'économistes, philosophes et praticiens du mouvement et du sujet académique de la décroissance soutenable. La littérature décroissanciste purement normative n'a pas été incluse. Seulement les textes analytiques (théoriques ou pratiques) ont été retenus pour informer la discussion au sujet de la décroissance. Plusieurs communications avec des chercheurs et spécialistes de ce domaine académique ont aidé à mieux saisir le concept de décroissance soutenable.

De façon générale, l'intégrité des sources a été jugée en identifiant la robustesse des prémisses, le type d'argument (déductif ou inductif), ainsi que les preuves présentées. L'essai se base exclusivement sur de la littérature revue par les pairs, des livres de référence, et sur de la littérature statistique et analytique provenant des institutions internationales d'autorité, comme le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), l'Organisation de coopération et de développement économique (OCDE), le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE), British Petroleum, et autres. L'argumentation exclut la littérature grise. Le texte renvoie aux sources discutées et occasionnellement aux affiliations académiques ou professionnelles des auteurs pour justifier davantage leur crédibilité. La grande majorité des auteurs cités sont ou ont été actifs dans le domaine académique et détiennent le titre de professeur ou le grade de docteur. La validité des sources a été aussi jugée selon la réputation du périodique, tout en assurant que la littérature retenue est diversifiée et représentative.

Ce travail fait partie d'une réflexion structurée et se rajoute au débat d'actualité sur la pérennité du système économique contemporain. La modeste contribution de ce travail réside dans l'illustration objective et à jour de l'antithèse entre la réalité physique, les engagements politiques internationaux et les modèles et principes de gestion économique appliqués *de facto* sur le terrain.

1. L'ÉCONOMIE ET LA LIMITE ENTROPIQUE

Écologie, énergie et thermodynamique se croisent dans la théorie de l'économie entropique. Débutant par Georgescu-Roegen, un éventail d'économistes ont analysé la réalité purement physique qui caractérise les stocks et les flux influençant le processus de production économique. Ceux-ci ont remis en doute le paradigme de croissance. Sans couvrir le débat dans toute sa complexité, ce chapitre illustre pourquoi l'idéologie économique néoclassique a été réfutée par l'économie écologique. Les lois et les principes qui limitent l'utilisation de l'énergie et de la matière sont analysés. Des solutions de gestion sont proposées, notamment des règles de gestion de l'économie stationnaire, selon des indicateurs mesurant le flux de matière traversant l'économie. L'application des principes de la pensée systémique révèle les problèmes fondamentaux de l'économie de croissance.

1.1 Qu'est-ce que l'entropie?

Une définition de la thermodynamique est nécessaire avant d'illustrer le concept d'entropie. Cette science est la branche de la physique qui étudie les phénomènes impliquant l'énergie thermique et son usage à générer du travail mécanique ou de la chaleur. La thermodynamique touche toutes les autres sciences de la nature, car les phénomènes physiques ou chimiques impliquent toujours des échanges énergétiques (Sèdes et Guénoche, 1993). L'étude de cette science est d'autant plus importante car l'humain est la seule espèce qui dépend d'un apport intensif d'énergie pour sa survie. Le début de l'étude de la thermodynamique coïncide avec l'aube de l'ère industrielle et l'invention de la machine à vapeur et l'engin thermique. L'ingénieur Sadi Carnot et le physicien Rudolf Clausius sont crédités pour leurs contributions respectives à la compréhension de cette science abstraite. Les lois (ou principes) de la thermodynamique s'expriment par des théories. Nous acceptons ici la notion de théorie dans le sens académique, soit une explication défendue à partir de permises vérifiables et confirmée par la méthode scientifique, par déduction analytique et par évidence empirique.

La thermodynamique décrit qualitativement et quantitativement des concepts comme la conservation de l'énergie, l'efficacité d'un engin thermique, l'énergie totale d'un système, la chaleur emmagasinée dans la matière, le bilan d'entropie et le bilan d'exergie. Celle-ci explique la nature irréversible de tous les phénomènes physiques ou chimiques par l'entropie et par la théorie appelée la deuxième loi de la thermodynamique (Clausius, 1870). Cette théorie est anthropocentrique par excellence, car sa vocation est d'illustrer dans quelle mesure l'homme peut extraire de l'utilité à partir de l'énergie qui l'entoure.

L'entropie est la mesure de la quantité d'énergie non-disponible d'un système. En effet, un système, qu'il soit un système bâti, comme une tour à bureaux, ou un écosystème, comporte des flux d'énergie disponible (utile) et des flux d'énergie non-disponible (non-utilisable). L'exergie mesure la partie utile. L'exergie a la propriété d'exercer un travail (mouvement) si appliquée à un piston par exemple. La loi de l'entropie, exprimée par l'inégalité emblématique $\Delta S_i \geq 0$ affirme que la variation de l'entropie interne d'un système est égale ou supérieure à zéro suite à une conversion énergétique (la combustion, par exemple). Le cas de l'égalité n'est applicable qu'au moment où l'entropie du système en est à son maximum. Aussi longtemps qu'un système n'a pas atteint son entropie maximale, celle-ci ne peut donc qu'augmenter. L'exergie n'est pas recyclable. Une fois le travail effectué, il ne reste que de la chaleur qui se dissipe ultimement à l'air. Cette chaleur ne se perd pas, mais elle devient non-accessible pour exercer un autre travail. (Sèdes et Guénoche, 1993).

Qualitativement, l'énergie totale d'un système se détériore constamment en énergie non-accessible. L'entropie est cette propriété indésirable qui fait que toute l'énergie disponible se transforme plus tôt ou plus tard, de manière irréversible, en énergie irrécupérable. Il n'existe aucun moyen de re-concentrer l'énergie dissipée. Malgré l'universalité de la loi de l'entropie, Schrödinger (1944) fait la remarque que la vie biologique en soi n'y est pas assujettie. Elle semble évader à la dégradation entropique. Ceci est vrai, mais seulement au coût d'une consommation continue d'énergie (rayons de soleil pour la photosynthèse, nourriture, etc.) pour contrer l'effet de l'entropie. Le même principe s'applique à l'économie.

1.2 Le bilan énergétique—une question de qualité

Franc-tireur, Nicholas Georgescu-Roegen fut le premier économiste de réputation internationale à remarquer ouvertement le lien intime qui existe entre le processus économique et la deuxième loi de la thermodynamique. Dans *The Entropy Law and the Economic Process* publié en 1971 à Harvard, il expose les failles du système économique moderne. Toute activité économique implique un intrant énergétique. Extraire du minerai à l'aide d'une pelle mécanique, fondre du métal, labourer la terre, cuire du pain, naviguer, sont des processus qui impliquent une conversion thermique et donc une augmentation de l'entropie ainsi qu'une perte irréversible d'énergie utile. Quelle que soit la forme de l'énergie, le bilan entropique, est toujours positif. L'économie transforme à jamais l'intrant de basse entropie (pétrole, charbon) en chaleur dissipée à l'air. Il remarque que l'activité économique rend inutile l'énergie utile. L'accélération économique ne fait que puiser davantage dans le stock de basse entropie (Georgescu-Roegen, 1971). La basse entropie devient ainsi un concept associé avec une haute qualité de l'énergie.

Howard Odum et d'autres ont poussé l'analyse conceptuelle du bilan énergétique un pas plus loin. Il a remarqué que la production d'énergie requiert de plus en plus d'énergie. Consommer un joule d'énergie pour cuire du pain n'épuise pas seulement le joule en question mais aussi les joules qui ont été utilisés pour le produire et le transporter. Ainsi, le concept d'énergie a été développé pour décrire la quantité d'exergie requise directement ou indirectement pour produire une unité d'énergie par une succession de conversions énergétiques. Odum définit l'énergie de bonne qualité comme l'énergie avec le moindre bagage d'énergie. (Odum, 1996).

Naturellement, les plus riches gisements d'énergie (minerais et fossiles) ainsi que les meilleurs barrages (potentiel hydroélectrique) ont été mis en exploitation en premier. Les nouveaux barrages et d'autres exploitations doivent gérer avec des sources toujours moins productives sur le plan énergétique (Campbell, 1997, 2002). Ceci explique la baisse perpétuelle du retour énergétique sur investissement d'énergie (REIE) (Hall et Klitgaard, 2012; Hall, 2017). La baisse du REIE a été aussi confirmée par Höök, Hirsch et Aleklett, (2009) et plus récemment par l'Agence internationale de l'énergie (AIE, 2017). En effet, le bilan énergétique global se résume essentiellement à l'énergie fossile et nucléaire, car l'hydroélectricité et l'énergie solaire totalisent moins de 4% de l'approvisionnement en énergie (AIE, 2016). Bref, l'énergie se dégrade en haute entropie pour pousser le système économique. Pour ce faire, toujours plus d'énergie est nécessaire. Physiquement, l'énergie tend à s'écouler vers un état dispersé et inutilisable. Ainsi, il est difficile de voir comment la croissance économique peut continuer indéfiniment.

1.3 Le bilan matériel—un problème insurmontable

La deuxième loi de la thermodynamique ne s'applique qu'à l'énergie. Néanmoins, Georgescu-Roegen démontre que la matière s'intègre également au processus entropique. La production implique une transformation de matière dispersée en matière plus ordonnée. Par analogie, la matière dispersée est associée à une haute entropie et la matière concentrée (produit final) est associée à une basse entropie. La basse entropie du produit n'est atteinte qu'au coût d'une augmentation entropique suite à des échanges énergétiques dans le processus de production. Déchets et sous-produits en résultent. Les biens matériels deviennent avec le temps de la matière inutilisable et irrécupérable. (Aucun programme de recyclage n'est efficace à cent pour cent). L'accumulation de déchets est une expression de la loi de l'entropie appliquée à la matière. Au niveau macro, la friction, la rouille et la dilution (par exemple) font en sorte que des particules de matière se dissipent lentement mais irrévocablement dans l'environnement. Cette dégradation est analogique à la dispersion entropique de la chaleur.

Le produit de consommation est le résultat d'un travail (au sens physique) qui s'est soldé par une augmentation de l'entropie totale de l'écosphère dans le but d'extraire et concentrer la matière. La matière est une quantité fixe dans le système clos de l'écosphère. Premièrement, il est impossible de re-concentrer toutes les particules de fer dispersées par la rouille dans la mer. Il est également impensable de re-concentrer les atomes de cuivre qui se détachent de la monnaie en circulation par friction. Deuxièmement, toute tentative d'utiliser de l'énergie dans le but de re-concentrer des déchets dans des produits utiles résulte à nouveau en une augmentation de l'entropie totale de l'écosphère, ce qui nous plonge dans l'impasse de la section précédente. Toute action, par l'humain, ou par un organisme, ainsi que tout processus économique engendre un déficit non-négligeable d'exergie et de matière accessible pour le système entier. Georgescu-Roegen synthétise cette vue pessimiste dans un article où il défend sa position face à ses détracteurs :

« Ce flux continu de de basse entropie maintient le corps biologique en bon état et soutient aussi toutes les activités de l'organisme. Nous comprenons donc pourquoi une condition nécessaire pour qu'une chose ait une valeur pour nous est qu'elle ait une basse entropie. Clairement, la loi de l'entropie est la racine de la rareté économique dans un sens beaucoup plus fort que la simple finitude. En être témoin, la terre (selon la vision Ricardienne) est assujettie à une finitude, mais seulement à un moment donné; au cours du temps elle ne l'est pas, car on peut l'utiliser encore et encore sans diminuer sa quantité. Contrairement, étant donné que la basse entropie de l'énergie ou de la matière ne peut être utilisée qu'une fois, la rareté de ces éléments augmente constamment. Ceci est la plus importante leçon de thermodynamique pour l'économiste moderne. » (traduction libre de : Georgescu-Roegen, 1986, p.10).

Parmi les critiques de la vision de Georgescu-Roegen on compte des économistes néoclassiques comme Wilfrid Beckerman (1972) et William Baumol. Ce dernier propose une série d'équations de flux matériel pour décrire des conditions qui semblent suggérer que les ressources matérielles de l'écosystème terrestre pourraient être exploitées indéfiniment (Baumol, 1986). Ses conclusions, cependant, ont été réfutées par l'analyse de Romeiro et Sá Earp (2013). Ces derniers ont introduit dans les équations de Baumol un élément omis, spécifiquement, les services écosystémiques. Suite à cette correction importante ils arrivent à la conclusion contraire : le bilan masse-énergie du système économique ne permet pas une croissance économique perpétuelle. Ceux-ci illustrent graphiquement le bilan masse-énergie du processus économique (figure 1.1). Dans cette figure, les lignes pointillées représentent des flux d'énergie, tandis que les lignes cursives représentent des flux de masse. Cette simple représentation illustre aussi la nature linéaire de l'économie traditionnelle. La boucle de recyclage est beaucoup moins importante que le flux de production de biens matériels.

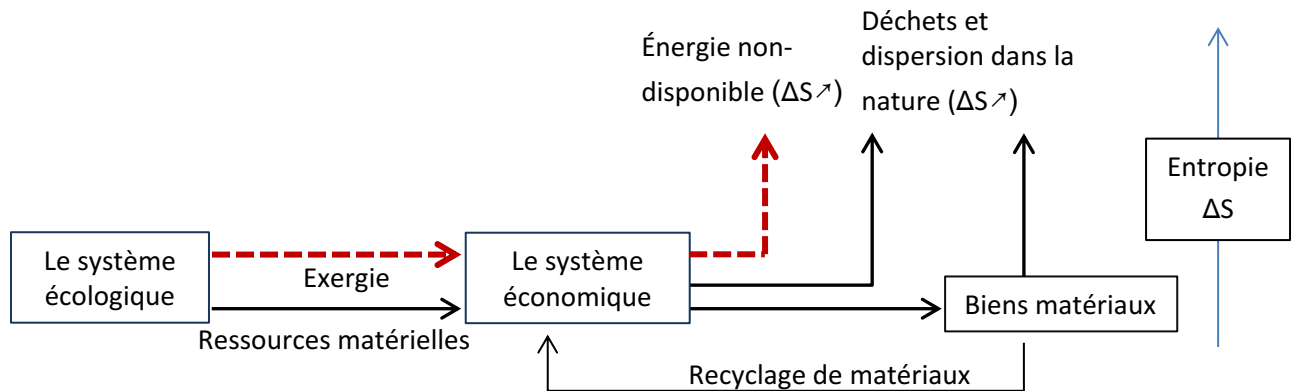


Figure 1.1 Représentation graphique du bilan masse-énergie (inspiré de : Romeiro et Sá Earp, 2013)

La contribution majeure de Georgescu-Roegen est l'observation des effets omniprésents de l'entropie. Ses critiques sévères à l'adresse de la croissance économique sont ainsi justifiées. Plus spécifiquement, il critique la prétention que l'efficacité énergétique et matérielle ainsi que le recyclage sont des objectifs adéquats pour l'atteinte de la soutenabilité. En effet, la gestion des ressources énergétiques et matérielles requiert plus que de l'efficacité. L'effet rebond fait en sorte que les gains en efficacité sont d'habitude accompagnés d'une augmentation de la consommation de l'élément dont l'efficacité a été améliorée. Ce phénomène a été étudié par Greening, Greene et Difiglio (2000), par Hertwich (2005), par Sorrell (2007), et par Ayres et Warr, (2009). L'efficacité énergétique de la Chine, le plus important consommateur d'énergie mondial, est inchangé depuis 2008 (Wang, 2017). Aux États-Unis, la Energy Information Administration (EIA) rapporte que l'efficacité énergétique des centrales thermiques se situe entre 44 et 45% depuis 1980, et tout gain d'efficacité dans d'autres parties du réseau énergétique est systématiquement annulé par une croissance absolue de la consommation (EIA, 2017).

Vu l'omniprésence des effets entropiques, Georgescu-Roegen (1986) suggère le déclin énergétique et matériel à perpétuité. La vision de Georgescu-Roegen a marqué la fin de la confiance inébranlée dans l'économie néoclassique (traditionnelle). La pensée de Georgescu-Roegen a été adoptée et raffinée par Herman Daly (1999), René Passet, Juan Martinez-Alier et d'autres. Khalil (2004) y apporte des nuances. Une collection d'articles de Georgescu-Roegen a été rééditée récemment par Bonaiuti (2011). Cet économiste, l'un des leaders de l'école de la pensée décroissante contemporaine, étudie dans *The Great Transition*, l'économie sous l'angle des profits marginaux (Bonaiuti, 2014).

Robert Ayres confirme par ses études la nature entropique de la matière. Le fondateur du concept de métabolisme industriel explicite l'irréversibilité du processus dissipatif. Il fait remarquer qu'une variété de processus industriels est de nature dissipative par excellence. Cette dissipation (à l'air, à l'eau ou dans le sol) ne peut pas être recyclée, ou, dans le meilleurs cas, ne peut pas être recyclée économiquement. Les peintures contiennent des pigments (zinc, plomb et titane). Les pneus d'automobile contiennent du zinc et du cadmium. Le cuir utilisé pour la fabrication de chaussures contient du chrome. Par érosion et friction, ces métaux se perdent à jamais dans l'environnement. Des composés chimiques comme les pesticides, les fertilisants, les fongicides, les herbicides et les algicides contiennent des métaux lourds (Cu, Pb, Zn, As, Hg, et autres). Ces métaux sont littéralement dispersés et perdus, soit métabolisés par des organismes, ou adsorbés au sol ou au fond des océans. Les acides, les réfrigérants, les détergents et le gypse contiennent des composés non-métalliques (extraits ou synthétisés) qui ne se récupèrent pas (Ayres, 1999; Ayres et Warr, 2009). L'entropie de la matière est particulièrement évidente dans la rareté des lanthanides utilisés dans les produits électroniques.

1.4 La substituabilité masse-énergie

Selon la vision biophysique, tout processus de production est un processus de travail mécanique qui utilise de l'énergie pour transformer de la matière en produits, sous-produits, déchets et services. L'énergie et la matière se retrouvent dans l'écosphère à des différents états thermodynamiques, et en continue dégradation qualitative. Pour Daly (2005), le facteur limitant l'économie est le flux matériel. L'énergie est moins contraignante, vu l'intrant continu d'énergie solaire. Le secteur minier épuise constamment des gisements de haute teneur minérale et déplace de plus en plus de roche pour une unité de minerai. À l'extrême, les minières sont forcées de s'orienter vers l'extraction à ciel ouvert, où jusqu'à douze tonnes de roche sont déplacées pour une tonne de minerai, à un coût énergétique croissant (Gelb, 1984). Il existe sûrement un point où l'extraction minière ne sera plus soutenable, au moment où la concentration du métal recherché ne sera plus assez élevée pour en justifier l'extraction.

Plus que la matière post-consommation est dissipée, dans l'environnement, plus la re-concentration devient énergivore. L'énergie disponible devient le facteur limitant le recyclage (Ayres et Miller, 1980). Les études empiriques de Cleveland et Ruth (1997) concluent qu'il existe une limite à la substituabilité énergie-matière, selon la fonction de production de la figure 1.2. Ils avancent que toute activité de production prend un minimum **M*** d'intrant matériel et un minimum d'énergie **E*** par unité d'extrait. Il est impossible de substituer ces intrants au-delà de la frontière asymptotique de la substituabilité.

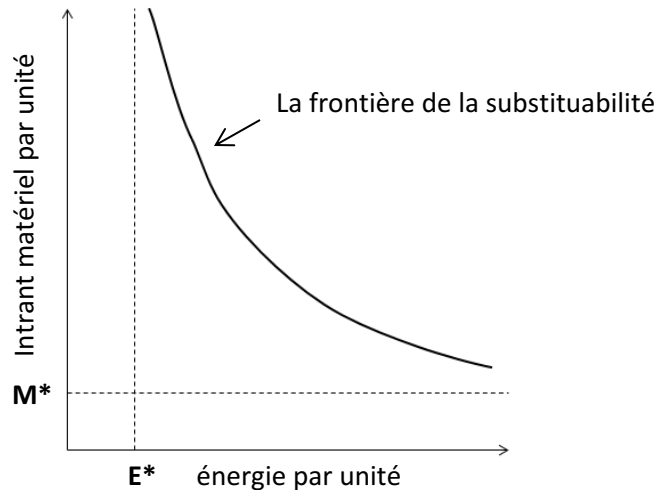


Figure 1.2 La frontière de la possibilité de substitution (tiré de : Cleveland et Ruth, 1997, p. 213)

1.5 L'économie stationnaire d'Herman Daly

L'économie stationnaire est un concept physique (Daly, 1991). Vu l'application du concept d'entropie à la matière et la rareté de la matière première renouvelable et non-renouvelable, il est évident que le flux matériel à travers le processus économique ne peut pas augmenter indéfiniment. La préoccupation de Daly est la gestion de ce flux. Comment une nation, ou une région géographique peut maintenir un flux matériel réduit pour une économie viable à long terme? L'économie envisagée par Daly n'est pas perpétuelle, mais bien une économie qui aura inévitablement une fin dans un futur lointain.

Herman Daly est l'un des fondateurs de l'écologie économique (l'étude de l'interdépendance entre l'économie et les écosystèmes). Il considère l'économie comme une science de la vie (Daly, 1968), et critique la *growthmania* (Daly, 1974), quoiqu'il soit plus modéré que Georgescu-Roegen. Daly prouve qu'il existe un point où la croissance économique devient non-rentable économiquement. Ce point est atteint au moment où l'utilité marginale de la production matérielle dépasse sa désutilité marginale. La désutilité est associée aux coûts de la pollution et des effets des changements climatiques (Daly, 2005). Une situation où la désutilité marginale dépasse l'utilité signifie une société qui s'appauvrit avec la croissance de l'économie. Il remarque que la masse totale de l'économie (des stocks comme les infrastructures, machineries, population, bétail) par rapport à la masse totale de l'écosystème est un ratio à contrôler pour la soutenabilité économique. La non-rentabilité survient lorsque la masse de l'écosystème n'est plus suffisante à absorber la masse de la pollution issue du processus économique. Pour éviter cette situation, Daly propose l'état stationnaire (*steady-state*), une économie où les stocks matériels ainsi que le flux matériel et le flux d'énergie sont suffisamment bas et constants (Daly, 1974).

Les trois règles de gestion de l'économie stationnaire sont : (1) limiter l'usage de toutes les ressources à des taux qui résultent ultimement à des niveaux de pollution qui peuvent être absorbés par l'écosphère; (2) exploiter les ressources renouvelables à des taux qui n'excèdent pas la capacité régénérative de l'écosystème; (3) extraire les ressources non-renouvelables à des taux qui n'excèdent pas l'implantation de substituts renouvelables. (Daly, 1990, 2005). Daly considère l'accumulation de biens matériels issus de l'économie. Cette accumulation de capital matériel est un stock. Dans l'économie stationnaire, cette richesse matérielle est fixée à un niveau acceptable par la société. Ni ce stock, ni les produits extrants de l'économie ne représentent pas des buts ultimes. Le bénéfice ultime de l'économie est de fournir des services. Ces services sont fournis au coût que représente le flux d'intrant matériel (mesurable). Ce flux est nécessaire pour remplir continuellement et maintenir un niveau de stock matériel revu à la baisse.

L'atteinte de l'économie stationnaire signifie l'amélioration de l'efficacité ultime (EU) définie formellement par Daly (2016) par le rapport entre la somme totale des services rendus par l'économie et le flux matériel total (la quantité de masse qui traverse l'économie), par l'équation :

$$EU = \frac{\text{Services}}{\text{Flux matériel}} = \frac{\text{Services}}{\text{Stock matériel}} \times \frac{\text{Stock matériel}}{\text{Flux matériel}}$$

Étant donné que le stock matériel est constant (établi par choix de société), le progrès vers l'état stationnaire et l'amélioration de l'EU signifie (1) extraire plus de services à partir du même stock (efficacité de services) ou (2) maintenir le stock matériel désiré avec un flux réduit (Daly, 2016). Pour Daly, il est primordial de stabiliser l'économie au point où le flux de matière à travers l'économie soit constant, avec le but ultime de préserver le capital naturel renouvelable, qui constitue en grande partie la source du flux matériel alimentant l'économie.

Daly propose plusieurs instruments. Il avance que la taxation sur la valeur ajoutée nuit à l'atteinte de l'état stationnaire et au but ultime de l'économie, qui est de fournir les plus possibles des services et une qualité de vie avec moins de ressources matérielles. Ce qui devrait être taxé est le flux matériel en soi, et non la valeur ajoutée à ce flux. L'effet de cette taxe serait de ralentir le flux. Les producteurs seront ainsi encouragés à y ajouter plus de valeur. Les ressources matérielles d'une nation devraient être assujetties à des régimes de plafonnement, par type de ressource (Daly, 2016). L'économie globale est loin d'une trajectoire menant à l'état stationnaire. De 1900 à 2010, le flux matériel est passé de 8 Gt/année à plus de 71 Gt/année (1Gt = 10⁹ tonnes) (Krausmann et al., 2009; Schaffartzik et al., 2014).

Le modèle économique contemporain fonctionne selon la conception du marché régularisant qui ferait en sorte qu'aussi longtemps qu'on assigne le prix juste à une ressource, le marché fera en sorte d'établir son flux correct. La proposition de l'économiste écologiste est de faire l'inverse : établir le flux de matière qui est écologiquement soutenable et laisser le marché déterminer le prix en conséquence (Daly, 2016). Une fois qu'on considère la dimension matérielle comme base d'agrégation, la question devient comment agréger le flux matériel? Daly n'est pas explicite sur ce point.

O'Neill (2015) identifie quatre méthodes d'agrégation. Étant donné qu'une politique économique est établie au niveau national, il propose des indicateurs de performance au niveau national. Les quatre options d'agrégation proposées sont : (1) extraction domestique et export constants; (2) intrants et extrants stables, indépendamment de leur provenance et leur destination; (3) consommation stable; et (4) débit matériel constant. O'Neill (2015) argumente en faveur de l'agrégation sur une base de consommation totale et recommande le suivi de l'utilisation de ressources renouvelables, versus ressources non-renouvelables. Ces indicateurs ont l'avantage d'être simples à calculer et sont relativement plus transparents que des indicateurs environnementaux.

L'idée d'économie stationnaire est étroitement liée à la dématérialisation et au métabolisme industriel. Une multitude d'études présentent des méthodes de calcul et des bilans. Van der Voet, van Oers et Nikoloc (2004) présentent le bilan matériel quantitatif du Pays-Bas. Eisenmenger et al. (2016) présentent six méthodes de calcul de la consommation de matière première (renouvelable et non-renouvelable) pour l'Autriche. Chen et Graedel (2012) analysent l'évolution du flux d'aluminium aux États-Unis. Xu et Zhang (2007) étudient le flux matériel de la Chine croissante.

De plus, l'équipe de Fischer-Kowalski étudie le flux matériel spécifique aux 172 économies nationales qui rapportent leurs données aux Nations Unies. Ils observent une bonne corrélation entre les données de différentes sources nationales et internationales (l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, le Département de statistiques de production industrielle des Nations Unies, l'United States Geological Survey, le British Geological Survey, l'Agence internationale de l'énergie, et la World Mining Data). Leur rapport conclut que la discipline de la comptabilisation des flux matériaux a atteint un haut niveau de maturité. Ils sont d'avis que la fiabilité des données et des résultats d'analyses de flux matériel est suffisante pour guider la prise de décision et l'établissement de politiques économiques de réduction du flux matériel (Fischer-Kowalski, 2012).

1.6 La pensée systémique

Dans cette section, les failles du système économique moderne sont identifiées sous la loupe de la pensée systémique. Pour des siècles, le raisonnement scientifique et philosophique a été orienté vers la compréhension des éléments individuels qui composent la réalité humaine. Les efforts intellectuels se concentraient sur la décomposition de la réalité en plus petits détails. Cette approche réductionniste est justifiée mais ne semble plus suffisante face aux défis contemporains. La pensée systémique est de plus en plus évoquée dans tous les domaines d'activité. Elle se rajoute à la pensée réductionniste sans la remplacer. La pensée systémique est orientée vers la compréhension des relations qui existent entre les différentes composantes d'un système complexe. La pensée systémique résout des problèmes de manière multidisciplinaire et transdisciplinaire et par définition a la tendance à briser les silos des spécialités professionnelles traditionnelles.

Selon Georgescu-Roegen (1986) l'économie moderne souffre du « complexe » d'autosuffisance. En effet, l'économie ne peut pas être autosuffisante. Celle-ci dépend d'un influx continu de basse entropie, un intrant qui n'est pas substituable. Il démontre qu'il est erroné de considérer l'économie comme la résultante du capital et de la main d'œuvre (le dogme de l'école de pensée néoclassique). Georgescu-Roegen critique cette idéologie économique conventionnelle qui ignore encore aujourd'hui dans ses modèles et hypothèses l'intrant de basse entropie (Daly, 2007; Bonaiuti, 2014). Une telle omission flagrante démontre l'isolement entre le concept d'économie et la réalité concrète et physique du milieu dans lequel l'économie opère. Voici la première erreur systémique.

Ensuite, on remarque qu'il n'existe aucun autre système physique qui puisse grossir constamment et indéfiniment. Daly (2016) pointe au simple fait que la croissance économique signifie un processus de grossissement exponentiel. Toute quantité qui croît à 3 % par année, par exemple, double à chaque 24 ans. À 5 % par année, elle double à chaque 14 ans. Un sous-système ne peut pas grossir plus que le système qui le contient. Étant donné que le système économique est un sous-système de l'écosphère, il est évident que l'économie ne peut pas grossir (croître physiquement, littéralement) de manière infinie. Daly rappelle qu'une des règles de base de l'économie traditionnelle est d'investir dans le facteur limitant. Le facteur limitant le processus économique est l'intrant matériel et énergétique. Malgré ceci, l'objectif déclaré de l'économie est de consommer de plus en plus de ressources (énergie et matière) pour grossir. Face à cette réalisation, il est clair que l'économie moderne ne respecte pas l'une de ses propres règles d'or (Daly, 2016). Ceci est la deuxième erreur systémique.

Des nombreux volumes ont été écrits sur l'application de la pensée systémique. L'un de plus récents, *Thinking in Systems* par Donella Meadows identifie les points de levier d'un système (Meadows, 2015). Agir au niveau de ces points de levier engendre le changement du système. Le premier point de levier d'un système est son habileté à transcender à un nouveau paradigme. Changer le paradigme à la base du système économique est le plus efficace point de levier. Le paradigme extractivisme-croissance persiste malgré les problématiques qu'il engendre car il est bien ancré dans l'imaginaire contemporain.

Le deuxième point de levier est l'objectif du système. Un système économique ayant le but de grossir va grossir à tout prix. Un système économique ayant le but de créer des emplois va créer des emplois à tout prix. En grande partie, le problème du système économique moderne est son but. L'effet pervers de l'industrialisation semble être que l'économie est devenue un but en soi, et non un but social. Ni grossir l'économie, ni créer des emplois à tout prix ne représentent des buts adéquats. La qualité de vie d'une population pourrait servir d'un bien meilleur indicateur et objectif. En effet, de par son étymologie, du grec *oikonomia*, l'économie signifie « prendre soin de la maison » mais cette interprétation s'est perdue vraisemblablement dans son évolution.

Le troisième point de levier constitue les règles internes du système. Une fois que le paradigme et l'objectif du système sont connus, pour comprendre le système il est primordial d'identifier qui et comment fait les règles. Les règles du système économique spécifient les interrelations, les stocks et le flux ainsi que les incitations et les punitions (Meadows, 2015). Pour les autres points de levier, le lecteur est référé à *Thinking in Systems* (Meadows, 2015).

Spécifiquement par rapport à la création d'emplois, Joseph Stiglitz rappelle qu'aux États-Unis, par exemple, la création d'emplois n'est pas un critère convenable pour juger la performance économique, aussi longtemps que le revenu réel médian stagne. Il remarque aussi que l'ordre socioéconomique évolue. Si le capital est défini comme travail + ressources, et ceux-ci sont interchangeables, « les règles du jeu affaiblissent le pouvoir de négociation des travailleurs vis-à-vis le capital » (Stiglitz, 2012). Dans ces conditions, il est difficile de voir comment l'expansion de l'économie et l'expansion du capital qui s'ensuit servent l'humain.

2. LES LIMITES FONCTIONNELLES DE L'ÉCOSYSTÈME TERRESTRE

Ce chapitre présente les limites écologiques à l'évolution économique. Plusieurs modèles et hypothèses qui servent à illustrer le fonctionnement dynamique du Système Terre sont évaluées et critiquées. Ces limites ont des conséquences beaucoup plus immédiates que celles présentées dans le chapitre 1.

2.1 Halte à la croissance

« Halte à la croissance? » est le titre de la traduction française de l'étude *Limits to Growth*. Ce titre finit par un signe d'interrogation, cherchant à provoquer une conversation autour du concept de croissance. Le but a été atteint. L'ouvrage dirigée par Dennis Meadows et son équipe de MIT est l'une de plus importantes références du mouvement environnementaliste. Cependant, le titre de cette sous-section omet le signe d'interrogation. Il ne s'agit plus d'une question rhétorique. En 2017, invoquer les freins à la croissance n'est plus qu'une provocation au dialogue, mais bien une nécessité concrète.

L'équipe de Meadows a réalisé la première modélisation mathématique par ordinateur du système complexe économie–population–agriculture–pollution–ressources. Tous ces éléments interagissent constamment. Les interrelations sont simplifiées et traduites par 150 équations quantitatives décrivant des flux, des stocks et des boucles de rétroaction physique, dans le modèle informatisé *World3*. Les auteurs ont explicité les cinq hypothèses majeures du modèle :

- 1) La population ne peut pas subsister sans un flux nourriture et services.
- 2) La production de nourriture croît par l'augmentation du capital et des terres cultivés.
- 3) Plus de capital requiert plus de ressources non-renouvelables.
- 4) La pollution provient du processus de production et de l'élimination de déchets.
- 5) La pollution a des effets négatifs sur la croissance de la population et de la production alimentaire. (Meadows, Meadows, Randers et Behrens III, 1972).

La dynamique du système est modélisée à partir des données quantitatives provenant du domaine public, relatives à la démographie, la pollution, le taux de consommation des ressources, la production agricole, la croissance économique et autres paramètres. Celles-ci sont hautement agrégées. Ainsi, le paramètre qui représente la pollution ne fait pas la distinction entre pluies acides, le rejet de métaux lourds, l'émission de CO₂ ou le rejet de déchets solides. Les ressources non-renouvelables sont agrégées par un stock qui confond ressources minérales (métaux, phosphore) et fossiles.

Une revue des principes de la modélisation systémique est nécessaire pour la compréhension du modèle World3. Ces principes sont illustrés par Meadows (2015). Le premier principe consiste à modéliser fidèlement les boucles de rétroaction du système. Une boucle de rétroaction positive est un flux qui amplifie un stock. Une boucle de rétroaction négative, au contraire, diminue le niveau du stock. Investir une fraction du profit dans du capital est une boucle positive. L'investissement augmente le stock (capital), ce qui amène plus de profit. Ce profit est de nouveau investi en capital. La dépréciation du capital est une boucle de rétroaction négative. Pour qu'un stock physique soit soutenable, la magnitude de la boucle de rétroaction positive doit égaler celle négative. La population mondiale est un stock. Le taux de natalité et le taux de mortalité sont des rétroactions qui agissent sur son niveau. Dans World3, la population est un stock homogène, sans égard à la distribution géographique, ou les valeurs culturelles.

Le concept de ressource est central à la modélisation. Le stock de réserves non-renouvelables influe sur la production de capital, qui, à son tour influe sur la production alimentaire. Le stock de réserves non-renouvelables est exprimé par la fraction restante du stock de 1900. La modélisation tiens compte du fait qu'avec le temps, de plus en plus de ressources seront dédiées à l'extraction de ressources non-renouvelables. Cette tendance a été d'ailleurs illustrée dans la section 1.2. La fraction du capital dédié à l'extraction augmente au détriment de la production alimentaire. L'algorithme calcule de manière itérative le niveau des stocks (population, capital économique, terre arable, pollution, ressources non-renouvelables) pour chaque année à partir de l'an 1900 jusqu'à 2100. La période 1900-1972 sert à étalonner le modèle contre des données historiques connues. Certains stocks sont exclus : l'eau douce, l'arsenal militaire, ainsi que tout concept d'argent ou de réserve financière.

De plus, les différentes parties d'un système interagissent avec un délai de réponse. À l'échelle planétaire ce délai peut s'étendre de quelques années à plusieurs décennies. Les longs délais de réponse sont particulièrement importants pour le modèle. Le temps qui s'écoule entre l'émission d'un polluant et la constatation des effets nocifs de ce polluant sur la santé publique est un délai de réponse. Le temps qui s'écoule entre l'arrêt des émissions de substances appauvrissant la couche d'ozone et le rétablissement de la couche d'ozone est un délai de réponse. Le plus important mérite du modèle est celui de pouvoir identifier des trajectoires futures où une ou plusieurs limites sont dépassées, sans pour autant que les effets de ces dépassements ne soient immédiatement évidents au moment du dépassement. *Overshoot* est la situation où une rétroaction positive n'est pas balancée. Le système dépasse alors ses limites. Un tel dépassement est certes dangereux, car une fois que ses effets se font sentir, il peut être tard pour réagir contre l'élan du système. (Meadows et al., 1972).

2.2 Simulations et conclusions du modèle World3

Dans un premier temps, le modèle simule la trajectoire du statu quo (sans intervention) du système économie–population–agriculture–pollution–écosystème, extrapolant l'état d'affaires usuel. Celle-ci résulte en un épuisement des ressources non-renouvelables et une augmentation de la pollution jusqu'au point où la production industrielle et agricole chute considérablement. Les résultats de cette simulation sont illustrés graphiquement sur un axe allant de 1900 à 2100. Cet axe du temps n'est pas divisé en sous-unités (intentionnellement) pour ne pas donner l'impression d'une prédiction exacte. Pourtant, en lisant le graphique, on peut estimer que l'effondrement survient autour de 2030. Cette conclusion choquante ne cesse de stimuler le débat. Il est à noter, cependant, que le but déclaré du modèle n'est aucunement de prédire avec précision, mais plutôt d'identifier des tendances possibles à long terme. Meadows et al. (1972) définissent l'effondrement comme une mortalité accrue et prolongée au XXI^e siècle, réduisant drastiquement la population. L'effondrement n'est pas une conséquence d'un épuisement absolu. La modélisation des ressources physiques présume une détérioration graduelle de la qualité des réserves, ce qui implique une baisse du REIE.

Dans un deuxième temps, World3 explore par des simulations des hypothèses et des options de gestion. Ces options incorporent des paramètres très optimistes quant à l'efficacité industrielle et agricole. Le tableau 2.1 ne résume que six parmi les douze simulations publiées par Meadows et al. (1972).

Tableau 2.1 Simulations et trajectoires modélisées par World3

Options technologiques	Politiques de stabilisation
<ul style="list-style-type: none"> • Réduction de 75% de la pollution. • Ressources énergétiques illimitées. • Rendement agricole double 	<ul style="list-style-type: none"> • Taux de natalité égal au taux de mortalité.
<ul style="list-style-type: none"> • Réduction de 75% de la pollution. • Ressources énergétiques illimitées. • Contraception parfaite. 	<ul style="list-style-type: none"> • Taux de natalité égal au taux de mortalité. • Capital industriel gelé au niveau de 1975.
<ul style="list-style-type: none"> • Réduction de 75% de la pollution. • Ressources énergétiques illimitées. • Rendement agricole double. • Contraception parfaite. 	<ul style="list-style-type: none"> • Taux de natalité égal au taux de mortalité. * • Capital industriel gelé au niveau de 1975. • Réduction de 75% de la consommation matérielle par unité de produit industriel. • Prolongation de la durée de vie des usines. • Activité économique orientée vers les services. • Réduction de 75% de la pollution.

Selon Meadows et al. (1972) les options technologiques sont intenable. Elles favorisent la croissance de la population et de l'expansion industrielle jusqu'à atteindre la limite des superficies cultivables. À partir de ce seuil dur, le quota alimentaire décline et la crise alimentaire débute, suivie de l'effondrement. À noter que même admettant l'hypothèse des ressources illimitées,¹ l'effondrement l'emporte, car du point de vue systémique, la croissance simultanée de la population et de la pollution entrent en compétition directe au moment où les exutoires de la pollution perdent leur capacité d'absorption et de neutralisation. Bien que le taux d'émissions par unité soit relativement bas, dans ces scénarios, l'ampleur de la production engendre un niveau de pollution absolue catastrophique.

Finalement, les politiques de stabilisation ne sont efficaces que si accompagnées par des améliorations technologiques. Toutes les trajectoires mènent à l'effondrement, sauf celle marquée d'un astérisque. Cette trajectoire soutenable requiert une conscientisation généralisée à l'égard des limites de l'univers physique. Les auteurs admettent que cette trajectoire représente un effort ardu, mais pas impossible.

2.3 Révisions et réactions au rapport Meadows

Depuis sa publication, le modèle est critiqué vigoureusement pour sa méthodologie et ses conclusions. Entre autres, Solow (1973) discrédite le modèle pour ne pas avoir inclus le concept d'argent. Solow, comme tous les économistes de l'école néoclassique, croit à la capacité du marché à régulariser par le levier du prix. Par contre, selon Meadows (2015) il serait peu utile de traduire les interrelations (échanges) du système par le biais du prix. Aussi longtemps que les biens communs et la variété d'externalités sous-jacentes à la croissance ne sont pas associés à des prix cohérents, il n'existera pas de marché efficace qui puisse résoudre le problème des externalités. Selon Meadows, il est plus important de se préoccuper de ce qui a une valeur, et non pas seulement de ce qui a un prix en argent.

D'autres économistes notables comme Peter Passel et Julian Simon –pour n'en mentionner que deux – évaluent et critiquent le modèle. Leurs critiques sont pourtant mal-fondées. Leurs articles démontrent une incompréhension du modèle, analysent des équations particulières du modèle hors contexte, ou font preuve de mauvaise foi. Par exemple, l'observation du fait que le modèle ne fonctionne pas à l'arrière (en direction contraire du temps) est justifiée. Malgré ceci, rouler l'algorithme à l'arrière n'est pas une condition nécessaire à ce qu'il fonctionne correctement vers l'avant. (Turner, 2014).

¹ Meadows et al. (1972) considèrent ce scénario probablement comme réponse aux économistes néoclassiques, particulièrement les optimistes technologiques qui avancent qu'avec l'amélioration technologique continue, il n'existe pratiquement pas de limite matérielle ou énergétique à la croissance économique.

Essentiellement, la conclusion inconfortable exprimée par *Halte à la croissance?* est qu'agir comme si de rien n'était ne constitue pas une option judicieuse, car les ressources de la Terre sont limitées. Plusieurs rééditions, et révisions, en 1987, 1992, et 2002 confirment que les variables d'intérêt évoluent selon le scénario du *business-as-usual*, (BAU) avec peu d'erreur par rapport au modèle de 1972. Des révisions ont été apportées au modèle pour l'étalonner davantage. Graham Turner (2012, 2014) montre qu'avec le recul, la réalité suit fidèlement la trajectoire du statu quo modélisée par Meadows et al. (1972). Le développement démographique, la production industrielle et les autres variables estimées par le modèle se comparent presque parfaitement à 40 ans de données historiques. Turner remarque également qu'aucun autre modèle similaire n'existe pour valider ou invalider les conclusions de World3. Un tel exercice de validation serait relativement simple, car le modèle est parfaitement transparent. Ses équations (l'algorithme) et ses hypothèses sont publiées et facilement compréhensibles. De plus, l'analyse de Turner (2014) conclut que du point de vue de la consommation énergétique, le système économique-écologique est présentement en dépassement.

D'ailleurs, un rapport commandité récemment par un comité du Parlement Britannique et livré par Jackson et Webster (2016), reconferme la pertinence du débat autour des limites physiques. Leur rapport fait des références claires aux concepts d'écologie économique et de décroissance et insiste sur la nécessité d'action préventive face aux limites physiques. En même temps, sur un ton métaphorique, les auteurs notent le potentiel de mettre en valeur la ressource illimitée qui est l'ingéniosité humaine.

Nørgård, Meyer, Heinberg et Bardi ont aussi publié leurs approbations respectives à l'adresse du modèle World3. Brian Hayes, scientifique et l'ex éditeur-en-chef de la revue *American Scientist* offre une critique positive et lucide. Au-delà de l'évaluation méthodique de l'algorithme, il soulève des questions importantes. Selon lui, les efforts relatifs aux changements climatiques ont éclipsé le débat sur l'épuisement des ressources non-renouvelables. Pourtant, l'épuisement des ressources non-renouvelables est un problème irréversible. D'ailleurs, il défend le principe même d'utiliser des modèles computerisés pour informer les décisions des leaders de l'économie et de la société. La complexité des interrelations du monde contemporain n'est pas calculable que par des ordinateurs. Quels autres outils sinon des modèles prédictifs pour informer les choix du futur? Et si les modèles ancrés dans le concret physique ne sont pas pris au sérieux, quelles sont les modèles et prémisses qui sont pris au sérieux par les décideurs? (Hayes, 2012). La pensée systémique est décidément orientée vers le long terme. Voici donc un conflit inhérent au domaine politique : la pensée systémique versus la pensée et les modèles à court terme.

2.4 La courbe environnementale de Kuznets en 2017

Tout comme le modèle Meadows (1972), la courbe environnementale de Kuznets (EKC) est un modèle économique servant à prévoir l'évolution d'un aspect d'activité économique. Selon ce modèle, le niveau de pollution augmente avec le début de l'industrialisation pour ensuite baisser au-delà d'un certain seuil d'industrialisation et de revenu. Cette relation pollution-revenu a la forme de \cap (une fonction quadratique). L'hypothèse de l'EKC s'appuie sur plusieurs explications. Avec la hausse du revenu (per capita) d'une population, celle-ci demande une qualité environnementale. Selden et Song (1994) présument que les facteurs suivants contribuent à l'amélioration de la qualité environnementale, dans un contexte de croissance économique : (1) changements dans la composition de la production; (2) conscientisation environnementale; (3) régulation environnementale plus stricte; et (4) amélioration de l'efficacité de la production et de l'abattement. Ce modèle avance qu'un pays « devient automatiquement plus propre avec la croissance économique » (Beckerman, 1992). La Banque Mondiale popularise ce modèle dans le *World Development Report* (1992). Des évidences empiriques sont présentées par Grossman et Krueger (1995), l'étude la plus citée au sujet de l'EKC. Pourtant, les évidences empiriques en faveur de l'EKC sont loin de faire l'unanimité.

La revue de littérature de Mills Busa (2013) présente les auteurs et études qui confirment ainsi que ceux qui contredisent l'existence de l'EKC. Harbaugh, Levinson et Wilson (2002) réexaminent les évidences empiriques sur l'évolution de la pollution de l'air aux États-Unis, incluant les évidences rapportées par Grossman et Krueger (1995). Ils testent la sensibilité statistique des conclusions de ces derniers et prennent en considération des facteurs additionnels, autre que le revenu per capita. Ils concluent que les évidences empiriques en faveur de l'EKC sont généralement beaucoup plus faibles qu'elles ne sont rapportées dans la littérature. L'analyse des données indique une faible corrélation à l'EKC pour le SO_2 et pour la fumée, et aucune corrélation pour d'autres polluants de l'air.

Une étude d'envergure sur sept polluants et 29 provinces de la Chine, de 1995 à 2010, conclut que l'émission de polluants et le revenu suivent plutôt une fonction linéaire (proportionnelle). Aucun des sept polluants ne semble suivre une courbe quadratique (Yang, He et Chen, 2015). Dans le cas le plus extrême, la province de Nèi Menggǔ affiche une croissance des émissions de CO_2 de 2×10^4 à 14×10^4 tonnes per capita, suite à une croissance économique moyenne de 12 pour cent entre 1995 et 2010. Ils attribuent ce comportement aux spécificités d'un pays en développement : (1) La désutilité marginale de la pollution ne croît pas avec le revenu per capita. (2) La technologie d'abattement de la pollution ne

devient pas nécessairement plus accessible avec le développement économique. (3) L'accès à l'information sur la pollution est restreint, ce qui empêche l'action environnementale cohérente. Le cas de la Chine est particulièrement important, car toute leçon pourrait servir de référence, dans le contexte où la majorité des pays du Sud veulent suivre un parcours de croissance rapide, selon l'exemple chinois. Par contre, la même étude fait une revue de littérature de 368 de publications au sujet de l'EKC en Chine et conclut que la littérature est loin du consensus.

Dans la même direction, He et Richard (2010) de l'Université de Sherbrooke étudient la relation entre le revenu moyen et les émissions de CO₂ au Canada sur une période de 57 ans. Ils ne trouvent que peu d'évidences en faveur de l'EKC. Ils constatent que le découplage croissance économique—émissions de dioxyde de carbone n'est qu'une utopie, au moins pour le court-terme.

Dans son étude empirique, Julianne Mills Busa (2013) montre elle aussi, que l'hypothèse de l'EKC est invalidée pour le cas de la conservation forestière (comme indicateur de qualité environnementale). Son analyse sur la production et la consommation de produits forestiers sur 35 pays remarque que la conservation se fait dans les pays riches au détriment des pays du Sud. Si la déforestation engendrée ailleurs est prise au calcul, même les pays qui conservent des grandes étendues de forêts localement, contribuent globalement à une déforestation proportionnelle à leur croissance. De plus, Czech (2008) ainsi que Dietz et Adger (2003) soulignent les conflits fondamentaux qui existent entre la croissance économique et la conservation biologique. Ceux-ci argumentent qu'une EKC de la biodiversité est impossible. La fonction de la perte de biodiversité versus le revenu per capita ne peut pas suivre une courbe en \cap . Ils considèrent la courbe environnementale de Kuznets un artefact dépassé.

Plus récemment, Stern (2017) réfute l'existence de l'EKC et propose des modèles alternatifs. Il rappelle que les modèles conventionnels qui étudient la relation pollution-revenu se basent sur des calculs du revenu moyen per capita. Ceci est évidemment inadéquat. Dans un monde où l'inégalité s'accroît, (Stiglitz, 2012) le revenu médian est un critère plus adéquat. Comme le revenu médian global n'évolue pas à une vitesse significative, la courbe environnementale de Kuznets est inexistante à l'échelle globale. Le danger est que la littérature pro-EKC encourage la dérégulation environnementale avec l'espoir d'atteindre un niveau économique supérieur qui va réparer l'environnement. Le revenu médian global ne sera peut-être jamais assez haut pour voir les effets (hypothétiques) de l'EKC. Pour couronner le tour, L'Organisation mondiale du commerce a rejeté l'hypothèse de l'EKC en 2009. L'EKC ne sert donc plus à justifier la croissance économique.

2.5 Les limites biophysiques

Le célèbre rapport de Rockström et al. (2009), lance le concept de limite biophysique vis-à-vis au développement humain. Le rapport est repris et explicité par Anctil et Diaz (2016). Ces limites ont une incidence directe sur l'équilibre dynamique et fonctionnel du Système Terre. Le tableau 2.2 reproduit les neuf limites biophysiques identifiées par l'équipe de chercheurs. Suite à des études empiriques, les auteurs proposent des valeurs pour sept de ces 9 limites biophysiques. Les valeurs traduisent des limites maximales de tolérance à l'immixtion anthropogénique dans les processus et cycles biologiques et écologiques essentiels au développement humain.

Tableau 2.2 Les neuf limites biophysiques (fonctionnelles) (adapté de Rockström et al., 2009)

Processus du Système Terre	Paramètre écologique et unités de mesure	Limite proposée	Valeur actuelle	Avant 1850
Réchauffement climatique	(i) Concentration atmosphérique en CO ₂ (ppm), limite du carbone	350	410 (Juin 2017)	280
	(ii) Forçage radiatif (watts/m ²)	1	1.5	0
Perte de la biodiversité	Taux d'extinction (nombre d'espèces par million d'espèces par an)	10	>100	0,1-1
Cycles azote-phosphore	Quantité d'azote extrait de l'atmosphère (mégatonnes par an)	35	121	0
	Quantité de phosphore s'écoulant dans les océans (mégatonnes par an)	11	8,5-9,5	~1
Appauvrissement de la couche d'ozone	Concentration d'ozone (unité Dobson)	276	283	290
Acidification des océans	État de saturation de l'aragonite en eau de mer (une conséquence de la concentration atmosphérique en CO ₂)	2,75	2,90	3,44
Capacité d'auto-épuration de l'eau	Consommation humaine d'eau douce (km ³ /an)	4000	2600	415
Expansion des terres agricoles	Pourcentage global de terrains convertis en terre arable	15	11,7	bas
Pollution par aérosols	Concentration de particules fines dans la troposphère	inconnues		
Pollution par composés chimiques	Composés organiques persistants, plastiques, perturbateurs endocriniens, métaux lourds, pollution nucléaire.	inconnues		

Selon l'affirmation désormais omniprésente de ce rapport, le respect de ces limites (planétaires) saura assurer un « espace sécuritaire de manœuvre pour l'humanité » (Rockström et al., 2009). La vue systémique adoptée par les auteurs rappelle la complexité et l'interdépendance des systèmes terrestres. Aucun processus écologique ne peut être traité en isolation des autres. Tout au long du rapport, l'équipe dirigée par Rockström utilise le terme Système Terre pour référer à

« l'intégration des processus et interactions (cycles) biophysiques et socioéconomiques entre l'atmosphère, la hydrosphère, la cryosphère, la biosphère, et l'anthroposphère (l'activité humaine) en dimension spatiale [...] et temporelle, qui détermine l'état environnemental de la planète [...] ». (Rockström et al., 2009).

Tous les processus énumérés au tableau 2.2 sont des phénomènes spontanés dont l'humain ne peut contrôler que les causes. De plus, ceux-ci suivent des dynamiques non-linéaires. Le réchauffement climatique et l'appauvrissement de la couche d'ozone sont à la base des questions de physique moléculaire. Le cycle azote-phosphore et le cycle de l'eau sont des réactions physico-chimiques.

En ce qui concerne l'acidification des océans, celle-ci est directement liée au processus de calcification ainsi qu'au niveau de saturation de l'aragonite. En effet, l'aragonite est le principal ingrédient de la coquille dure d'une variété d'espèces marines. Celle-ci est produite naturellement par calcification par ces espèces. La calcification est inhibée par la présence de l'excès de CO₂ anthropogénique dans l'eau. Ceci est dû à une simple réaction chimique : $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_3^{2-} \leftrightarrow 2\text{HCO}_3^-$. Par cette réaction, le dioxyde de carbone consomme l'ion de carbonate essentiel à la calcification pour générer de l'acide carbonique plutôt que du carbonate de calcium à l'état solide. Plus de CO₂ signifie plus d'ions de carbonate détournés du processus de calcification pour générer proportionnellement toujours plus d'acide carbonique. Une autre manière de comprendre l'interaction aragonite-dioxyde de carbone est que la présence de dioxyde de carbone dissout la coquille d'aragonite des espèces marines. Bref, le niveau de saturation de l'aragonite et le processus de calcification sont intimement liés à l'acidification des océans par une réaction spontanée. Celle-ci n'est soumise qu'aux lois de la nature, exprimées de manière stœchiométrique par la chimie inorganique (Anctil et Diaz, 2016). La stœchiométrie permet de calculer la concentration maximale de CO₂ tolérable dans les océans avant d'engendrer des effets néfastes.

Les trois premiers processus identifiés au tableau 2.2 dépassent les limites de stabilité. Ces processus érodent la résilience du Système Terre et mettent en péril son équilibre dynamique précaire. Les auteurs citent l'écologie économique et son agenda de recherche comme la solution principale pour la sortie de la crise environnementale. Sans mentionner la décroissance explicitement, les auteurs concluent que les

neuf limites représentent des contraintes à la croissance économique. En continuité à l'analyse de 2009 par Rockström et ses collègues, Steffen et al. (2015) renforce et met à jour les fondements scientifiques à la base du concept de limite biophysique (planétaire). Une limite de plus s'ajoute aux neuf limites déjà identifiées en 2009 : la pollution par des nouvelles substances synthétiques (nanomatériaux et autres).

2.6 Opérationnaliser le concept de limite

Les multiples limites que les lois de la nature imposent sur l'activité économique sont récapitulées dans le tableau 2.3. À cause de son importance, la limite du carbone, une limite biophysique, est classée séparément, et le chapitre 3 est dédié en entier à son analyse. À noter que même si l'accumulation de carbone atmosphérique en soi est réversible, plusieurs de ses conséquences ne le sont pas.

Tableau 2.3 Tableau-synthèse des limites physiques et biophysiques

Limite	Processus ou impact	Impact du processus
Limites physiques (Georgescu-Roegen, 1971)	Entropie de l'énergie	irréversible
	Entropie de la matière	irréversible
Ressources matérielles (Meadows et al., 1972)	Épuisement des ressources (physiques)	irréversible
Limites biophysiques (Rockström et al., 2009; Steffen et al., 2015)	Perte de la biodiversité	irréversible
	Cycle de l'azote	réversible
	Cycle du phosphore	réversible
	Appauvrissement de la couche d'ozone	réversible
	Capacité d'auto-épuration de l'eau	réversible
	Superficie des terres agricoles	réversible
	Pollution par aérosols	réversible
	Pollution par composés chimiques	réversible
Limite du carbone (Rockström et al., 2009; Steffen et al., 2015; GIEC, 2014)	Pollution par nanomatériaux	inconnu
	Réchauffement climatique	réversible
	Acidification des océans	réversible
	Perte de la cryosphère	irréversible
	Hausse du niveau des océans	irréversible

Plusieurs questions dominent le débat autour de ces limites. Quelle est la vitesse de dégradation de ces processus vitaux? Quel est le niveau de connaissance spécifique à chaque limite? Avec quelle précision connaît-on la limite? Quelle est la solution de gestion soutenable la moins coûteuse? Quel est le risque?

2.7 Scepticisme versus optimisme technologique

Face aux nombreuses limites présentées, la discipline de l'économie écologique tâche de structurer un débat objectif et d'apporter des solutions, notamment en ce qui concerne les changements climatiques. L'économie écologique part de l'hypothèse qu'au-delà de toute préconception, l'environnement est un portefeuille dont toute l'humanité dépend. Ainsi, celui-ci se doit d'être géré avec agilité. Tout comme dans la gestion d'un portefeuille financier, l'incertitude et la diversité d'opinions jouent ici un rôle très important. Plus spécifiquement, l'incertitude liée à la complexité du phénomène climatique est souvent une source de désaccord et confrontation. Face à l'incertitude entourant les limites de l'écosphère, les décideurs adoptent des positions variées. Les solutions et politiques proposées par les différentes parties prenantes sont forcément teintées par leur attitude face à l'avancement technologique.

Aucun dilemme n'est plus polarisant actuellement que l'attitude (académique, politique et sociale) par rapport à l'avancement technologique. D'un part, les optimistes estiment que la croissance économique est compatible avec la protection de l'environnement. Selon ceux-ci, l'humanité possède la capacité de gérer avec tout problème du présent et du futur grâce à l'innovation technologique, donc la croissance économique et démographique peut continuer indéfiniment. Ils basent leur argument sur l'efficacité énergétique, sur l'avancement et la découverte de nouvelles sources d'énergie, sur la technologie de l'information et sur l'ingénierie génétique. De plus, ils sont d'avis que des solutions technologiques pourront toujours se substituer à la perte de services environnementaux. Selon ceux-ci, le fait que des solutions ont fonctionné dans le passé est la preuve qu'elles vont toujours fonctionner à l'avenir. Présentement, l'optimisme technologique se reflète dans la confiance accordée à la technologie de stockage de CO₂ (section 3.6). Pourtant, il existe un risque inhérent à la décision de baser des politiques climatiques sur une technologie émergente comme si c'était un fait accompli. D'autres sont sceptiques.

Les sceptiques technologiques font valoir le fait que la croissance économique n'est pas soutenable dans le contexte actuel d'expansion démographique et dégradation environnementale. Ils reconnaissent le rôle de la technologie mais lui consacrent une importance relative beaucoup moins grande. Selon eux, le changement économique et social est un impératif. Les sceptiques technologiques penchent plutôt vers la précaution dans la gestion du portefeuille environnemental. Costanza et al. (2000) conscientisent de manière très éloquente les enjeux majeurs associés au débat sur l'avancement technologique par la matrice de risques reproduite au tableau 2.4. L'opérationnalisation du concept de limite se fait consciemment ou inconsciemment par le biais de cette matrice.

Tableau 2.4 Matrice de conséquences pour scepticisme versus optimisme (tiré de Costanza et al.,2000)

Choix de politique à implanter	Qui a raison en définitive? (L'état ultime du Système Terre)	
	Les optimistes ont raison	Les sceptiques ont raison
Politique de l'optimiste technologique	retour sur investissement : haut	désastre
Politique du sceptique technologique	retour sur investissement : modéré	retour sur investissement : très bon

Cette analyse de risque (qualitative) n'a jamais été plus pertinente. Dans cette matrice, chaque choix de politique est évalué selon ses conséquences possibles. La seule règle du « jeu » est que celui-ci ne peut se jouer qu'une fois. Ainsi, dans le cas de l'application de la politique optimiste, s'il s'avère que les sceptiques ont raison, les conséquences sont désastreuses. Parmi toutes les permutations possibles, c'est la seule conséquence irréversible. De plus, dans ce cas, il existe le risque qu'une fois qu'on saura qui a effectivement raison ce soit trop tard pour réagir. Dans ces conditions, l'écologie économique propose des politiques prudentes pour maximiser les chances d'éviter le pire scénario au moindre coût possible. La politique de l'optimiste technologique est attrayante car celle-ci a fonctionné dans le passé (investissement minime accompagné des résultats très positifs). Mais en même temps, les problèmes environnementaux deviennent de plus en plus complexes, sur le point de devenir irrésolubles. Selon l'écologie économique, la croyance que la technologie saura résoudre les problèmes environnementaux dans un futur proche ou lointain est devenue un mécanisme de déléguer les problèmes du présent aux générations futures. Cet optimisme va main-en-main avec la croissance et le consumérisme.

Bien évidemment, les acteurs impliqués choisissent leurs attitudes en fonction de leur compréhension du problème et du risque potentiel, de l'information disponible, de leurs dissonances cognitives et de leurs moyens matériels d'agir sur le problème. En 2017, l'optimisme technologique demeure résolument le paradigme dominant. Le développement durable promettait un changement de paradigme par le lancement du concept d'économie verte (ou encore de croissance verte). Comme la section suivante le démontre, l'économie verte n'a finalement pas réussi à changer le paradigme dominant contemporain.

2.8 L'économie verte n'est pas un changement de paradigme

Nombreux sont les auteurs ayant analysé l'économie verte (ou croissance verte). Une des meilleures analyses récentes se retrouve dans la thèse de doctorat de Yoonhee Ha (2016) publiée à l'Université de Delaware et intitulée *Green Growth : paradigm shift or business-as-usual?* Dans ce travail, Ha évalue le concept d'économie verte à travers le prisme du changement de paradigme. Son analyse suit l'évolution du concept d'économie verte selon les étapes du processus de changement de paradigme définies par Thomas Kuhn (1996) dans son magnum opus *The Structure of Scientific Revolutions*.

Ha (2016) explique les trois causes qui auraient pu mener à un changement de paradigme : les crises économiques, la détérioration environnementale et l'inégalité croissante. L'économie verte est une partie intégrante du discours officiel des Nations Unies, de l'OCDE, de la Banque Mondiale et autres. Celle-ci fait partie du discours plus large du développement durable. Selon Kuhn, un changement de paradigme signifie le renversement du cadre précédent par la création d'une nouvelle structure gouvernante remodelée selon le paradigme émergent. Dans le cas de l'économie, ceci implique une claire redéfinition des gagnants et des perdants du nouveau système économique (Kuhn, 1996). De plus, un nouveau paradigme économique expliquerait tous les autres nouveaux aspects de la vie économique.

Comme illustré par la comparaison du tableau 2.5, l'économie verte n'a pas renversé le paradigme du progrès. Tous les symptômes du paradigme du progrès endurent. L'économie verte n'est finalement que l'effort de réduire les externalités environnementales le plus possible pour pouvoir continuer selon le paradigme existant. L'économie verte est la perpétuation par d'autres moyens du même paradigme du progrès et consumérisme.

Tableau 2.5 Comparaison paradigme du progrès-croissance verte (tiré de Ha, 2016)

Le paradigme du progrès	La croissance verte
Croissance matérielle équivaut à progrès.	L'idéologie de croissance persiste.
Grande confiance accordée à la technologie.	L'optimisme technologique persiste.
Confiance dans l'efficacité de la coalition entre l'État et le marché.	Les grandes corporations sont les principaux coordonnateurs et bénéficiaires.
Maîtrise de l'humain sur la nature.	Marchandisation, artificialisation et gouvernementalisation de la nature.
Adoption de la gouvernance par experts et bureaucrates.	Les élites professionnelles monopolisent la gouvernance de l'économie verte.

À titre d'exemple, le rapport PNUE *Towards a Green Economy* a le mérite d'identifier les tensions qui existent entre le paradigme prévalent de croissance matérielle et l'atteinte de plusieurs objectifs de développement durable. Toutefois, ce rapport ne remet pas en question de manière fondamentale la raison d'être de la croissance. (PNUE, 2011a). Celui-ci suggère que la croissance économique peut également provenir d'une réorientation vers l'économie verte. Ce type de discours semble ambivalent et force un compromis impossible. Comme d'autres textes provenant de la littérature institutionnelle internationale, il néglige de fournir des réponses à des questions valides et fondamentales à propos de la raison d'être de la croissance économique : pour qui? Et jusqu'où? Si les réponses n'offrent pas des solutions équitables, elles ne sont pas soutenables.

Dans le même ordre d'idées, Ferguson (2015), remarque que dans son interprétation actuelle le discours perpétué par l'économie verte n'a pas la capacité de guider la transformation vers une autre économie, une économie « post-croissance ». Il fait la distinction entre différentes interprétations de l'économie verte allant d'une application superficielle jusqu'à l'économie verte profonde. Selon Ferguson, malgré sa position actuelle de BAU, l'économie verte constitue le meilleur point de départ pour réarticuler un nouveau discours, favorable à un changement de paradigme dans la direction de la post-croissance. Il expose conceptuellement les avantages de l'économie verte comme tremplin à une réelle révolution industrielle. L'économie verte reconnaît déjà l'existence de limites physiques à la croissance. Celle-ci est aussi en faveur d'une redéfinition des indicateurs de prospérité et de l'abandon du PIB comme indicateur du bien-être d'une nation. Plus important, le concept d'économie verte bénéficie déjà d'une acceptabilité généralisée et n'entre pas en collision frontale avec le paradigme de croissance.

Jusqu'à présent, l'intérêt académique envers d'autres interprétations plus profondes de l'économie verte manque de support politique. Mais la clé du succès, selon Ferguson (2015), est une réarticulation « insidieuse et subtile » du concept d'économie verte pour contourner la difficulté politique et le conflit déclaré croissance-contre-décroissance. La réarticulation dont Ferguson parle constitue un changement de cap qui nécessite du leadership. Celle-ci implique l'intégration graduelle de nouvelles idées comme l'économie stationnaire, la sécurité économique plutôt que la croissance économique, la croissance sélective, l'a-croissance et enfin la décroissance. Le premier pas, selon Ferguson serait l'acceptation d'une attitude agnostique par rapport à la croissance économique (l'a-croissance). La probabilité de succès d'une telle stratégie reste douteuse. Il est peu probable qu'on puisse changer le système économique de manière « insidieuse » comme il suggère, mais une chose est claire : l'économie verte dans son interprétation actuelle n'est pas mieux équipée pour le faire.

2.9 Transposer les limites au niveau national

Les limites présentées au tableau 2.2 représentent des estimations globales. Par contre, les décisions pour assurer le respect de ces limites ne s'exécutent pas dans un contexte global. L'opérationnalisation du concept de limite se fait concrètement au niveau national et sous-national à l'intérieur de frontières administratives des États. De là, le besoin de traduire les limites globales dans des cibles nationales. Les difficultés dans la distribution d'allocations nationales de responsabilité sont multiples. L'hétérogénéité des États et régions géographiques fait en sorte que les responsabilités doivent être négociés et pondérées en fonction de facteurs d'équité. Par rapport au problème des émissions de CO₂ et la distribution des cibles de réduction, Purdon (2014) propose la distinction entre trois catégories d'États : « les plus responsables, les plus capables et les plus vulnérables ». De plus, l'interaction entre les limites biophysiques et leur cycle dynamique de rétroaction sont non-linéaires. Une simple approche analytique linéaire de haut en bas est improbable.

Tous les États n'ont pas la même empreinte ou historique environnemental, ou capacité de payer pour l'atténuation ou l'adaptation à des problèmes environnementaux. De plus, les États ne possèdent pas les mêmes ressources naturelles (eau, forêts, terre arable, etc.) et ne sont pas affectés dans la même mesure par tous les problèmes environnementaux. Ainsi, Häyhä et al. (2016) présentent dans leur étude et revue de littérature des approches pour transposer les limites biophysiques quantitativement au niveau national. Leurs approches de distribution se basent sur le principe d'équité et opèrent en fonction de l'empreinte de chaque État. Selon ces approches, le calcul de l'empreinte carbonique, de l'empreinte chimique, de l'empreinte azote, de l'empreinte biodiversité, etc., (selon des méthodes bien définies dans la littérature) devient un incontournable.

Pour ce qui est de l'empreinte CO₂, idéalement cette empreinte serait calculée sur une base de consommation nationale. Lors de la signature du Protocole de Kyoto les réductions des émissions ont été négociées sur une base de production. Or, une multitude de pays se retrouvent à importer une grande quantité de produits à haute intensité carbonique, sans pour autant comptabiliser ces impacts contre l'empreinte carbonique totale des pays importateurs. Ces pays, majoritairement du Nord bénéficient d'une qualité de vie élevée, tandis que leur impact environnemental calculé sur une base de production peut paraître relativement réduit (Peters et Hertwich, 2008). Un calcul sur base de consommation serait en mesure de mieux associer le carbone émis avec la cause-racine, dans le but d'éventuellement internaliser son coût. (Il va sans dire que le bien commun est le budget global restant de CO₂).

Transposer le budget courant de carbone au niveau national, et toute mesure de réduction de la production d'énergie fossile est d'autant plus contentieuse pour les pays du Golfe et pour les pays de l'*Organisation of the Petroleum Exporting Countries* (OPEC). Souvent, la structure économique et donc la subsistance économique de ces pays dépend presque entièrement de l'exploitation de l'énergie fossile. Demander aux pays de l'OPEC de réduire drastiquement la production d'énergie fossile est aussi inéquitable que limiter son accès aux pays sous-développés qui en ont besoin pour sortir de la pauvreté par un minimum de développement économique. Les chapitres suivants montrent que la réduction la plus équitable et efficace de la consommation d'énergie fossile peut provenir de la diminution de la demande d'énergie des pays développés et surdéveloppés.

Bref, les limites biophysiques sont des enjeux de sécurité nationale et internationale. Même l'OCDE avouait déjà en 2011 qu'il existe de limites planétaires et que deux de ces limites, la diversité biologique et le cycle de l'azote avaient été dépassées (OCDE, 2011). Lagarde (2012) fait une déclaration semblable. Par contre, la gestion concertée et l'accommodement aux limites relève premièrement des États souverains qui, par définition, ont l'intérêt premier d'assurer la sécurité et la qualité de vie de leurs citoyens. Les États nationaux se retrouvent dans la position délicate à choisir entre l'investissement dans la décarbonisation ou dans l'adaptation au réchauffement climatique. La collaboration internationale face à ces enjeux doit aborder la crise environnementale à travers le prisme du réalisme politique, un sujet abordé à la section 4.6. La crise environnementale imminente constitue peut-être l'opportunité unique de dépasser le paradigme du réalisme politique.

3. LA DIFFICILE ÉQUATION CARBONE–ÉCONOMIE–CLIMAT

La causalité concentration de dioxyde de carbone—réchauffement climatique (dû à l'effet de serre) fut démontrée empiriquement dans les années 1890 par Svante Arrhenius (1897). Lors de la création de la Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC) en 1992, l'ONU a identifié le besoin de limiter le réchauffement climatique dans le but d'éviter des effets dangereux. La limite du *dangereux* a été définie selon la connaissance scientifique et selon un jugement de valeur (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [GIEC], 2014). Cette limite est une augmentation de la température moyenne à la surface terrestre d'un maximum de 2°C par rapport à la période pré-industrielle. Cette section discute la limite de carbone et le degré de réussite de la CCNUCC.

3.1 Le système du réchauffement climatique

Le mécanisme du réchauffement climatique est illustré à la figure 3.1. Le problème immédiatement évident est la boucle autorenforçante croissance économique—activité économique. La croissance économique mène à l'augmentation du niveau d'activité économique, ce qui engendre encore plus de croissance et conséquemment plus d'accumulation de dioxyde de carbone (CO₂) dans l'atmosphère.

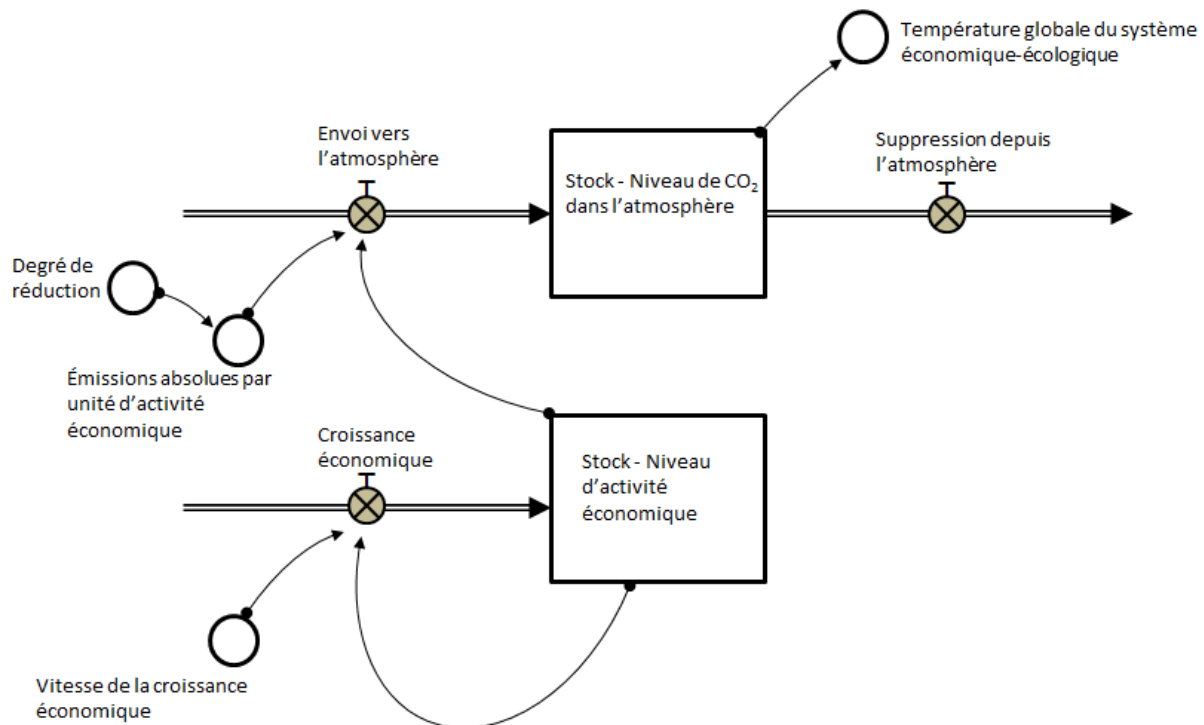


Figure 3.1 Vue systémique du réchauffement climatique (tiré de Meadows, 2015, traduction libre)

La structure-même du processus économique fait en sorte qu’il est intrinsèquement carbonique. La production d’énergie, les transports, la production de ciment, la sidérurgie, l’agriculture et bien d’autres activités économiques émettent des GES, dont la contribution la plus importante (80 %) est celle du CO₂. Le méthane (CH₄) ainsi que des gaz nitreux et les halocarbures contribuent aussi au réchauffement. Ces émissions et leur potentiel respectif de réchauffement sont exprimés dans la littérature en quantités d’émissions équivalentes par rapport au CO₂. Les quantités notées par CO₂ dans ce chapitre constituent des quantités de CO₂équivalent. La relation entre les émissions de CO₂ et les aspects socioéconomiques est décrite sous forme analytique par l’identité de Kaya.

$$CO_2 = POP \times \frac{PIB}{POP} \times \frac{E}{PIB} \times \frac{CO_2}{E}$$

où CO₂ représente les émissions anthropiques mondiales de dioxyde de carbone, POP représente la population mondiale, PIB est le produit intérieur brut mondial, et E représente la consommation d’énergie. Le ratio PIB/POP est une approximation de la qualité de vie de la population mondiale. Le ratio E/PIB est l’intensité énergétique du PIB. Le facteur CO₂/E est l’intensité carbonique de l’énergie mondiale. (Kaya et Yokobori, 1997).

Cette simple identité mathématique illustre bien le lien intime entre les émissions de CO₂ et l’activité économique, et met en évidence les facteurs socioéconomiques qui contribuent au processus du réchauffement climatique. Ainsi, la lutte contre les changements climatiques passe forcément par l’action au niveau de ces facteurs. Le GIEC emploie cette identité dans ses modèles et estimations. D’ailleurs, il a été démontré que le découplage absolu entre les émissions de gaz à effet de serre (GES) et la croissance économique est impossible (Caminel et al., 2014; Rabouin, 2016; Fletcher, 2016). C’est-à-dire, l’économie, selon le paradigme actuel de croissance ne peut pas croître indépendamment de la hausse des émissions de GES.

Circonscrire le réchauffement climatique en deçà de 2°C par rapport à la période pré-industrielle implique qu’il existe un budget global de CO₂. Ceci est dû au fait que le réchauffement climatique est une conséquence l’accumulation de GES dans l’atmosphère (Matthews et al., 2009). Le réchauffement climatique est proportionnel à la quantité de GES accumulée dans l’atmosphère, et non à la quantité émise chaque année. Le CO₂ a une durée de vie particulièrement longue. Malgré qu’une partie soit absorbée par les océans, par la biosphère, et par le sol, la majorité du CO₂ émis s’accumule à haute altitude et persiste pour des centaines d’années (Ibid, 2009).

3.2 Les données du problème

Quelques faits rapportés par les autorités scientifiques à la pointe de la science climatique aident à saisir la gravité du problème. Selon les dernières estimations du GIEC, le budget global pour respecter la limite de réchauffement de 2°C est de 2900 milliards de tonnes CO₂ (GIEC, 2014). Comme la figure 3.2 l'illustre, beaucoup plus que la moitié de ce budget a été épuisée.

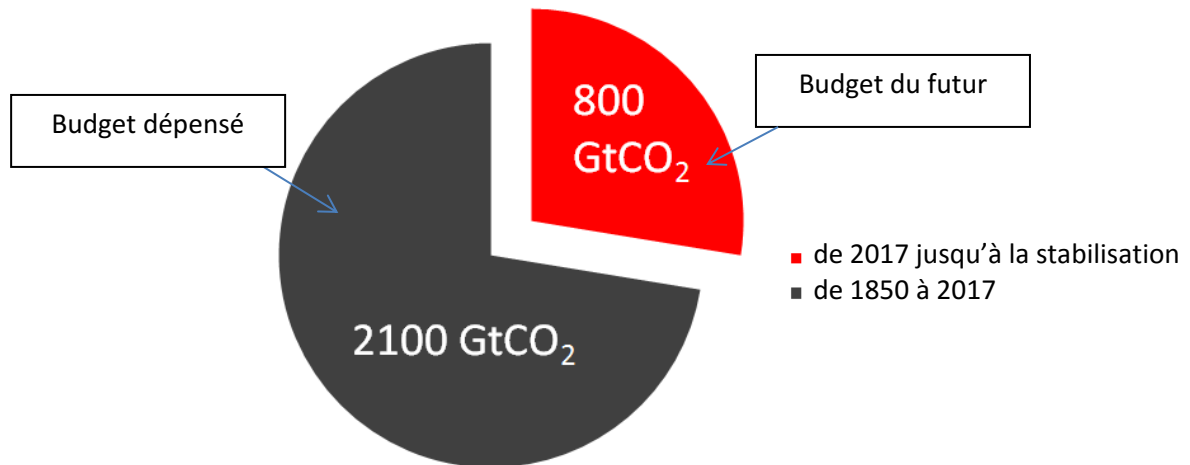


Figure 3.2 Répartition du budget d'émissions de CO₂ conforme à 2°C (basé sur GIEC, 2014)

Le budget du futur représente la quantité absolue de CO₂ anthropogénique qui peut être émise sans dépasser la limite du 2°C. Dans le scénario souhaité par les parties (États signataires) du CCNUCC, ce budget ne sera épuisé que dans un futur lointain, moment où la température moyenne terrestre serait stabilisée de manière permanente à 2°C de plus qu'en 1850 (référence de la période pré-industrielle). Comme toutes les données fournies par le GIEC, les estimations présentées à la figure 3.2 ne sont que des approximations. Ces approximations découlent des marges d'erreur dans les calculs et modèles climatiques utilisées par le GIEC et d'autres instituts de recherche pour modéliser le système climatique et le cycle biogéophysique complexe du carbone.

Pourtant, la précision compte moins. Ce sont les tendances générales du système qui importent le plus. Ces tendances sont alarmantes. Le record de température moyenne a été battu pour la troisième année consécutive en 2016 (National Oceanic & Atmospheric Administration [NOAA], 2017). Le taux d'émission a été de 53 GtCO₂ par année en 2014. En 2015, ce taux a augmenté de 1,3 %. Ce taux est plus réduit que la moyenne des 12 années précédentes (2,9 %) (PNUE, 2016). Ceci revient à dire que les émissions de

GES augmentent moins vite. Mais elles augmentent, malgré un certain optimisme qui émane des rapports du GIEC. Un simple calcul révèle le fait que le budget de CO₂ sera épuisé dans une quinzaine d'années selon le scénario *business-as-usual*. Voir Rogelj et al., 2016 pour les détails.

L'autorité incontestable de la science climatique, le GIEC (2014), affirme que l'atteinte de la cible de 2°C requiert une réduction drastique du taux d'émissions, pour aboutir à un taux net nul en 2060-2075. (Pour pouvoir compter sur une probabilité de 66 % de chances à stabiliser la température avant 2100). Afin de s'engager dans une trajectoire faisable et cohérente avec cette cible, les émissions de GES devraient commencer à baisser avant 2020. Si les émissions absolues mondiales ne commencent à baisser qu'après 2020, les réductions futures devront être beaucoup plus abruptes et les coûts associés aux efforts de décarbonisation augmenteront de manière significative, mais l'atteinte du 2°C sera physiquement toujours faisable (GIEC, 2014). Pour le moment, comme illustré à la figure 3.3 les concentrations atmosphériques de CO₂ et CH₄ ne donnent pas des signes de stabilisation. Au contraire, la concentration de CO₂ (ppm) semble suivre une courbe exponentielle.

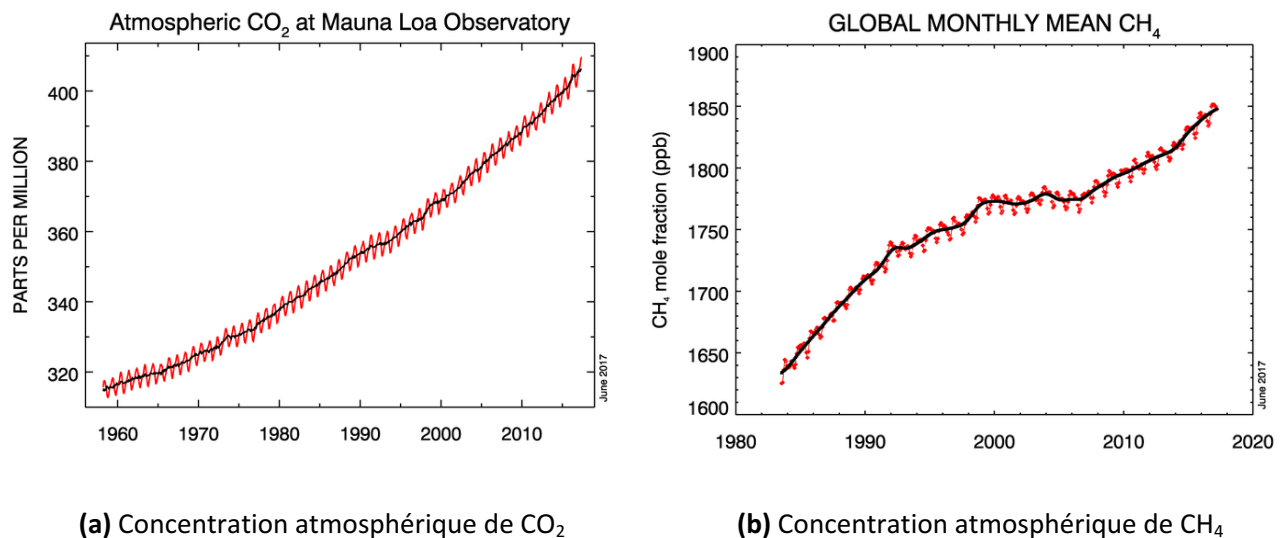


Figure 3.3 Évolution de la concentration de CO₂ et CH₄ (tiré de NOAA, 2017)

La température à la surface terrestre a déjà augmenté de 0,8°C par rapport à 1850 (GIEC, 2014). Il ne reste donc que 1,2°C de marge de manœuvre effective avant 2°C, ou seulement 0,7°C avant d'atteindre la cible « aspirationnelle » de 1,5°C de l'Accord de Paris de 2015. Il est à noter que même si les émissions de GES seraient immédiatement réduites à zéro, le réchauffement continuerait pour des décennies à venir, à cause du temps de réaction prolongé (l'inertie) du système climatique.

3.3 Modélisation et prévisions du PNUE

Chaque année, le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE), l'autorité internationale de la lutte contre le réchauffement climatique publie le *Emissions Gap Report* (disponible en anglais seulement). En 2016, le rapport était à sa 7^e édition. Ce rapport fait le point sur l'évolution des émissions de GES versus les engagements de réduction des parties du CCNUCC. Malgré les efforts de réduction des parties, dans le dernier rapport le chef de la PNUE, Erik Solheim, déplore la lenteur avec laquelle les plans avancent et souligne l'urgence d'agir avant 2020 pour atteindre des réductions plus vite. Il affirme que la trajectoire d'émissions courante mène plutôt à un réchauffement de 3,2°C en 2100 et non à 2°C (PNUE, 2016). En effet, les contributions promises par les parties sont loin d'être suffisantes. La dernière édition de l'*Emissions Gap Report 2016* dissèque les écarts. Les faits saillants sont résumés plus bas.

La plupart des États ont avancé des engagements de réduction de GES à implanter à l'horizon 2020. Ces engagements peuvent être inconditionnels ou conditionnels. Des nombreux États ont déposé des cibles de réduction (quantitatives) inconditionnels et simultanément des cibles de réduction conditionnelles. La plupart des conditions invoquent l'aide financière des États industrialisés. Les engagements ne sont pas égaux. Un État peut être en voie d'atteindre ses objectifs modestes, tandis qu'un autre peut être en retard à implanter des réductions beaucoup plus ambitieuses. Des nombreux États ont explicitement déposé des plans qui incluent des réductions par le biais de projets compensatoires à implanter dans d'autres États. Les comparaisons sont donc relatives. Néanmoins, le suivi est important. Le suivi débutera formellement en 2020. Seulement trois États, l'Argentine, l'Arabie-Saoudite et la Turquie, tous des États faisant partie du G20, n'ont pas déposé de cibles de réduction pour 2020 (PNUE, 2016).

La mathématique des émissions est impardonnable. Comme illustré à la figure 3.4, en 2030 la différence entre la trajectoire du BAU et celle qui mène à 2°C sera de 22 GtCO₂. Même advenant l'implantation de tous les engagements des parties, les émissions en 2030 seront toujours supérieures de 17 GtCO₂ par année à ce qu'elles devraient être pour rester sur la trajectoire qui mène graduellement au zéro net en 2060-2075 (PNUE, 2016). En d'autres mots, il faudra réaliser davantage de réductions, pour un total de 17 GtCO₂ par année, en plus des engagements des parties, pour pouvoir détourner le réchauffement catastrophique. Ceci est clairement la preuve que les engagements des parties ne sont pas suffisants pour entamer une trajectoire contrôlée vers le but officiellement déclaré du 2°C. Rappelons que même à un réchauffement de seulement 2°C il y aura des effets négatifs significatifs (PNUE, 2016).

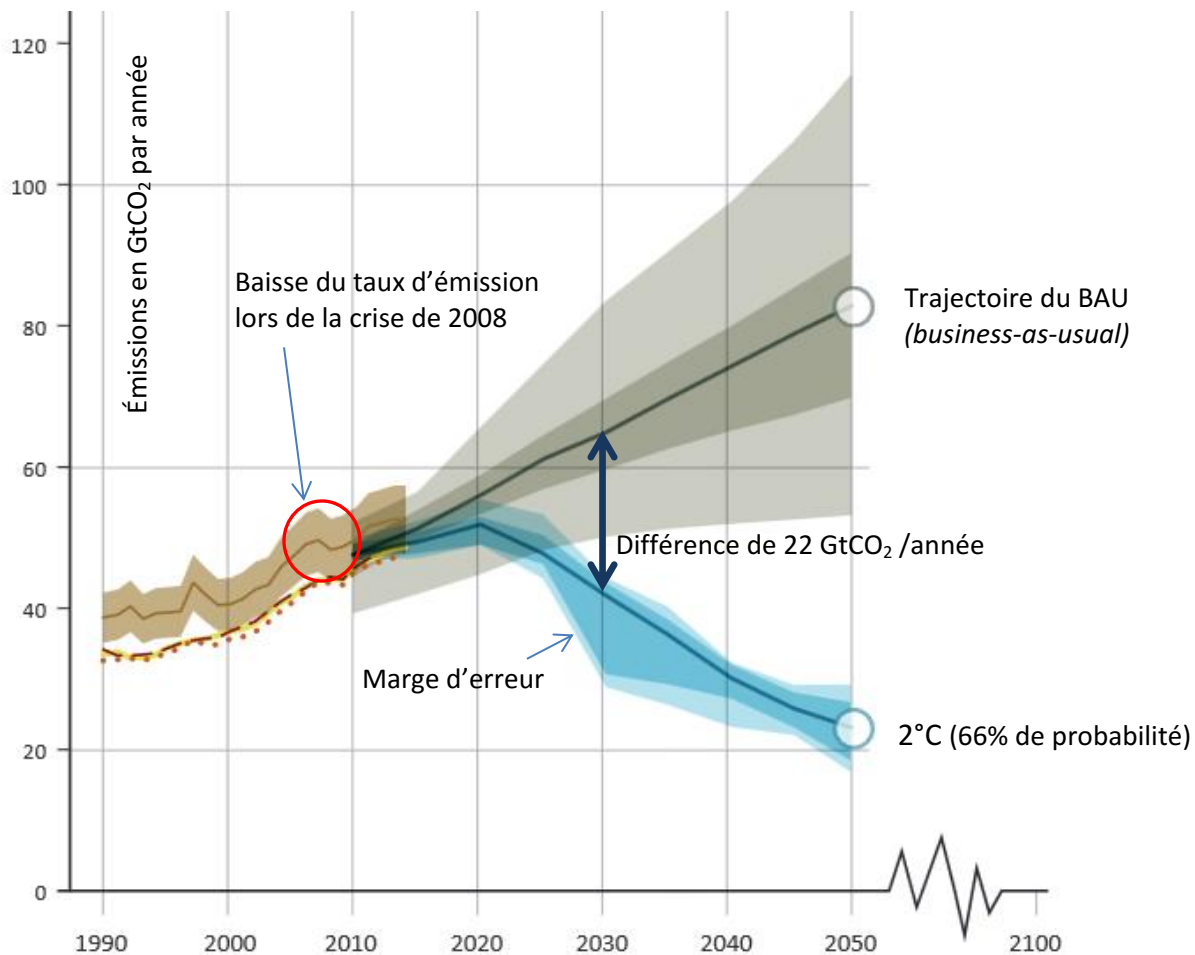


Figure 3.4 Profil des scénarios d'émissions 2015-2050 (tiré de PNUE, 2016)

Le rapport PNUE rappelle que dans les temps récents la seule baisse du taux d'émissions annuel a été enregistrée en 2008 lors de la crise financière mondiale. Cette inflexion est d'ailleurs identifiable sur le graphique de la figure 3.4. De plus, le rapport identifie les contributions spécifiques que les différents secteurs économiques peuvent apporter. Les métropoles, les multinationales, les investisseurs et les groupes de citoyens ont un potentiel significatif. D'ailleurs, ceux-ci participent aux réunions spéciales de la COP, comme ce fut le cas à Paris. Entre autres, le rapport identifie quantitativement le potentiel de réduction de GES par l'efficacité énergétique des transports et de l'isolation thermique des bâtiments. La récente étude d'Estrada, Botzen et Tol (2017) va dans la même direction.

Enfin, le rapport du PNUE (2016) identifie explicitement dans le sommaire exécutif le fait que l'objectif du CCNUCC est en conflit avec plusieurs objectifs de développement durable officialisés par les Nations Unies (2012). Ces objectifs sont la croissance économique, l'industrialisation et l'emploi. À la lumière des

tendances climatiques présentées par le GIEC et par le PNUE, et particulièrement à cause du fait que les engagements de réduction parties du CCNUCC ne sont pas suffisants pour assurer une gestion ordonnée vers la stabilité climatique, la Convention n'atteint pas l'obligation qu'elle s'est donnée. Le Système Terre n'est pas présentement sur la trajectoire du 2°C tant discutée et négociée. Plusieurs analyses arrivent à cette même conclusion (Boyd, Turner et Ward, 2015; Sterner, 2015). Rappelons que le texte constitutif en vigueur de la CCNUCC parle spécifiquement d'« obligation » des signataires, en ce qui concerne la limitation du réchauffement climatique en deçà de 2°C.

Malgré ceci, la négociatrice-en-chef du CCNUCC, Christiana Figueres exprime dans un récent article (co-signé par des chercheurs du Potsdam Institute for Climate Impact Research) un mélange d'urgence et d'optimisme. Urgence, car selon les estimations du GIEC il ne reste que trois ans pour faire des efforts significatifs « pour garder la porte ouverte » à une chance à s'encadrer dans la trajectoire du 1,5°C (Figueres et al. 2017). D'autre part, son optimisme se justifie par les signes de découplage relatif enregistrés récemment et par les gains sur le front de l'énergie renouvelable. En effet, le PIB des États-Unis a enregistré une croissance de 1,6 % en 2016, pendant que les émissions de CO₂ ont baissé de 3 %. Un faible découplage est aussi enregistré en Chine (AIE, 2017). D'ailleurs, selon British Petroleum (2016), le ralentissement des émissions de CO₂ est en grande partie le résultat du ralentissement de secteur industriel de la Chine. Pourtant, il est trop tôt pour considérer ces signes timides comme un point d'inflexion dans le profil des émissions. Un découplage beaucoup plus important sera nécessaire, accompagné d'une contraction gérée pour réaliser des réductions absolues.

3.4 Les autres voix de la science climatique

L'intégrité scientifique des estimations du GIEC et du PNUE est assurée par la collaboration étroite avec de nombreux instituts de recherche à travers le monde. Les publications du GIEC et du PNUE bénéficient d'un imposant processus de vérification minutieuse scientifique. Pourtant, leurs prévisions à ton presque électoral se sont occasionnellement avérées trop optimistes. Par exemple, le rapport PNUE *Bridging the Emission Gap* de 2011 estimait que

« [...] si les émissions globales n'excèdent pas 44 GtCO₂ [par année] en 2020 et si ensuite les émissions globales sont rapidement réduites; à ce moment-là il est "possible" que le réchauffement climatique soit limité à 2°C. Une opportunité "possible" a une probabilité [statistique] d'au moins 66%. » (traduction libre de PNUE, 2011b, p.16)

Ces estimations se sont avérées erronées, car les émissions globales excèdent déjà 44 GtCO₂ par année.

Il existe toute une communauté internationale d'experts qui ne participent pas directement au processus scientifique de GIEC ou de PNUE. Ceux-ci ne restent pas indifférents face à ces erreurs. Les critiques à l'adresse des estimations de PNUE sont nombreuses. C'est la nature d'un débat sain et constructif. Ainsi, des climatologues de premier échelon mondial expriment des visions plus pessimistes.

Geden (2015), remarque qu'avec les années la science climatique s'est perfectionnée, mais le budget de CO₂ global (estimé par le GIEC) n'a pas changé de façon significative. En d'autres mots on connaît en grandes lignes le budget de CO₂ associé à la limite de 2°C depuis les années quatre-vingt. Ce qui change d'un rapport de GIEC à l'autre n'est pas la définition de la limite du carbone mais plutôt la stratégie pour la respecter. Oliver Geden est le chef de la Division de recherche de l'Institut allemand pour affaires internationales et sécurité. Ses mots en original sont révélateurs :

« Each year, mitigation scenarios that explore policy options for transforming the global economy are more optimistic—and less plausible. Advisers once assumed that the global emissions peak would have to be reached before 2020 and annual emission-reduction rates of more than 3% were not feasible. Those assumptions keep changing.

For example, the fourth assessment of the IPCC [GIEC], published in 2007, stated that emissions must peak by 2015 to stay within 2°C of warming; yet the fifth IPCC report [...] refers to 2030 emissions levels higher than today's that are still compatible with this limit, albeit with annual emission-reduction rates of 6%. The annual Emissions Gap Report by UNEP [PNUE] [...] had an original deadline of 2020 for its analysis of how to fill the gap between global emissions levels compatible with a 2°C target and national pledges; the 2014 edition extended it to 2030. » (Geden, 2015)

L'artifice de pensée que le GIEC emploie dans ses scénarios pour toujours retarder la date à laquelle les émissions commenceront à baisser s'appelle « émissions négatives »—l'hypothèse politiquement et socialement convenable qu'on peut continuer d'émettre pour croître l'économie et qu'il y aura la possibilité d'extraire le CO₂ de l'atmosphère plus tard (section 3.6).

Ekins, Bradshaw, et Watson (2015) discutent les scénarios qui mènent à l'objectif 2°C. Ils soulignent qu'il est irréaliste de retarder le ralentissement économique. En même temps, modéliser des scénarios où l'économie globale contracte de plus de 4 % par année après 2030 (pour ainsi contribuer aux efforts de réduction de GES) est inutile. Selon eux, la structure économique actuelle ne lui permet pas d'absorber un tel choc. À des taux de contraction économique de plus de 4 %, c'est la crise qui règne.

D'autre part, des climatologues du centre de recherche Tyndall affirment que l'objectif n'est atteignable qu'avec une contraction économique de 10 % par année jusqu'en 2030. Cette estimation est émise

ignorant tout effet qu'une telle contraction peut avoir sur la société². Selon leur modèle économique-climatique, la décroissance contrôlée est nécessaire. Kevin Anderson a raison d'affirmer, du point de vue de l'ingénierie, qu'il est trop tard pour installer suffisamment d'infrastructures zéro-carbone (ou bas carbone) pour approvisionner la demande d'énergie globale. À titre d'exemple (faisant abstraction des problématiques inhérentes à l'industrie nucléaire) il faudrait construire pas moins de 400 nouvelles centrales à uranium pour remplacer toutes les centrales au charbon. Présentement, il n'y en a que 70 en cours de construction, et ce, pour remplacer des centrales à uranium en fin de vie. Pour les mêmes raisons techniques, le déploiement graduel du réseau solaire et celui éolien ne se fait pas assez rapidement sur le terrain, pour remplacer les énergies fossiles avant l'épuisement du budget de CO₂. Il est donc impératif d'agir sur le côté de la demande. Réduire la consommation d'énergie et de biens, et inévitablement le ralentissement économique semble être la seule solution. (Anderson, 2014; 2015a; Lamb et Rao, 2015; Larkin, Kuriakose, Sharmina et Anderson, 2017).

De plus, Anderson et d'autres chercheurs de premier rang critiquent les estimations du GIEC et d'autres sources d'optimisme climatique pour ne pas présenter un portrait plus prudent des prévisions en ce qui concerne le réchauffement climatique. Il est d'avis qu'il existe une dualité dans les cercles scientifiques. Les chercheurs ont l'intérêt de présenter des résultats et prévisions intègres. En même temps, ils ont une tendance à se plier aux sensibilités politiques du jour pour ne pas entrer en conflit avec les concepts du développement durable et ceux de la croissance économique. Plus spécifiquement, Anderson indique que le modèle climatique courant du GIEC intègre l'hypothèse non-justifiée que les émissions globales de CO₂ commenceront à baisser en 2020. Cette hypothèse n'est pas conséquente avec les politiques énergétiques mondiales actuelles (orientées vers la croissance); et les efforts de réduction de CO₂ sont loin de s'aligner avec la cible/obligation de 2°C (Anderson et Bows, 2011; Anderson, 2015b; New et al., 2011). Nicholas Stern exprime les mêmes préoccupations (Stern, 2016).

Les arguments présentés jusqu'ici montrent pourquoi la lutte contre le réchauffement climatique n'est pas compatible avec la croissance économique continue. Une réelle détermination des États à éviter le scénario du 2°C ou pire devrait être accompagnée de plans de contraction économique contrôlée. Cette conclusion est effectivement une conséquence du fait que l'économie n'a jamais été en mesure d'internaliser les coûts des émissions (rejets) de GES. Selon Stern (2008), « greenhouse gas emissions are externalities and represent the biggest market failure the world has seen. »

² Il relève à la société civile et au domaine de la politique d'accepter et d'initier des changements de mode de vie en conséquence.

3.5 Probabilité et statistiques climatiques

La science climatique est tellement complexe que les rapports du GIEC incluent toujours des post-scriptum relatifs à la probabilité des affirmations avancées. D'une part, la certitude avec laquelle le GIEC confirme que le réchauffement climatique est d'origine anthropique est passée de « probable » en 2001, à « très probable » en 2007, et finalement à « extrêmement probable » en 2014 (Nordhaus, 2015a).

D'autre part, la probabilité-standard citée par le GIEC dans ses scénarios ne s'améliore pas. Si un tel budget est respecté, la probabilité d'atteindre telle ou telle cible est de 66 %. Si le budget de 800 GtCO₂ est respecté, la probabilité de rester en deçà de 2°C n'est que de 66 %. Cette probabilité permet donc la possibilité à ce que même si le budget est respecté, la température résultante soit, par exemple, de 5°C. En d'autres mots, la probabilité d'atteindre ou dépasser 5°C est moindre mais pas négligeable.

Face à tous ces données statistiques, Wagner et Weitzman(2015) opposent deux arguments de principe. Premièrement, à une probabilité de 66% de respecter la cible de 2°C, ils estiment qu'il existe une chance sur 10 de dépasser 6°C. Les politiques de réduction de GES devraient donc s'établir pour assurer avec un plus grand degré de confiance l'évitement de la possibilité du 6°C. Ils rappellent que le réchauffement climatique et ses conséquences est une question de vie et mort pour des millions de personnes.

Procédons à un exercice interdisciplinaire. Dans les activités professionnelles où la protection du public est vitale, comme dans l'ingénierie, un taux de 66 % de réussite serait inacceptable. Personne n'accepterait d'embarquer dans un avion qui a une probabilité de 66 % d'atterrir à sa destination. Une ceinture de sécurité d'automobile n'est pas conçue pour fonctionner 66 % du temps. La Federal Aviation Administration (FAA), par exemple, dans ses standards de navigabilité, établit à 1 sur 1.000.000.000 la probabilité maximale acceptable à affronter une défaillance catastrophique (FAA, 1988). Un aéronef est donc conçu avec suffisamment de fiabilité pour respecter cette directive. Travailler avec des niveaux de probabilité plus élevés implique des réductions de CO₂ plus importantes et donc des coûts additionnels.

Deuxièmement, Wagner et Weitzman (2015) présentent des nouvelles évidences qui démontrent que le GIEC sous-estime la probabilité d'épisodes catastrophiques même dans une atmosphère de seulement 2°C plus chaude. Ils estiment des fréquences d'ouragans, de vagues de chaleur et d'inondations plus importantes qu'estimé auparavant. Ils concluent d'ailleurs que l'économie globale pourrait être amputée de 30 % par ces évènements rares mais catastrophiques. Cette observation, quoiqu'ironique, prouve que la décroissance économique peut également s'imposer de manière involontaire.

3.6 Captage et stockage du dioxyde de carbone

La combustion de ressources fossiles devient un luxe à administrer avec frugalité. Pourtant, la grande majorité des modèles climatiques endossés par le GIEC permettent l'utilisation prolongée d'énergies fossiles, intégrant en revanche d'émissions négatives, grâce à la technologie de captage et stockage. L'arithmétique de ces modèles est simpliste : on peut continuer à émettre du CO₂ car la technologie sera capable de le « soustraire » de l'atmosphère. C'est le cas notamment de l'article *A roadmap for rapid decarbonisation* (« Feuille de route pour la décarbonisation rapide »), par Rockström et al. (2017). Cet article constitue une évidence de plus que l'optimisme technologique demeure très populaire.

Pourtant, la technologie de captage et stockage n'a pas passé ses épreuves de faisabilité pour être considérée une option viable à grande échelle. Baser des décisions sur une technologie qui est toujours à l'état de projet-pilote est irresponsable. Seize projets-pilote fonctionnent en Europe, aux États-Unis, en Australie, au Canada, en Islande et ailleurs. Celles-ci sont intégrées à des centrales au charbon ou à des cimenteries ou aciéries. Toutefois, celles-ci fonctionnent dans des conditions particulièrement propices financièrement et techniquement (géologie et infrastructure). Intégrée à une centrale thermique, le captage de CO₂ réduit de jusqu'à 20 % l'efficacité énergétique de celle-ci, d'où la réticence à l'implanter. (Anderson et Peters, 2016).

De plus, un récent rapport conjointement publié par l'OCDE et l'AIE (les promoteurs de la technologie de captage) déclare que le taux de croissance de cette technologie est loin de la cible. Le captage devrait augmenter de 15 % par année jusqu'en 2030, pour accomplir le total d'émissions négatives de 94 GtCO₂ à l'horizon 2050, déjà comptabilisées dans les calculs du GIEC et compatibles avec 2°C. Le même rapport évoque des difficultés de financement, de support gouvernemental, d'acceptabilité sociale et le manque de lieux d'enfouissement géologiquement adéquats. (Le captage réduit le CO₂ à un liquide visqueux qui doit être pompé en profondeur ou acheminé de manière sécuritaire à des potentiels utilisateurs, dans une optique d'économie circulaire.) Mais, selon le bilan fourni par l'OCDE, jusqu'à date, un projet sur deux avance à la phase de construction. À ce taux de croissance du captage, seulement un maigre 1/6 du total des émissions négatives budgétées par le GIEC seront livrées(!) Aucun nouveau projet de captage à grande échelle n'a été démarré depuis 2014. (OCDE, 2016). Donc, les promoteurs eux-mêmes de la technologie de captage de CO₂ admettent que celle-ci ne sera pas en mesure de livrer à la hauteur des estimations du GIEC (figure 3.4). Les modèles de soutenabilité incluant des émissions négatives dans le futur sont ainsi invalidés par manque de preuves (Larkin et al., 2017).

Rob Jackson et ses collègues du *Center for International Climate Research* de Oslo appellent la confiance non-méritée qu'on accorde à la technologie de captage et stockage du dioxyde de carbone un cas spécial du « mythe de l'ingénieur ». Ces scientifiques réfèrent à la nécessité du changement sur le plan social. On n'aurait pas pu résumer mieux :

« Le mythe imagine que l'innovation technologique mène directement à l'implantation. Des solutions sérieuses au problème climatique nécessitent des changements profonds dans l'économie industrielle. L'ingénierie sera un pivot dans ce processus, comme les experts de la politique qui concevront des politiques soutenables. Cette perspective est naïve par rapport aux facteurs qui décident si les nouvelles technologies survivent sur le marché commercial et la vitesse à laquelle ceux-ci se concrétisent en service. Le mythe est que le changement technologique repose sur l'innovation. Ceci résulte en un optimisme mal-fondé relatif à la question si on peut résoudre le problème du CO₂ parce qu'il focalise sur l'existence de nouvelles technologies et non sur le long et ardu processus de test et installation dans la vraie vie. » (traduction libre de Jackson et al., 2017).

Dans ces conditions, il est impossible de voir comment la technologie de captage peut réellement jouer un rôle important dans les prochaines années, pour répondre convenablement aux prévisions du GIEC. Penser que des centaines d'usines de captage seront mises en opération jusqu'en 2020 ou en 2030 est un piège dangereux. Cette idée popularisée par le GIEC et entretenue par un nombre important de décideurs et climatologues ne fait que réduire l'urgence d'agir dans le sens de la décarbonisation absolue (Peters, 2016, Peters et al., 2017). Enfin, le captage ne s'applique qu'à des émetteurs ponctuels; ainsi, cette technologie n'a aucune incidence sur le problème des émissions provenant du transport.

3.7 Tarification du carbone

La tarification du carbone a été souvent proposée comme instrument économique efficace à modérer la consommation de produits et services à grande empreinte carbonique. La tarification peut prendre la forme d'une taxe ou d'un coût à la tonne de CO₂ déterminé par un système de plafonnement et peut servir à financer des technologies et infrastructures soutenables. Le coût du carbone saurait se refléter dans des choix de société comme les moyens de transport, le logement et les choix diététiques. Dans le contexte actuel de réchauffement accéléré, les économistes les plus influents de la planète sont appelés à étudier comment la tarification du CO₂ peut contribuer à l'atteinte de l'objectif 2°C.

Dans cette optique, Nicholas Stern et Joseph Stiglitz préconisent que des coûts entre 40 et 80 \$US/tCO₂ en 2020, et entre 50 et 100 \$US/tCO₂ en 2030 sont alignés avec l'Accord de Paris. Une telle tarification serait un signal crédible sur la valeur du carbone et aiderait à accélérer la transition vers une économie

bas carbone. La tarification proposée est flexible et évolutive, selon le pays ou la région. De plus, leur proposition inclut des politiques de compensation et redistribution pour éviter de désavantager excessivement les plus vulnérables, ainsi que des instruments financiers pour gérer des transferts de fonds d'aide Nord-Sud. Le rapport de Stern et Stiglitz fait partie d'un effort de concertation plus large de la Carbon Pricing Leadership Coalition (CPLC). La CPLC est une initiative de la Banque Mondiale qui regroupe des gouvernements, des institutions internationales, des multinationales, des organisations non-gouvernementales, des scientifiques et des groupes de citoyens. Sa mission est de favoriser l'implantation de politiques ambitieuses qui incitent à l'action intrépide vers l'objectif du 2°C. (France Stratégie, 2017; Carbon Pricing Leadership Coalition, 2017)

D'autres chiffres encore plus ambitieux circulent dans la littérature de spécialité. Tol (2017) rappelle que le coût social du carbone est de 201 \$US/tCO₂. Son calcul se base sur un taux d'escompte de 0%, où il n'y a aucune préférence entre la génération actuelle et les générations futures. Encore une fois, ce type de calcul permettrait d'élaborer des politiques réparatrices en conséquence. Cependant, aujourd'hui aucun gouvernement national ne prétend appliquer des politiques économiques et environnementales en fonction du réel coût social du carbone.

Les estimations présentées plus haut sont beaucoup plus ambitieuses que le prix du CO₂ de 16 \$US/tCO₂ enregistré aux enchères du système de plafonnement Québec-Californie (Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques [MDDELCC], 2017), voire un piètre 5€/tCO₂ pratiqué en Europe (European Energy Exchange, 2017). Ces tarifs, en effet, n'achètent pas beaucoup d'atténuation (Tol, 2017), mais des tarifs élevés risquent de ne pas gagner l'acceptabilité sociale et politique nécessaire. La tarification du carbone, quoiqu'une mesure bienvenue, n'est pas l'instrument parfait non plus, car, dans une certaine proportion, les plus riches membres de la société ne feront que payer cette taxe pour pouvoir maintenir des habitudes de vie à haute empreinte carbone. Pour ceux-ci, la tarification du carbone n'est pas une mesure coercitive efficace.

Suite aux arguments présentés jusqu'ici et au vu des échecs de la politique climatique internationale, il est clair que la contraction économique planifiée et gérée peut constituer une solution beaucoup plus efficace pour contrer le phénomène du réchauffement climatique. Ainsi, la décroissance soutenable poursuit une stratégie qui n'exclut pas les instruments coercitifs conventionnels comme la tarification et les quotas d'émissions, mais propose avant tout un changement de valeurs sociales et une frugalité matérielle.

4. LA SOLUTION PROPOSÉE PAR LA DÉCROISSANCE

La crise de 2008-2009 fut une période d'austérité forcée avec des répercussions sociales majeures. En conséquence, depuis 2008, l'idée de croissance économique conventionnelle est remise en doute et la décroissance est redevenue un sujet d'actualité. La décroissance (*degrowth*) signifie un projet social, économique et politique. S'engager dans ce processus offre une solution aux problèmes illustrés dans les chapitres précédents. La décroissance promet une meilleure alternative à une société contrainte par des limites physiques. Selon Schneider et al. (2010) celle-ci consiste en une « réduction de la production et de la consommation, ce qui augmente le bien-être humain et améliore les conditions écologiques et l'équité sociale dans le court et long terme. » Ce chapitre présente les fondements de ce mouvement émergent, ses arguments, ses défis, et la transformation qu'il poursuit.

4.1 Une idéologie axée sur l'humain

L'économie contemporaine est son propre but. Sa croissance représente la préoccupation principale de plusieurs paliers gouvernementaux et de toute entreprise privée. Ce qui est moins évident pour le non-initié est que l'économie de marché conventionnelle a besoin de croissance continue pour subsister. L'économie est un hélicoptère dont le rotor doit tourner constamment pour se maintenir en vol. De la même manière, l'appareil économique carbure continuellement à la croissance, pour ne pas s'écraser comme en 2008. L'économie est entraînée dans le mécanisme dette-intérêt-inflation-dividendes de la course à la croissance trimestrielle. La décroissance propose s'évader de ce type d'économie.

Les penseurs de la décroissance s'inspirent des travaux de Georgescu-Roegen, Ayres, Meadows, Daly, Odum et d'autres ayant identifiés des contraintes systémiques à la croissance économique. Les objecteurs de croissance prônent une rupture radicale avec l'idée préconçue qui équivaut progrès humain et croissance. La décroissance est une réorientation vers la poursuite du confort et de la qualité de vie par des moyens soutenables (écologiquement et équitablement). Pourtant, les décroissancistes ne sont pas des écologistes. Le but de la décroissance est en égale mesure social et écologique. Dans les mots de Paul Ariès (2009) « les objecteurs de croissance ne sont pas des écologistes plus durs ni même d'abord des écologistes : ils tentent plutôt de penser la simultanéité des crises qui affectent l'humanité ». La transformation sociétale poursuivie comporte des multiples cobénéfices écologiques. L'idée émergente est que l'expansion économique n'est pas une nécessité, au contraire. Cette hypothèse se heurte contre les convictions de l'élite politique actuelle, donc le travail des objecteurs de croissance est de créer la « force sociale » nécessaire pour amener le changement politique (Kallis, 2010).

Les penseurs de la décroissance (économistes, sociologues, anthropologues, philosophes, ingénieurs) adoptent et transmettent une attitude sereine face à la perspective de décroissance, qui est de toute façon inévitable, vu les multiples limites discutées dans les chapitres précédents. Le développement est donc remplacé par la décroissance soutenable comme solution aux crises économiques et écologiques :

« L'ajout de l'adjectif « *soutenable* » au mot décroissance permet de souligner qu'il s'agit d'un choix assumé, d'une décroissance volontaire, et non pas subie. La décroissance involontaire, la décroissance subie, c'est ce que l'on appelle une récession ou, plus grave, une dépression. Dans une société croissantiste, c'est dramatique. La décroissance soutenable se présente au contraire comme le projet d'une sortie en douceur, d'une sortie contrôlée, de cette course à la croissance dans laquelle nous sommes embarqués. Sous-entendu : la décroissance économique va de toute façon s'imposer, ne serait que pour des raisons écologiques. Il s'agit donc d'anticiper ce choc pour, au minimum en atténuer la violence. » (tiré de Abraham, 2012).

Les appellations « a-croissance » et « après-développement » décrivent aussi bien l'indifférence de cette pensée par rapport à l'économétrie (le PIB), et respectivement son but de bâtir la société à succéder à la société actuelle de consommation et développement. La décroissance est transdisciplinaire. Elle peut ainsi paraître une idéologie hétérogène ou diffuse. Ce fait est généralement considéré comme une faiblesse par la littérature critique (Blanc-Noël, 2010). Néanmoins, ses convictions et préoccupations se résument au noyau d'attitudes sociales énumérées au tableau 4.1. Ces attitudes se retrouvent dans les nombreux ouvrages théoriques et appliquées des pionniers (européens) du mouvement comme Serge Latouche, Paul Ariès, Juan Martinez-Alier, Victor Cheynet, François Schneider, ainsi que chez la nouvelle génération d'intellectuels objecteurs de croissance.

Tableau 4.1 Attitudes sociales de la décroissance

pour la simplicité volontaire	pour la résilience de communautés locales	contre le crédit
contre le marketing et la publicité	contre les marques de statut	contre les loisirs à grande empreinte écologique
contre la mobilité excessive	pour une meilleure qualité des produits	pour la décentralisation de la production
pour la décélération du rythme de la vie	pour l'épanouissement à travers la culture	pour le renforcement de la gouvernance démocratique
pour le revenu universel inconditionnel	pour l'autosuffisance alimentaire	pour la réduction du temps de travail
contre l'extractivisme	pour la redistribution du profit	pour la réduction du métabolisme industriel
pour la coopération et la convivialité	pour l'émancipation en tant que citoyen	pour le plafonnement salarial

À la première vue, ce courant pourrait être perçu comme un retour en arrière. Ce serait une mauvaise interprétation de l'attitude décroissanciste. Si la décroissance fait appel à la conscience écologique populaire et à une certaine nostalgie par rapport à l'organisation économique locale d'antan, ce n'est que pour mettre en valeur les avantages d'une économie de subsistance et de co-production locale et la réduction de la consommation. Ces avantages sont les rapports sociaux beaucoup plus significatifs, l'épanouissement à travers l'intellect, les arts et les lettres, une meilleure santé, longévité, et une meilleure résilience économique et physique de la société moderne.

Souvent, l'idéal de société décroissante se présente dans la littérature comme une utopie (Latouche, 2004). Les philosophes au sein de ce courant ne se gênent pas à l'admettre. Par contre, selon l'idéologie décroissanciste, celle-ci n'est pas plus utopique que la croyance que la croissance continue est possible et qu'elle peut offrir une qualité de vie toujours meilleure par le biais d'une consommation accrue de biens matériels et services. Rien n'empêche l'engagement dans le processus de décroissance pour ses mérites énumérés plus haut, même si la destination peut paraître éloignée, utopique ou imprécise. En effet, la décroissance est aussi une bannière derrière laquelle se rassemblent des disciplines variées pour imaginer et promouvoir des possibilités variées de développement humain qui ne s'appuient pas sur la croissance matérielle. Il n'existe aucune plateforme politique unifiée des objecteurs de croissance et donc ses trajectoires peuvent varier.

La décroissance puise ses convictions dans la constatation que la condition humaine dans la société moderne n'a plus rien à gagner de la poursuite de l'expansion économique. Une image qui se répète dans la littérature décroissanciste est celle de l'employé qui passe 40 heures par semaine au travail pour pouvoir payer une maison et une automobile, qui, eux, sont vides pendant tout ce temps-là. En même temps, le temps dédié à la famille est de plus en plus court.

Ici et là, des exemples isolés de communautés qui s'organisent selon le principe de la décroissance font leur apparition, souvent sans même connaître ce mot. Des villages agricoles de Pérou s'adaptent à la disparition des glaciers aux Andes par une politique de l'eau équitable et le micro-financement des petites entreprises locales (tourisme, élevage). Ces mesures sont prises pour pouvoir envisager une alternative au travail dans les mines à proximité. Aux Maldives, les habitants gèrent avec la hausse du niveau de l'océan et vivent la difficile transformation économique suite aux mesures gouvernementales qui visent d'atteindre la neutralité CO₂ à l'horizon 2020. Ce ne sont que deux exemples de cas où la croissance conventionnelle n'était plus viable (Hirsch, 2017).

4.2 La décroissance comme processus de gestion

Le mouvement de la décroissance considère l'attitude économique néoclassique destructrice. Un lien très clair est fait entre l'impact environnemental engendré par l'économie extractiviste et la demande commerciale incessante de produits et services. Pendant que le développement durable perpétue l'idée de croissance comme solution à la crise environnementale, la décroissance soutenable remarque qu'on ne peut pas solutionner le problème environnemental par plus de croissance.

Selon Latouche (2004, 2009) la transformation sociétale est atteignable selon le cycle itératif « 8R » : Réévaluer–Reconceptualiser–Restructurer–Redistribuer–Relocaliser–Réduire–Réutiliser–Recycler. L'idée de réévaluation réfère à une révolution culturelle. Il est le temps de s'arrêter et réévaluer individuellement et collectivement les valeurs humaines (l'altruisme et la sincérité versus l'individualisme, la satisfaction du travail de qualité versus l'accélération de la production, etc.). La reconceptualisation questionne l'idée préconçue de richesse, de progrès et de développement personnel et appelle à « décoloniser l'imaginaire » de notre société consumériste et ainsi démanteler l'attitude matérialiste en faveur des valeurs relationnelles et de l'entregent. (Le matérialisme est ouvertement perpétué par les milieux académiques et politiques néoclassiques et porté par la puissance du marketing.)

Restructurer et redistribuer réfèrent à la gestion du changement sociétal en fonction des nouvelles valeurs et préférences redéfinies et réaffirmées collectivement : restructurer la production, le travail et la propriété privée, et redistribuer les terres selon leur usage optimal. La redistribution des usages se fera selon l'optimum social et environnemental–non selon la logique du profit. Ce défi comporte un éventail de problèmes de « reconversion » (Ibid, 2009). Le pari de la décroissance est que l'intellect humain saura surmonter les défis de cette restructuration profonde. Elle n'exclut pas des ébauches dans la politique et l'arbitrage de l'État plus tôt ou plus tard dans le sens de la redistribution de la richesse.

Relocaliser la production ainsi que la gouvernance démocratique au niveau local est l'un des impératifs de la décroissance. Il s'agit d'adopter graduellement l'économie d'autoproduction à faible intensité carbonique. Ses avantages sont multiples : réduction de l'impact environnemental, fort esprit de communauté et création d'un réseau interpersonnel, car le travail est intrinsèquement une activité sociale. Ces éléments contribuent à atteindre une société plus saine et résiliente (Ibid, 2009). Les trois *R* suivants sont les mêmes qu'on utilise dans le jargon de la gestion des matières résiduelles, avec l'accent sur la réduction, qui, ici prend aussi le sens de réduction du temps de travail.

4.3 L'argument pour la décroissance soutenable

Du point de vue économique, la décroissance présente un argument en deux temps. Premièrement, une baisse de la consommation matérielle peut engendrer des bénéfices. Moins de consommation signifie moins de production; moins de production signifie moins d'emplois. Par contre, advenant le cas d'une transition planifiée, ceci peut se traduire en une augmentation du temps libre. Ainsi, une combinaison de politiques de redistribution et de partage du travail peut contribuer à créer une société qui travaille moins. Les bénéfices d'une telle société sont évidents : plus de temps pour la famille et les amis, moins de stress et une réduction des coûts alloués à la santé publique (Borowy, 2013; Borowy et Aillon, 2017). En somme, la perte réelle de bien-être suite à une réduction de la consommation sera plus que compensée par une augmentation de la qualité de vie en termes d'appartenance sociale, d'épanouissement et de santé (Kallis, Kerschner et Martinez-Alier, 2012; Alexander, 2012; Nørgård, 2013; Abraham, 2012; Kallis, 2011; Gheorghicã, 2012; Germain, 2017; Jackson, 2017). Cette vue se résume par la célèbre exclamation « Moins de biens, plus de liens, » attribué à Paul Ariès.

Deuxièmement, la croissance devient désavantageuse pour la plupart des membres d'une population au-delà d'un certain revenu. Les penseurs de la décroissance réfèrent souvent aux recherches qui démontrent que plus d'argent ou de biens matériels n'équivaut pas à une meilleure qualité de vie, au contraire (Csikszentmihalyi, 2000; Easterlin et al., 2010). En effet, des indicateurs composites mesurant la qualité de vie existent : l'index de développement humain (HDI), l'indicateur de progrès véritable (IPV) et d'autres. Le PIB demeure un indicateur inadéquat et borné mais très populaire même s'il n'existe aucune corrélation entre la croissance et le bien-être d'une population au-delà d'un seuil minimum de PIB per capita (O'Neill, 2008). De plus, O'Neill montre qu'une redéfinition du concept de bien-être est effectivement faisable en pratique. Plus encore, Stiglitz (2012) remarque que les États-Unis s'efforcent assidûment de livrer la précieuse croissance pour à peine maintenir un revenu réel et une qualité de vie stagnants. Simultanément, l'inégalité augmente (Ibid, 2012).

D'ailleurs, la problématique de l'inégalité croissante est un argument principal de la décroissance. (Cette problématique n'est pas seulement décriée par les objecteurs de croissance. Elle est aussi contestée par la société civile en général, par les groupes de travailleurs, par les altermondialistes, par les écologistes et autres.) À cet effet, Piketty, Saez et Zucman (2017) présentent la plus tranchante étude statistique récente, publiée par le National Bureau of Economic Research, aux États-Unis. Leur enquête sur l'évolution du revenu américain entre 1980 et 2014 se synthétise à la figure 4.1.

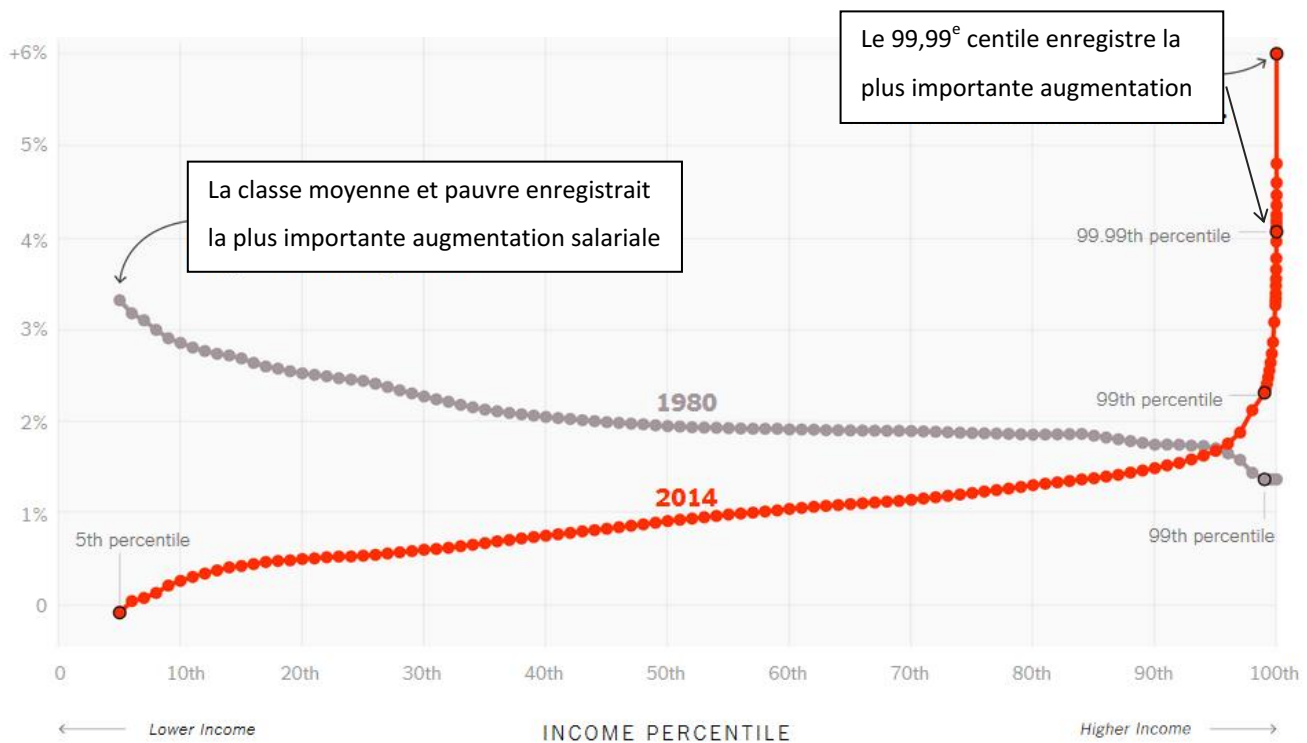


Figure 4.1 L'évolution du revenu national aux États-Unis (tiré de Piketty, Saez et Zucman, 2017)

Le graphique compare l'augmentation du revenu national pour chaque centile de revenu. En 1980, les plus favorisés par la croissance économique étaient les plus pauvres. La situation est renversée en 2014, où 60 centiles enregistrent une augmentation salariale de moins de 1 % par année, tandis que le 99,99^e centile enregistre des augmentations de revenu allant jusqu'à 6 % par année. Ainsi, l'argument social est clairement en défaveur de la croissance économique telle qu'on la connaît aujourd'hui.

Enfin, la décroissance est moins pertinente pour les pays dites « sous-développées » qui n'ont pas atteint un minimum de qualité de vie. Pour ces pays, le défi sera plutôt d'éviter de se commettre à un développement selon un modèle non-soutenable. En effet, la décroissance est très explicite par rapport à la redistribution de richesse entre le Nord développé et le tiers-monde du Sud. Si on était à redéfinir le sens du mot « développement », la décroissance envisagerait deux trajectoires différentes pour le Nord et pour le Sud : l'évolution décroissante ou « à la baisse » au Nord et respectivement, dans le sens contraire « à la hausse » pour le Sud (Borowy, 2013) tout en gardant à l'esprit que ce n'est pas le PIB qui nous intéresse mais plutôt la dynamique entre la qualité de vie et l'empreinte écologique qui s'y associe. Seulement dans cette optique on peut considérer que tous les États du monde sont des entités « en voie de développement » (Idem, 2013).

4.4 L'économie décroissante

L'économie décroissante tend vers l'allocation optimale des ressources matérielles, de l'énergie, du temps de travail et de la pollution afin de maximiser la qualité de vie humaine et s'encadrer dans les limites biophysiques. Ainsi, les attitudes énumérées au tableau 4.1 se concrétisent dans un éventail multi-facettes synthétisé au tableau 4.2. Ce tableau ne résume que les propositions principales de la décroissance soutenable. Il s'inspire entre autres des éditions spéciales dédiées à ce sujet par les périodiques académiques *Ecological Economics*, (volume 84, 2012), *Journal of Cleaner Production*, (volume 38, 2013) et *Journal of Political Ecology*, (volume 24, 2017), et sur l'analyse publiée par Cosme, Santos et O'Neill (2017). Des concepts et domaines connexes comme la justice environnementale, l'anti-utilitarisme et l'éco-féminisme ne sont pas inclus dans ce tableau.

L'économie décroissante implique un monde très différent du monde actuel. Des nouvelles formes de propriété et des stratégies de gestion des ressources matérielles et énergétiques sont nécessaires. Une distinction est faite entre le travail formel (conventionnel) et le travail coopératif (convivial). Ce travail non-rémunéré (dont l'importance est négligée par l'économie capitaliste) est encouragé (cuisiner, prendre soin de ses proches, le volontariat, etc.). L'offre de travail devra être balancée contre la disponibilité de l'énergie pour minimiser l'intensité énergétique de la production. Le revenu universel (une forme de redistribution) serait financé par une taxe sur la production conventionnelle.

En ce qui concerne l'application des politiques présentées au tableau 4.2, la littérature est divisée entre deux approches. Cette division est plus évidente dans le cas du débat autour de la stratégie de réduction des émissions de CO₂. Kallis et d'autres favorisent une approche volontaire et participative qui implique un travail de fond de longue haleine. Ce travail significatif consiste à créer la force sociale à implanter le style de vie et les valeurs promues par la décroissance à grande échelle (métropoles, régions, etc.). D'autre part, Baranzini, van den Bergh et d'autres préfèrent l'intervention étatique pour l'implantation formelle du prix du carbone comme instrument coercitif de haut en bas (soit par une taxe ou par le système de plafonnement et l'échange de permis d'émission).

L'attitude de la décroissance face à la technologie est favorable dans la mesure qu'elle aide à l'implantation et la gestion des propositions présentées au tableau 4.2. Les technologies réduisant l'impact environnemental et la recherche scientifique (santé, biologie, agriculture, etc.) sont encouragées avec la mention explicite que l'intellect humain prime sur la technologie, et qu'on ne devrait pas se remettre à la technologie seule pour la résolution des problèmes environnementaux.

Tableau 4.2 Propositions centrales de l'économie décroissante

Politique ou instrument de gestion	Objectif
<p>Nouvelles formes de propriété</p> <ul style="list-style-type: none"> • restreindre la durée et la portée de la propriété foncière • gérer localement les entreprises/coopératives de production. <p>(van Griethuysen, 2012; Johannisova, Crabtree et Fraňková, 2013; Creutzig, 2017.)</p>	<p>redistribution équitable réduire l'empreinte CO₂</p>
<p>Nouveau cadre pour l'utilisation des ressources</p> <ul style="list-style-type: none"> • plafonner et taxer l'extraction à la source • promouvoir le renouvelable et le dessaisissement de l'énergie fossile • promouvoir les clauses sociales et environnementales dans les accords de libre-échange international. <p>(Latouche, 2009; Martinez-Alier, 2009; Røpke, 2013; Cooper et Gutowski, 2015.)</p>	<p>diminuer la consommation réduire l'empreinte CO₂</p>
<p>Partage du travail</p> <ul style="list-style-type: none"> • stratégies de gestion au cas où il y aura moins de travail disponible (due à la réduction de la consommation) • stratégies de gestion advenant une augmentation du travail (due à la rareté de l'énergie « après-pétrole ») • garantir l'emploi et/ou le revenu universel inconditionnel • échanger du travail non-rémunéré, banques de temps, mercredi férié. <p>(van den Bergh, 2009; Alexander, 2012; Sorman et Gianpietro, 2013; Klitgaard et Krall, 2012; Foster, 2017; McGuirk, 2017.)</p>	<p>redistribution équitable découplage entre l'offre d'emploi et l'économie</p>
<p>Publicité éthique</p> <ul style="list-style-type: none"> • appliquer des contrôles sur la publicité <p>(Garver, 2013; Black, Shaw et Trebeck, 2017.)</p>	<p>diminuer la consommation</p>
<p>Plafonnement, taxation et/ou distribution des émissions de CO₂</p> <ul style="list-style-type: none"> • distribuer les droits d'émission globalement sur base égale per capita • système d'échange international de permis d'émissions • favoriser la décroissance par un coût croissant du carbone. <p>(Kallis, 2011; Douthwaite, 2012; Victor, 2012; Baranzini et al., 2016.)</p>	<p>réduire l'empreinte CO₂</p>
<p>Nouvelles formes d'espaces de vie</p> <ul style="list-style-type: none"> • écovillages, jardins et automobiles partagés, plus de places publiques • encourager l'efficacité agricole (joule entrant par calorie) <p>(Carlsson et Manning, 2010; Lietaert, 2010.)</p>	<p>réduire l'empreinte CO₂ catalyser la convivialité</p>
<p>Monnaie locale et zéro-intérêt</p> <ul style="list-style-type: none"> • échanger contre une devise locale à valeur garantie en kWh • décourager l'accumulation du capital. <p>(Douthwaite, 2012; Dittmer, 2013.)</p>	<p>redistribution équitable</p>

Les alternatives d'organisation économique et sociale présentés au tableau 4.2 sont à prendre une par une et à intégrer à une espace de vie existant, ou à adopter plusieurs à la fois selon l'applicabilité et les synergies possibles. Un accent est mis sur les circuits économiques très courts. L'économie locale crée une indépendance matérielle tandis que le travail coopératif et convivial assure le maintien des liens humains et de la résilience sociale.

La décroissance semble ambivalente par rapport à l'importance accordée au rôle de l'État. Plusieurs mesures poursuivent une certaine indépendance par rapport à l'implication de l'État (espaces de vie partagés, monnaie locale, échanges de travail) tandis que la plupart de mesures illustrées ne sont pas atteignables que par le pouvoir ainsi que le leadership de l'État (guidé par la société civile) en ce qui a trait aux politiques fiscales, la réglementation et la communication citoyenne.

Ces propositions se basent sur un diagnostic bien réfléchi à l'endroit de l'ordre socio-économique actuel, et constituent des réponses aux causes-racine de la non-soutenabilité du système moderne. La liste présentée au tableau 4.2 n'est pas un programme fixe et ne peut pas s'appliquer de manière uniforme partout. Ce ne sont que des alternatives. La décroissance prend différentes formes dépendant de la communauté ou le pays. Toute orientation vers l'économie décroissante a la liberté de Restructurer et Redistribuer, selon la méthode de Latouche et selon les spécificités de chaque population. D'ailleurs, un sujet de débat est l'utilisation même du mot décroissance, versus son pluriel. Étant donné l'éventail de possibilités, l'appellation *décroissances* est également adéquate. D'Alisa, Demaria et Kallis (2015) font la remarque que la décroissance est loin d'une doctrine décidé ou fermé. Elle est plutôt exploratoire.

Peu importe le nom, la décroissance et ses alternatives « n'ont rien à faire avec le verdissement des techniques existantes, ni avec une simple redistribution plus équitable pour assurer l'accès de tous à la même quantité de biens et services » (Idem, 2015). La décroissance est réellement un nouveau paradigme : consommer moins, beaucoup moins. L'un des défis actuels de la décroissance est de rester fidèle à ses propositions initiales et ne pas diluer son message. Une dénaturation du message original décroissanciste serait équivalente à proposer la même impossible conciliation croissance–empreinte écologique de style gagnant-gagnant popularisé par le courant du développement durable (Idem, 2015).

Le rapprochement de l'économie stationnaire, selon les alternatives proposées par les objecteurs de croissance constitue le but. Selon Demaria (2016), la politique est la « procédure » pour y arriver, d'où l'importance de gagner la visibilité nécessaire pour justifier publiquement la contestation du paradigme de croissance. D'ailleurs, dans ce sens, des signes positifs existent. La décroissance est présentement

débatte dans au moins un parlement européen (Burton, 2017), et semble sortir de l'obscurité en Amérique du Nord. Dans son article publié dans *The New York Times*, l'économiste-journaliste Paul Krugman (2014) qualifie le point de vue de la décroissance comme un point de vue marginal dans la lutte contre les changements climatiques, mais suffisamment répandu et impossible de négliger. Le reportage *The Degrowth Paradigm* diffusé sur les ondes de CBC Radio (2013) va dans le même sens. Plus récemment, le journal *Le Devoir* fait la revue du livre de Biagini, Murray et Thiesset (2017), *Aux origines de la décroissance—cinquante penseurs* (Lapierre, 2017). *Le Devoir* publie souvent des articles au sujet de la décroissance. Les conventions organisées par le réseau international de la décroissance depuis 2008 (dont une à Montréal) contribuent aussi à l'objectif de communication et d'affirmation sur la place publique. Plusieurs écovillages à travers le monde remplissent eux-mêmes une fonction d'éducation en accueillant des touristes, des curieux et des citoyens désireux d'apprendre et d'expérimenter la simplicité volontaire.

L'expression ultime de l'application des principes de la décroissance se retrouve dans les écovillages du monde entier. Leur nombre dépasse une centaine (Global Écovillage Network, 2017). Ces habitats intentionnels conçus selon des principes de soutenabilité sociale, culturelle, écologique et économique minimisent la consommation matérielle et l'impact environnemental. Ses habitants (allant de 30 jusqu'à des centaines) pratiquent la gestion collective des ressources locales, la permaculture, la construction écologique et la démocratie participative. Le partage du travail se fait entre les membres. Le logement est auto-construit ou offert contre un loyer très modique (20-25 heures de travail par mois). Chaque écovillage a sa spécificité propre. Les écovillages de l'Andalousie et de l'Inde ne nécessitent pas de l'énergie pour le chauffage, tandis que ceux de l'Écosse, des États-Unis et ceux scandinaves produisent suffisamment d'énergie renouvelable pour subvenir à leurs besoins énergétiques. Certains écovillages s'unissent par une spiritualité, une vision politique ou une foi commune; d'autres non. Dans l'écovillage, la vie en dehors du travail peut inclure du temps passé à la piscine, au bar, dans la salle de yoga, dans la bibliothèque, etc. (Ibid, 2017). L'éducation des jeunes est soit alternative soit conventionnelle.

L'écovillage subsiste à ses besoins de manière indépendante. Son but est d'éviter le plus possible l'aide gouvernementale ou municipale. Si les écovillages représentent une concrétisation soutenable des principes de la décroissance, cela ne prétend pas que la société entière devrait tendre vers la structure économique et sociale de l'écovillage. En effet, une des préoccupations principales des chercheurs objecteurs de croissance est l'application de la décroissance soutenable en milieu urbain et à grande échelle.

4.5 Mesurer le progrès d'une nation

Comme tout projet, la décroissance se doit d'avoir des indicateurs d'avancement. Le projet décroissance constitue un parcours vers l'économie stationnaire de Daly (section 1.5). Personne ne défend une décroissance à perpétuité. Comme illustré auparavant, le but n'est pas de simplement faire baisser le PIB mais plutôt de créer les conditions sociales et politiques où l'existence frugale matériellement mais riche humainement fera en sorte que celui-ci devienne un indicateur obsolète. Le problème à mesurer le progrès véritable d'une nation réside justement dans la complexité que le PIB ne peut pas capter. Plusieurs études récentes abordent les difficultés à trouver des bons indicateurs applicables dans un contexte de décroissance soutenable et proposent des solutions en ce sens.

La décroissance promet une augmentation de la qualité de vie et du bien-être, deux concepts distincts. Koch, Buch-Hansen et Fritz, (2017) pointent au fait que le bien-être auto-déclaré est subjectif et relatif. Pour ces raisons, celui-ci ne peut pas être considéré comme un indicateur adéquat. Ils proposent plutôt d'utiliser la qualité de vie comme indicateur quantitatif de la réalisation des besoins humains. Selon eux, la qualité de vie se traduit par l'atteinte des éléments suivants : accès à l'alimentation, à l'eau, logement, travail non-dangereux, services de santé, sécurité physique, relations primaires significatives, accès à des moyens de contraception sécuritaires et à l'éducation de base (Ibid, 2017). Une qualité de vie ainsi définie comporte plusieurs avantages car les besoins humains sont applicables universellement. Ceux-ci ne changent pas avec le temps ou à travers les cultures, et ne sont pas négociables. Les auteurs notent qu'en général la qualité de vie et le bien-être sont élevés dans les pays ayant une haute empreinte écologique et bas dans les pays ayant une empreinte réduite.

O'Neill (2015b) offre la première analyse empirique quantifiant la proximité de 180 États par rapport à l'économie stationnaire. Il agrège des multiples indicateurs de qualité de vie ainsi que des indicateurs économiques et écologiques pour déterminer le rapprochement, ou, au contraire, l'éloignement de l'état stationnaire. Son analyse intègre les indicateurs suivants : bien-être, espérance de vie, égalité (coefficient Gini), démocratie, taux du chômage, taux de l'inflation, pauvreté, nombre d'heures travaillées annuellement, population totale, quantité de bétail, capital immobilier, taux d'extraction (biomasse, minerais et énergie fossile), consommation d'énergie, taux annuel d'émissions de CO₂ et l'empreinte écologique. O'Neill (2015b) rappelle l'idée de Daly selon laquelle l'économie stationnaire est celle qui maintient une consommation matérielle basse et constante pour s'encadrer dans ses limites biophysiques. (Les exutoires naturels absorbent donc toute la pollution, dans un équilibre dynamique).

Selon la méthode d’O’Neill (2015b) aucun pays n’atteint l’économie stationnaire. Il identifie néanmoins ceux qui se rapprochent le plus : la Colombie, le Cuba, le Kirgizstan, la Roumanie et l’Afrique du Sud. Dans la période de 1997 à 2007 la consommation de ressources est demeurée constante dans plusieurs pays : le Danemark, la France, le Japon, la Pologne, la Roumanie et les États-Unis. Quatre pays connaissent une contraction de la consommation matérielle : l’Allemagne, le Guyana, la Moldavie et le Zimbabwe. Les États se situant le plus loin de l’état stationnaire sont relativement pauvres, en voie de développement : le Turkménistan, le Vietnam et l’Angola. Leurs caractéristiques sont une croissance physique rapide et une capacité naturelle insuffisante d’assimilation de la pollution. De plus, pour ceux-ci, la croissance ne se traduit pas par une meilleure qualité de vie (Idem, 2015b).

La même étude définit la performance sociale d’un État comme sa capacité à offrir une qualité de vie satisfaisante à ses citoyens. O’Neill remarque sans surprise que la performance sociale est supérieure dans les pays à grande consommation de ressources matérielles. Ce qui est plus intéressant, la performance sociale des pays à consommation stable est supérieure aux pays dont la consommation évolue à la baisse ou à la hausse. Cette dernière découverte semble confirmer que l’état stationnaire est soutenable socialement. (Ibid, 2015b)

Enfin, Peter Victor (2012) de l’Université York étudie le taux d’émission de CO₂ comme indicateur dans un contexte de décroissance soutenable pour le Canada. Son modèle macroéconomique simule le scénario où l’économie connaît une croissance-zéro et respectivement une décroissance selon les paramètres résumés dans le tableau 4.3. Il explicite le fait qu’une telle décroissance n’est qu’une période de transition vers l’état stationnaire. Il compare ces scénarios à une économie canadienne dont l’évolution et les émissions de CO₂ sont non-contrôlées (BAU).

Tableau 4.3 Paramètres d’une trajectoire décroissante pour le Canada (adapté de Victor, 2012)

Paramètres implantés graduellement jusqu’en 2035
<ul style="list-style-type: none"> • Le PIB/capita atteint un niveau semblable à celui de 1976. Ceci est beaucoup plus petit que le revenu actuel mais cinq fois plus élevé que le revenu moyen global uniformisé requis pour assurer l’atteinte de l’objectif de soutenabilité de 2°C. (Victor considère ceci un modeste objectif intermédiaire.)
<ul style="list-style-type: none"> • La taxe carbone augmente jusqu’à 550 \$US/tonne de carbone émis. (\$US 2010).
<ul style="list-style-type: none"> • La population demeure constante au niveau de 2010.
<ul style="list-style-type: none"> • La trajectoire calibrée pour respecter une juste empreinte carbonique canadienne au niveau global.

Les hypothèses de Victor sont audacieuses. La perspective d'un PIB/capita semblable à ce qu'il était en 1976 n'est pas facilement vendable. Pourtant, même un tel PIB/capita n'est qu'un objectif intermédiaire. L'objectif final serait la parité avec le revenu moyen global uniformisé. La taxe qu'il préconise en 2035 est de dix fois plus élevée que le prix courant du carbone aux enchères du système de plafonnement Québec-Californie (MDDELCC, 2017).

Victor remarque que dans le cas de la croissance-zéro les émissions de CO₂ en 2035 seraient 22 % de moins qu'en 2005, tandis qu'avec la décroissance soutenable celles-ci seraient 78 % de moins que dans le scénario BAU. De plus, le nombre d'heures travaillées annuellement devrait baisser de 15 % dans le scénario zéro-croissance et de 75 % dans le scénario décroissant (pour assurer le plein emploi de la population). Dans le scénario décroissant, les dépenses gouvernementales pour les services de santé sont réduites à un quart du BAU. Ces résultats démontrent les différences dramatiques entre la société décroissante esquissée par Victor (et d'autres objecteurs de croissance) et le statu quo. En même temps, les bénéfices en termes de réduction de l'empreinte carbonique sont énormes.

Comme Victor propose, étant donné l'ampleur du problème que posent les changements climatiques, il ne serait peut-être pas trop simpliste d'utiliser comme indicateur d'avancement pur et simple l'intensité carbonique d'une nation en termes de CO₂ réel per capita. (Incluant les émissions encourues outre-mer pour la fabrication de produits importés). Un tel indicateur a l'avantage d'être facile à comparer et englobe automatiquement l'élément d'équité par rapport aux autres émetteurs.

Pour réitérer, les objecteurs de croissance préconisent une transition volontaire et démocratique à l'état stationnaire. Les vertus d'une telle transition sont plus intéressantes que l'alternative : l'éco-dictature. Si le mouvement social ou la collaboration internationale peuvent faire éviter la catastrophe écologique restent des questions ouvertes. Par contre, il est possible qu'à un moment donné ce soit trop tard pour une transition démocratique. N'excluons pas le fait que par l'initiation de la démarche de décroissance, la qualité de vie des pays surdéveloppés pourrait souffrir temporairement. Il serait difficile d'envisager un scénario où la qualité de vie du nord-américain moyen ne sera pas affectée au stage initial.

La décroissance, ainsi que toute approche de tarification ou de répartition du budget global de CO₂ au niveau national, aussi sophistiquée et équitable soit-elle se heurte au réalisme politique et automatiquement au biais que constitue le phénomène du « *free-riding* ». Ces deux problèmes d'actualité sont survolés dans les sections suivantes.

4.6 Le réalisme politique

Le réalisme politique domine les relations internationales. Ce paradigme est fondé sur trois hypothèses. Premièrement, les États nationaux sont les principaux agents du système international. Seuls les États ont la légitimité d'exercer l'autorité à l'intérieur de leurs frontières. Deuxièmement, les États interagissent dans un espace politique anarchique, par manque d'autorité supranationale ferme. Toutes les institutions internationales reconnaissent la souveraineté des États comme principe absolu et en conséquence n'ont pas la même légitimité d'action que ces États. Troisièmement, tous les États cherchent à maximiser leur pouvoir par action unilatérale, souvent au détriment de la collaboration mutuellement avantageuse. (Dunne et Schmidt, 2014; Pearson, 2015). Le droit international et plus particulièrement la Convention de Vienne de 1969 vont dans le même sens. Ceux-ci ont entériné le droit fondamental d'un État à choisir à coopérer ou non sur une question d'intérêt international.

Cette vision de l'ordre (ou du désordre) international affecte la manière dont les États abordent les problèmes environnementaux actuels. Selon le paradigme réaliste, les menaces à la sécurité d'un État émanent d'autres États. Dans le contexte des changements climatiques, la menace émane aussi de la nature. Selon la vision réaliste (réalisme néoclassique, réalisme classique, etc.), la coopération est considérée habituellement avec beaucoup de retenue par les États.

« Ainsi, qu'il s'agisse du climat, des ressources génétiques, de la pêche, du bois ou des minerais, la sécurité environnementale renvoie en premier lieu à la rencontre d'intérêts nationaux. Les différentes conférences des parties sur le changement climatique (COP) montrent bien qu'au-delà du cadrage scientifique du problème, les négociations climatiques relèvent avant tout de la *realpolitik* et se conjuguent d'abord en fonction de l'intérêt des États à coopérer » (Morin et Orsini, 2015).

La menace du réchauffement n'a pas été abordée avec une réelle attitude constructiviste. Les Conférences de Copenhague (2009) et de Paris (2015) se sont soldées avec des engagements volontaires par manque d'entente ou compromis envers de réductions réglementées. Ceci reflète justement le réalisme sous-jacent au processus de négociation (ou le refus de négocier). Les États ont la tendance à éviter des engagements climatiques qui ajoutent des difficultés à l'atteinte d'autres objectifs nationaux immédiats. Le Protocole de Kyoto a été le seul accord international stipulant des réductions réglementées, aussi modestes soient-elles. Malheureusement, les États-Unis et le Canada se sont ultérieurement retirés, une à la suite de l'autre, par réalisme politique. Le Protocole a expiré en 2012 sans successeur. Les accords internationaux climatiques sont essentiellement non-contraignants donc les limites climatiques ne s'opérationnalisent pas de manière efficace à travers ceux-ci.

4.7 Le problème du « *free-riding* » dans les relations internationales

Le *free-riding* se produit lorsqu'un État bénéficie d'un avantage sans avoir contribué à sa réalisation. Les tentatives d'accords sur le problème climatique reflètent ce phénomène. La dilution du retour sur investissement est sa raison principale. Le bénéfice d'investir localement dans des stratégies de réduction de gaz à effet de serre se répartit aux États à l'extérieur des frontières de l'investisseur. Donc une fois que le bénéfice se divise à 7,55 milliards d'habitants, le retour sur investissement pour l'État qui investit devient infime. De plus, ce bénéfice n'est pas immédiat.

Le bénéfice n'est pas immédiat à cause de l'énorme inertie du système climatique. Sterner (2015) décrit le réchauffement climatique comme un camion qui prend une heure pour freiner jusqu'à s'immobiliser, sauf que dans le cas du système climatique, le temps de freinage est d'un siècle. Ceci signifie que tout retour sur investissement ne sera cumulé que par les générations futures. De plus, le bénéfice est moins tangible que dans le cas des efforts de réduction d'oxyde de soufre ou d'azote pour contrer les pluies acides. L'élimination des pluies acides dans les années quatre-vingt a été beaucoup plus efficace car le retour sur investissement a été rapide et localement tangible.

Une parenthèse est nécessaire pour comparer l'insuccès relatif des négociations climatiques (Protocole de Kyoto, la Conférence de Copenhague et l'Accord de Paris) versus le succès du Protocole de Montréal. Ce dernier a le but de stopper la perte de la couche d'ozone. La principale raison qui explique la vaste disparité entre ces deux régimes environnementaux est le financement. Les coûts estimés des efforts de réduction de CO₂ sont de trois ordres de magnitude plus élevés (Purdon, 2014). Ce coût et le réalisme politique expliquent l'inefficacité des négociations climatiques (débutées il y a plus de trente ans).

William Nordhaus de l'Université Yale avance une solution novatrice pour contrer de manière efficace le penchant vers le *free-riding*. Il propose un mécanisme incitatif pour remplacer les accords climatiques actuels : le « club climatique » (Nordhaus, 2015a,b). Cette proposition se base sur les travaux théoriques de Barrett (1994) et de Carraro et Siniscalco (1998). Le club est un groupe d'États enthousiastes à investir dans la lutte contre les changements climatiques. Les membres de ce groupe volontaire font des investissements significatifs dans cette direction, se partagent les coûts, et payent des frais d'adhésion. L'adhésion au club implique l'implantation de mesures et politiques de réduction, incluant, entre autres, la tarification du carbone par un coût-plancher à la tonne de CO₂. Ce type d'organisation s'inspire des alliances militaires et commerciales existantes. Ses membres bénéficient suffisamment par l'adhésion au club pour accepter ses règles.

Le club climatique impose des pénalités aux non-membres. Ceci est une caractéristique centrale du club. Ces pénalités peuvent prendre la forme d'un tarif d'importation sur les produits en provenance de non-membres. Le tarif est ensuite réinvesti dans des projets de réduction du CO₂ à l'intérieur et à l'extérieur du club. Dans les conditions optimales, un État non-membre aura plus de bénéfice à se joindre au club que de subir des pertes commerciales pour la non-participation. Cette forme de gouvernance ne lutte pas contre le réalisme politique. Le vecteur unificateur de ce type d'organisation est le même réalisme politique et l'intérêt national sous-jacent. Étant donné que la lutte effective aux changements climatiques signifie pratiquement décroissance économique, comme illustré au chapitre précédent, le concept de club climatique mènerait les États à négocier de manière multilatérale leur décroissance économique pour stopper le réchauffement climatique. De ce point de vue, la décroissance économique ressemble au processus de démilitarisation multilatérale (vis-à-vis du risque de guerre). En effet, ceci est contre la nature même de l'État, car la plupart des États se trouvent dans une course à la puissance économique et celle militaire.

L'idée de Nordhaus est peut-être le futur de la politique climatique. La description du club climatique est sommaire et même l'auteur admet que le concept est hautement idéalisé et frôle l'utopique (Nordhaus, 2015b). Certes, un club climatique n'est pas si simple à démarrer. Par contre, les alternatives sont soit inefficaces soit risquées, car les accords climatiques internationaux et respectivement la technologie de captage et stockage du CO₂ ne représentent pas des solutions fiables en ce moment. (En lien avec le réalisme politique et la gouvernance, Vogler (2010) propose des moyens pour l'institutionnalisation de la confiance diplomatique dans le régime climatique international.)

4.8 Un défi de communication

Changer le paradigme en faveur de la décroissance soutenable nécessite un effort multidisciplinaire. La transformation proposée par la décroissance est avant tout un changement social. Néanmoins, afin de pouvoir interrompre le statu quo, l'application à plus grande échelle nécessitera des incursions dans les domaines de la politique, de l'économie, de l'éducation, et généralement un effort important de communication. Le changement implique la décolonisation de l'imaginaire social (Latouche, 2004). Ceci passe par une meilleure conscientisation collective concernant les limites du processus économique et un aiguisage du discours décroissant par rapport à la consommation, la publicité, le travail et le concept de qualité de vie. Paradoxalement, selon Rees (2014), l'effort de communication que ceci implique est « une grande campagne de marketing, » contre la consommation matérielle.

En effet, comme Blanc-Noël (2010) le remarque, une grande partie de la littérature décroissanciste est purement normative et donc moins efficace à générer le changement. Une meilleure articulation du discours de la décroissance soutenable s'impose, spécialement par rapport au problème climatique, qui constitue présentement le plus important enjeu environnemental. Les États nationaux ont d'autres pressions que l'évidence scientifique. Donc, il incombe au réseau international d'intellectuels, climatologues, ingénieurs et économistes reformés de vulgariser le message de la décroissance qui est à la première vue dérangeant et tabou.

Les pistes de solution abondent en ce sens. Peter Gluckman, le conseiller scientifique du Gouvernement de la Nouvelle Zélande propose la création d'une fonction inédite au sein de l'administration publique : la fonction de courtier scientifique. La responsabilité de ce poste serait de faire le lien entre la communauté scientifique et le public et assurer la dissémination de l'information scientifique et la communication à deux sens. Il s'agit d'un intermédiaire neutre, équipé pour vulgariser, contextualiser et, le plus important, de-politiser l'information scientifique. (Radio-Canada, 2017).

Sur le même sujet, Morin et Oberthür (2012) indiquent que la politique ne devrait certainement pas être subordonnée à l'expertise scientifique. La méthode scientifique (et le processus de revue par les pairs) ne peut pas arbitrer des questions d'éthique, des questions relatives à la tolérance au risque, la différenciation entre les objectifs sociaux immédiats versus le long terme, et la distribution équitable de coûts d'atténuation. Seulement la politique possède cette habilité. Ainsi, ils proposent un modèle de coproduction de la connaissance scientifique où la recherche scientifique et les négociations internationales interagissent continuellement. L'agenda de l'une oriente l'agenda de l'autre. En même temps, l'interaction à travers des interfaces efficaces devrait favoriser une meilleure interprétation des marges d'erreur inhérentes à la science, spécialement la science climatique.

Comme illustré auparavant, la décroissance soutenable prône une empreinte carbone minimale. Le travail du réseau multidisciplinaire de professionnels et activistes affiliés explicitement ou non au mouvement de la décroissance consiste à communiquer de manière efficace et de poser les gestes appropriés pour encourager ce style de vie. Ceci peut devenir également la responsabilité des institutions étatiques. Les actions les plus efficaces dans ce sens sont celles qui visent les styles de vie à plus haute empreinte carbone. Selon la règle de Pareto, 20 % des causes-racine génèrent approximativement 80 % des problèmes. Cette règle-du-pouce nous indique en effet que pour obtenir le meilleur retour sur l'effort, il est conseillé d'aborder le segment du 20 % qui génère le plus le problème qu'on veut résoudre. Les efforts

de communication et les incitatifs devraient donc influencer davantage les membres de la société qui se trouvent dans le segment du 20 % des styles de vie les plus polluants. Les habitudes de vie à haute empreinte carbone sont à identifier par le dialogue social et par des statistiques fiables, mais il ne serait pas trop aventureux d'en nommer plusieurs : le transit excessif par automobile individuel, l'emploi excessif du transport aérien, l'usage d'appareils et machines énergivores, ou encore la propriété de surfaces habitables non-habitées.

Toute démarche devra s'appuyer explicitement sur des principes scientifiques et surtout éviter un ton négatif. Le défi de communication, que ce soit relevé par les objecteurs croissance, par les écologistes ou autres, devra d'une manière ou autre reprendre le message réitéré par Naomi Klein (2014) : il ne reste plus de solutions non-radicales au problème climatique. Elle rappelle la capacité de mobilisation populaire en situation de crise, comme pendant la Seconde Guerre mondiale. Elle souligne le fait que pendant ces temps, les limitations au confort personnel de millions de personnes ont été justifiées par l'État sur une base d'équité. Aussi longtemps que tous étaient appelés à réduire leur consommation de carburant, métaux et autres ressources dans la même mesure, l'acceptabilité sociale était au rendez-vous. De même, la communication publique et l'implantation de solutions radicales pour lutter contre le réchauffement climatique ne peut se faire que sur une base d'équité et de justice sociale.

Finalement, l'un des plus importants arguments en faveur de la croissance économique est l'argument selon lequel la croissance est nécessaire pour maintenir l'offre de travail (Huetting, 2010). En contre-argument, le discours de la décroissance par rapport à l'offre et au partage du travail dans une société post-croissance doit être davantage soutenu par des recherches empiriques. Ainsi, la promesse de la réduction du temps de travail dans un monde décroissant devient ultimement l'aspect qui peut faire tout gagner ou tout perdre pour le projet de décroissance. En effet, il serait justifié d'argumenter que dans une économie où la plupart de la production (agricole et autre) sera locale et où l'utilisation du moteur à combustion interne et du charbon sera quasiment éliminée, la société aura à livrer davantage d'heures de travail physique pour se substituer à l'énergie fossile. Ainsi, il devient vital de se pencher sur la question du travail. Dans quelles conditions la société post-croissance travaillera-elle effectivement moins que dans le cadre de l'économie de croissance? Enfin, après avoir défini ces conditions, est-ce que la décroissance soutenable est réalisable à grande échelle en temps utile? Des études empiriques en cours par rapport à ces questions sauront éclaircir ces aspects (Cojocar, sous presse; Sekulova, Anguelovski, Argüelles et Conill., sous presse).

CONCLUSION

Le processus économique moderne est inéluctablement entropique, dissipatif, carbonique, consomme des précieuses ressources non-renouvelables et périclité des processus biologiques vitaux pour la survie et le développement humain. La réalisation que la croissance matérielle de l'économie a ses limites dans un Système Terre non-infini est plus d'actualité que jamais. Mais l'économie actuelle est conçue pour littéralement grossir continuellement—voici la problématique de fond de l'essai.

Dans le premier chapitre, les lois de la thermodynamique ont été mises en vedette. Celles-ci montrent pourquoi la physique ne permet pas un recyclage complet ni de l'énergie ni de la matière. Ces deux intrants sont en continuelle détérioration. L'entropie de l'énergie peut être palliée par l'influx continu d'énergie renouvelable; mais l'entropie de la matière est irrésoluble. Ainsi, l'économie ne peut pas être analysée séparément du reste du Système Terre. L'économie stationnaire propose des limites au flux de la matière par des moyens de gestion faisant appel à la comptabilité de flux et à des instruments réglementaires étatiques, autre que le marché libre.

Le deuxième chapitre réunit les plus influents auteurs et leurs argumentaires pour illustrer comment l'économie est assujettie à des multiples limitations fonctionnelles (biophysiques). Ces limites émanent de la finitude des ressources naturelles comme les minerais, l'atmosphère, les terres arables, l'eau, les exutoires naturelles et autres. La pensée systémique postule qu'une boucle non-balancée peut amener un système à l'effondrement. Le Rapport Meadows établit que la croissance économique est non-balancée donc elle mène hors de tout doute à l'effondrement du système. La modélisation informatique permet d'identifier des trajectoires non-soutenables et informer les décisions du futur. Selon le modèle Meadows et le rapport de Rockström et al. (2009) le Système Terre est en effet sur une trajectoire non-soutenable, car plusieurs processus biophysiques sont déjà en dépassement.

Les lois de la nature se reflètent dans les limites biophysiques. L'attitude humaine (scientifiques, public, décideurs) face à celles-ci façonne l'action ou l'inaction. L'optimisme et le pessimisme technologique proposent des pistes d'action très différentes. L'économie écologique recommande la précaution. Celle-ci se traduit au niveau de la gestion par le pessimisme technologique plutôt que par l'optimisme. Il est ensuite démontré pourquoi la courbe environnementale de Kuznets et l'économie verte sont des modèles inadéquats pour garantir la soutenabilité. Ni l'un ni l'autre ne constituent une réconciliation viable croissance–empreinte environnementale. Le processus économique (la production) est en effet directement lié à la perpétuation de la tragédie de biens communs dans les temps contemporains.

Le troisième chapitre a examiné le conflit économie–stabilité climatique. Les politiques climatiques adoptées par la CCNUCC, l’OCDE, la Banque Mondiale et d’autres institutions, ainsi que par la majorité des États nationaux sont cohérents avec un réchauffement climatique d’au moins 3,2°C, avec une possibilité sur dix qu’il atteigne 6°C. Le paradigme du progrès et le réalisme politique se reflètent dans la gestion hésitante du CCNUCC qui insiste sur conciliation croissance–réduction de GES. Cette gestion ne produit pas les résultats escomptés. Elle se base sur l’hypothèse du découplage économie–émissions de GES, sur les émissions négatives et sur une modeste tarification du CO₂. L’analyse a démontré pourquoi ces mécanismes sont incapables d’accomplir des réductions de CO₂ suffisantes. Ce qui est politiquement faisable par les conventions climatiques n’est pas soutenable du point de vue environnemental.

L’essai souligne l’importance de questionner tous les modèles socioéconomiques—le modèle dominant, ainsi que les modèles proposés par des différentes autorités scientifiques ou politiques. Il est critique de choisir des modèles satisfaisants en validant leurs hypothèses et leurs limites. Dans le cas particulier des changements climatiques, si les hypothèses par rapport aux émissions négatives s’avèrent fausses, les conséquences seront catastrophiques. Le problème climatique est une question de temps et le temps est trop court pour l’application itérative d’un nombre illimité de cycles de gestion. Ainsi, la science et la pratique de l’économie est appelée à réviser les moyens d’allocation optimale de ressources de plus en plus rares, selon le principe de précaution et en intégrant un coût du carbone représentatif de son impact réel global.

Si la croissance n’est pas soutenable physiquement, il suit que la décroissance est de mise et constitue possiblement l’une des dernières options durables. La décroissance soutenable est une redéfinition de ce qu’on appelle progrès et qualité de vie, pour réduire drastiquement l’empreinte environnementale de l’existence humaine. Elle fait appel à la participation sociale volontaire, à l’entreprise coopérative, à la réforme du concept de propriété et du travail. Plus important, au lieu de continuer à travailler avec les mêmes outils et indicateurs économiques, la décroissance propose un changement de paradigme et des valeurs sociales, commençant par la simplicité volontaire. Des questions autour de l’acceptabilité sociale d’un éventuel revenu universel inconditionnel, et de la réforme du principe de propriété ne sont que des problèmes en attente de solution. Ces problèmes peuvent impliquer dialogues difficiles, mais ne sont aucunement pas difficiles comparativement aux limites et problèmes physiques imposés par la nature du Système Terre. Il semble plus facile à résoudre des problèmes politiques maintenant que de gérer les conséquences physiques de la croissance plus tard. La plus grave conséquence physique de l’inaction ou de l’inefficacité politique est selon toute évidence le réchauffement climatique.

La décroissance va à l'encontre du réalisme politique sous-jacent au domaine des relations internationales. Les défis de communication sont également importants, mais les solutions ne manquent pas. Que ce soit le club climatique ou les stratégies de communication citoyenne, celles-ci devront être opérationnalisées par l'incursion dans le domaine politique. De plus, l'expérience et la recherche empirique au niveau de la gestion du travail rémunéré et non-rémunéré est insuffisante. Dans le futur reconceptualisé par la décroissance, la société utilise beaucoup moins de d'énergie. La production manufacturière baisse, mais la co-production locale et le travail manuel augmentent. Dans ces conditions, il n'est pas évident à savoir si l'on travaillera plus ou moins que dans l'ère moderne. Cet aspect est possiblement le talon d'Achilles de la décroissance où, au contraire, l'élément déclencheur d'une adoption généralisée.

Les limites physiques discutées imposent des contraintes à l'existence humaine à l'intérieur du Système Terre. Parmi ces contraintes, la stabilité climatique constitue le défi majeur. Ni la politique climatique du passé, ni les solutions techniques du présent ne sont pas suffisantes pour assurer la décarbonisation de l'économie en temps utile. À moins de découvrir l'énergie-miracle (propre, renouvelable et en quantité suffisante), la solution offerte par la décroissance soutenable semble malgré ses difficultés l'option la plus sûre, particulièrement en ce qui concerne la contribution équitable des pays industrialisés à l'effort de réduction des émissions de GES.

RÉFÉRENCES

- Abraham, Y.-M. (2012). *La décroissance soutenable comme sortie de crises?* Colloque annuel de l'Association canadienne des sociologues et anthropologues de langue française, Montréal.
- Ackoff, R.L. et Addison, H.J. (2010). *Systems Thinking for Curious Managers*, Dorset (Royaume-Uni) : Triarchy Press.
- Agence internationale de l'énergie (AIE). (2016). *Key Renewables Trends*, Repéré à https://www.iea.org/bookshop/728-Renewables_Information_2016
- AIE. (2017). *Global oil discoveries and new projects fell to historic lows in 2016*, Repéré à <https://www.iea.org/newsroom/news/2017/april/global-oil-discoveries-and-new-projects-fell-to-historic-lows-in-2016.html>
- Alexander, S. (2012). Planned economic contraction: the emerging case for degrowth, *Environmental Politics*, 21(3), 349-368. Repéré à <http://dx.doi.org/10.1080/09644016.2012.671569>
- Ariès, P. (2009). *Désobéir et grandir*, Montréal (Canada) : Ecosociété.
- Arrhenius, S. (1897). On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Earth, *Astronomical Society of the Pacific*, 9(54), 14-25. Repéré à <http://iopscience.iop.org/article/10.1086/121158>
- Ancil, F. et Diaz, L. (2016). *Développement durable. Enjeux et trajectoires*, 2^e édition, Québec : Presses de l'Université Laval.
- Anderson, K. et Bows, A. (2011). Beyond dangerous climate change: Emission scenarios for a new world, *Philosophical Transactions: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 369(1934), 20-44, Repéré à <http://www.jstor.org/stable/25759985>
- Anderson, K. (2014). Is flying still beyond the pale?, *New Internationalist*, Janvier-Février 2014, 36-37. Repéré à <https://newint.org/sections/argument/2014/01/01/flying-still-beyond-the-pale/>
- Anderson, K. (2015a). Talks in the city of light generate more heat, *Nature*, 528, 437.
- Anderson, K. (2015b). Duality in climate science, *Nature Geoscience*, 8, 898-901, Repéré à <http://www.nature.com/ngeo/journal/v8/n12/full/ngeo2559.html>
- Anderson, K. et Peters, G. (2016). The trouble with negative emissions, *Science*, 354 (6309), 182-183 Repéré à <http://science.sciencemag.org/content/354/6309/182>
- Ayres, R.U. et Miller, S.M. (1980). The role of technical change, *Journal of Environmental Economics and Management*, 7, 353-371.
- Ayres, R.U. (1999). The Second Law, The Fourth Law, Recycling and Limits to Growth, *Ecological Economics*, 29(3), 473-783.
- Ayres, R.U. et Warr, B. (2009). *The economic growth engine: How energy and work drive material prosperity*, Cheltenham (Royaume-Uni) : Edward Elgar.
- Banque Mondiale. (1992). *World Development Report 1992: Development and the environment*. New York, NY : Oxford University Press.
- Baranzini, A., van den Bergh, J.C., Carattini, S., Howarth, R.B., Padilla, E. et Roca J. (2017). Carbon pricing in the climate policy: seven reasons, complementary instruments, and political economy considerations, *Climate Change*, 8(4), 1-17.

- Barrett, S. (1994). Self-enforcing international environmental agreements, *Oxford Economic Papers*, 46, 878-894.
- Baumol, W. (1986). On the Possibility of Continuing Expansion of Finite Resources, *Kyklos International Review for Social Sciences*, 39(2), 167-179.
- Beckerman, W. (1972). Economists, scientists and environmental catastrophe, *Oxford Economic Papers*, 24(327).
- Beckerman, W. (1992). Economic Growth and the Environment: Whose Growth? Whose Environment? *World Development* 20, 481-496.
- Biagini, C., Murray, D. et Thiesset, P. (2017). *Aux origines de la décroissance—cinquante penseurs*, Montréal (Québec) : Écosociété, 320 p.
- Black, I.R., Shaw, D. et Trebeck, K. (2017). A policy agenda for changing our relationship with consumption, *Journal of Cleaner Production*, 154, 12-15.
- Blanc-Noël, N. (2010). Décroissance ou « décroissantisme » : les filiations intellectuelles d'une idéologie politique, *Annuaire français des relations internationales*, juin 2010, 93-122.
- Bonaiuti, M. (2012). *From Bioeconomics to Degrowth, Georgescu-Roegen's "New Economics" in eight essays*, Londres (Royaume-Uni) : Routledge.
- Bonaiuti, M. (2014). *The Great Transition*, Londres (Royaume-Uni) : Routledge, 138 p.
- Borowy, I. (2013). Global Health and Development: Conceptualizing Health between Economic Growth and Environmental Sustainability, *Journal of the History of Medicine and Applied Sciences*, 68(3), 451-485.
- Borowy, I. et Aillon, J.-L. (2017). Sustainable health and degrowth: Health, health care and society beyond the growth paradigm, *Journal of Social Theory and Health*, 2017, 1-23.
- Boyd, R., Turner, J.C. et Ward, B. (2015). *Tracking intended nationally determined contributions: What are the implications for greenhouse gas emissions in 2030?* Londres (Royaume-Uni) : Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment.
- British Petroleum. (2016). *Statistical Review of World Energy*, Repéré sur le site de British Petroleum, dans la section Energy Economics, <http://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>
- Burton, M. (2017). *A Political Party Argues for Degrowth*, 17 septembre 2017, Repéré sur le site de Resilience, dans la section Economy, <http://www.resilience.org/stories/2017-09-17/a-political-party-argues-for-degrowth/>, repris de l'article original *El Decrecimiento a debate en el Parlament de Catalunya. Entrevista a Sergi Saladié, parlamentario de al CUP-Crida Constituent*, paru dans la revue 15/15\15, le 6 septembre 2017.
- Caminel, T., Frémeaux, P., Giraud, G., Lalucq, A. et Roman, P. (2014). *Produire plus, polluer moins : L'impossible découplage?* Paris, France : Les petits mains/Institut Veblen.
- Campbell, C.J., (1997). Depletion patterns show change due for production of conventional oil, *Oil and Gas Journal*, 95(52), 33-39.
- Campbell, C.J., (2002). Petroleum and people. *Population and Environment*, 24(2), 193-199.
- Campbell, C.J., (2003). The Assessment and Importance of Oil Depletion, *Energy Exploration and Exploitation*, 20(6), 407.

- Carbon Pricing Leadership Coalition. (2017). *Leaders Unite in Calling for a Price on Carbon*, Repéré à <https://www.carbonpricingleadership.org/carbon-pricing-panel/>
- Carlsson, C. et Manning, F. (2010). Nowtopia: strategic exodus? *Antipode*, 42, 924-953.
- Carraro, C. et Siniscalco, D. (1998). International environmental agreements: Incentives and political economy, *European Economic Review*, 42, 561-572.
- CBC Radio. (2013). The Degrowth Paradigm, 13 décembre 2013, Repéré sur le site de CBC Radio, dans *Ideas* (réalisateur Alison Cook) au <http://www.cbc.ca/radio/ideas/the-degrowth-paradigm-1.2914099>
- Chen, W.-Q. et Graedel, T.E. (2012). Dynamic analysis of aluminum stocks and flows in the United States: 1900-2009, *Ecological Economics*, 81, 92-102.
- Clausius, R. (1870). *De la fonction potentielle et du potentiel*. Gauthier-Villars (Paris) Repéré sur le portail de la Bibliothèque numérique en histoire des sciences, Université de Lille, <http://hdl.handle.net/1908/3220>
- Cojocaru, A. (sous presse). Maîtrise en politique environnementale, Institut d'études politiques de Paris, Sciences Po, Paris (France).
- Cooper, D.R. et Gutowski, T.G. (2015). The Environmental Impacts of Reuse, *Journal of Industrial Ecology* 21(1), 38-56.
- Cosme, I., Santos, R. et O'Neill, D.W. (2017). Assessing the degrowth discourse: A review and analysis of academic degrowth policy proposals, *Journal of Cleaner Production*, 149, 321-334.
- Costanza, R., Daly, H., Folke, C., Hawken, P., Holling, C., McMichael, A., Pimentel, D., Rapport, D. (2000). Managing our Environmental Portfolio, *BioScience*, 50(2), 149-156.
- Creutzig, F. (2017). Govern land as a global commons, *Nature*, 546(7656), Repéré à <https://www.nature.com/news/govern-land-as-a-global-commons-1.22065>
- Csikszentmihalyi, M. (2000). The costs and benefits of consuming, *Journal of Consumer Research*, 27, 267-272.
- Czech, B. (2008). Prospects for reconciling the conflict between economic growth and biodiversity conservation with technological progress. *Conservation Biology*, 22(6), 1389-1398.
- D'Alisa, G., Demaria, F. et Kallis, G. (2015). *Décroissance-Vocabulaire pour une nouvelle ère*, Montréal (Québec) : Écosociété, 376 p.
- Daly, H. (1968). On Economics as a Life Science, *Journal of Political Economy*, 76, 392-406.
- Daly, H. (1974). Steady-state Economics versus growthmania: A critique of the orthodox conceptions of growth, wants, scarcity, and efficiency, *Policy Sciences*, 5, 149-167.
- Daly, H. (1990). Toward some operational principles of sustainable development, *Ecological Economics*, (2)1, 1-6.
- Daly, H. (1991). Is the entropy law relevant to the economics of natural resources scarcity? Yes, of course it is!, *Journal of Environmental Economics and Management*, 23, 91-95.
- Daly, H. (2005). Economics in a Full World, *Scientific American*, 293(1), 100-107, Repéré à <https://www.scientificamerican.com/article/economics-in-a-full-world/>
- Daly, H. (2007). *How long can neoclassical economists ignore the contributions of Georgescu-Roegen?* en *Ecological Economics and Sustainable Development. Selected Essays*, Cheltenham (Royaume-Uni): Edward Elgar.

- Daly, H. (2016). *From Uneconomic Growth to a Steady-State Economy*, Northampton, MA : Edward Elgar Publishing Limited.
- Damesin, N. (2013). *Économie de fonctionnalité : freins et leviers à l'intégration de ce modèle économique dans les entreprises*, (Mémoire de maîtrise). Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Québec
- Demaria, F. (2016). Discours d'ouverture de la Conférence Décroissance, Budapest (Hongrie), 30 août 2016, Repéré à <https://www.youtube.com/watch?v=IDac6hUz5q8>
- Dietz, S. et Adger, W.N. (2003). Economic growth, biodiversity loss and conservation effort, *Journal of Environmental Management*, 68, 23-35.
- Dittmer, K. (2013). Local currencies for purposive degrowth? A quality check of some proposals for changing money-as-usual, *Journal of Cleaner Production*, 54, 3-13.
- Donnadieu, G. et Karsky, M. (2002). *La systémique, penser et agir dans la complexité*, Paris : Liaisons.
- Douthwaite, R. (2012). Degrowth and the supply of money in an energy-scarce world, *Ecological Economics*, 84, 187-193.
- Dunne, T. et Schmidt, B. (2014). *Realism*, en Baylis, J., Smith, S. et Owens, P. *The Globalization of World Politics: An Introduction to International Relations*, Oxford (Royaume-Uni) : Oxford University Press, pp. 99-112.
- EIA. (2017). *Annual Energy Outlook 2017 with projections to 2050*, 5 janvier 2017, Repéré à [https://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/0383\(2017\).pdf](https://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/0383(2017).pdf)
- Eisenmenger, N., Wiedenhofer, D., Schaffartzik, A., Giljum, S., Bruckner, M., Schandl, H., Wiedmann, T., Lenzen, M., Tukker, A. et Koning, A. (2016). Consumption-based material flow indicators—Comparing six ways of calculating the Austrian raw material consumption providing six results, *Ecological Economics*, 128, 177-186.
- Ekins, P., Bradshaw, M. et Watson, J. (2015). *Global Energy, Issues, Potentials, and Policy Implications*, New York, NY : Oxford University Press, 590p.
- Easterlin, R.A., McVey, L.A., Switek, M., Sawangfa, O., Zweig, J.S. (2010). The happiness-income paradox revisited. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107, 22463-22468.
- Estrada, F., Botzen, W.J.W., et Tol, R.S.J. (2017). A global economic assessment of city policies to reduce climate change impacts. *Nature Climate Change*, 7, 403-406, Repéré à <https://www.nature.com/nclimate/journal/v7/n6/full/nclimate3301.html>
- European Energy Exchange. (2017). *Primary Auction Phase 3*, Repéré dans Emissions, www.eex.com
- Federal Aviation Administration. (1988). Advisory Circular AC 25.1309-1 System Design and Analysis
- Ferguson, P. (2015). *The green economy agenda: business as usual or transformational discourse?*, *Journal of Environmental Politics*, 24(1), 17-37.
- Figueres, C., Schellnhuber, H.J., Whiteman, G., Rockström, J., Hobley, A. et Rahmstorf, S. (2017). Three years to safeguard our climate, *Nature*, 546 (7660), 593-595.
- Fischer-Kowalski, M., Krausmann, F., Giljum, S., Lutter, S., Mayer, A., Bringezu, S., Moriguchi, Y., Schütz, H., et autres. (2012). Methodology and Indicators of Economy-wide Material Flow Accounting—State of the Art and Reliability Across Sources, *Journal of Industrial Ecology*, 15(6), 855-876.
- Fletcher, R. (2016). Decoupling: A Dangerous Fantasy, *Entitle Blog*, Repéré à <https://entitleblog.org/2016/05/10/decoupling-a-dangerous-fantasy/>

- Foster, K. (2017). Work ethic and degrowth in a changing Atlantic Canada, *Journal of Political Ecology*, 24, 633-643.
- France Stratégie. (2017). *Des corridors de valeurs du carbone pour faire quoi?* Repéré sur le site de France Stratégie, section Points de vue, <http://www.strategie.gouv.fr/point-de-vue/corridors-de-valeurs-carbone-faire-quoi>
- Garver, G. (2013). The rule of ecological law: the legal complement to degrowth economics, *Sustainability*, 5, 316-337. Repéré à: <http://dx.doi.org/10.3390/su5010316>
- Geden, O. (2015). Policy: Climate advisers must maintain integrity, *Nature* 521, 27-28.
- Gelb, B. (1984). *A look at energy use in mining: it deserves it*. International Association of Energy Economists, San Francisco, 947-959.
- Germain, M. (2017). Optimal Versus Sustainable Degrowth Policies, *Ecological Economics*, 136, 266-281.
- Georgescu-Roegen, N. (1971). *The Entropy Law and the Economic Process*, Cambridge, MA : Harvard University Press, 476 p.
- Georgescu-Roegen, N. (1976). *Energy and Economic Myths: Institutional and Analytical Economic Essays*, New York, NY : Pergamon, 408 p.
- Georgescu-Roegen, N. (1986). The Entropy Law and the Economic Process in Retrospect, *Eastern Economic Journal*, 12(1), 1-13.
- Gheorghică, A.E. (2012). *The Emergence of La Decroissance*, CES Working Papers, Alexandru Ioan Cuza University of Iași, Repéré à: http://ceswp.uaic.ro/articles/CESWP2012_IV1_GHE.pdf
- Global Ecovillage Network. (2017). Carte, Repéré à: <https://ecovillage.org/projects/>
- Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). (2014). *Climate Change 2014, Rapport de synthèse–Résumé à l'intention des décideurs*, Genève, Suisse : GIEC, 151 p.
- Greening, L., Greene, D. et Difiglio, C. (2000). Energy efficiency and consumption – The rebound effect – A survey, *Energy Policy*, 28(6-7), 398-401.
- Grossman, G.M. et Krueger, A.B. (1991). *Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement*, National Bureau of Economic Research (NBER), Rapport Nr. 3914, Repéré à: <http://www.nber.org/papers/w3914>
- Ha, Y. (2016). *Green Growth: paradigm shift or business-as-usual?*, (Mémoire de doctorat). Université de Delaware, Newark, DE, Repéré à <http://udspace.udel.edu/handle/19716/17768>
- Hall, C. et Klitgaard, K. (2012). *Energy and the Wealth of Nations–Understanding the Biophysical Economy*, New York, NY : Springer-Verlag.
- Hall, C. (2017). *Energy Return on Investment: A Unifying Principle for Biology, Economics and Sustainability*, New York, NY : Springer-Verlag.
- Harbaugh, W.T., Levinson, A. et Wilson, D.M. (2002). Reexamining the empirical evidence for an environmental Kuznets curve, *The Review of Economics and Statistics*, 84(3), 541-551.
- Hayes, B. (2012). Computation and the Human Predicament—The Limits to Growth and the limits to computer modelling, *American Scientist*, 100(3), 186-191.
- Häyhä, T., Lucas, P.L., van Vuuren, D.P., Cornell, S.E., Hoff, H. (2016). From Planetary Boundaries to national fair shares of the global safe operating space—How can the scales be bridged? *Global Environmental Change*, 40, 60-72.

- He, J. et Richard, P. (2010). Environmental Kuznets curve for CO₂ in Canada, *Ecological Economics*, 69, 1083-1093.
- Hertwich, E. (2005). Consumption and the industrial ecology perspective, *Journal of Industrial Ecology*, 9(1), 85-98.
- Hirsch, E. (2017). The unit of resilience: unbeckoned degrowth and the politics of (post)development in Peru and the Maldives, *Journal of Political Ecology*, 24, 461-475.
- Höök, M., Hirsch, R. et Aleklett, K. (2009). Giant oil field decline rates and their influence on world oil production, *Energy Policy*, 37(6), 2262-2272.
- Huetting, R. (2010). Why environmental sustainability can most probably not be attained with growing production, *Journal of Cleaner Production*, 18(6), 525-530.
- Jackson, R., Canadell, J., Ciais, P., Le Quéré, C. et Peters, G. (2017). The Great Decoupling, *Anthropocene Magazine*, Juin 2017, Repéré à <http://www.anthropocenemagazine.org/>
- Jackson, T. et Webster, R. (2016). *Limits Revisited, A review of the limits to growth debate*, All-Party Parliamentary Group, Londres (Royaume-Uni), Repéré à <http://limits2growth.org.uk/wp-content/uploads/2016/04/Jackson-and-Webster-2016-Limits-Revisited.pdf>
- Jackson, T. (2017). *Prosperity without Growth? The transition to a sustainable economy*, (un rapport de Sustainable Development Commission), Londres (Royaume-Uni) : Routledge.
- Johanisova, N., Crabtree, T. et Fraňková, E. (2013). Social enterprises and non-market capitals: a path to degrowth?, *Journal of Cleaner Production*, 38, 7-16.
- Kallis, G., Martinez-Alier, J. et Norgaard, R.B. (2009). Paper assets, real debts, An ecological-economic exploration of the global economic crisis, *Critical Perspectives on International Business*, 5(1), 14-25.
- Kallis, G. (2011). In defense of degrowth, *Ecological Economics*, 70, 873-880.
- Kallis, G., Kerschner, C. et Martinez-Alier, J. (2012). The economics of degrowth, *Ecological Economics*, 84, 172-180.
- Kaya, Y. et Yokobori, K. (1997). *Environment, energy and economy: strategies for sustainability: Tokyo Conference on Global Environment, Energy, and Economic Development*, Tokyo (Japon) : United Nations University Press, 381 p.
- Khalil, E. (2004). The Three Laws of Thermodynamics and the Theory of Production, *Journal of Economic Issues*, 38(1), 201-226.
- Klein, N. (2014). *Tout peut changer—capitalisme et changement climatique*. Paris (France) : Actes Sud.
- Klitgaard, K.A. et Krall, L. (2012). Ecological economics, degrowth, and institutional change, *Ecological Economics*, 84, 247-253.
- Koch, M., Buch-Hansen, H et Fritz, M. (2017). Shifting Priorities in Degrowth Research: An Argument for the Centrality of Human Needs, *Ecological Economics*, 138, 74-81.
- Krausmann, F., Gingrich, S., Eisenmenger, N., Erb, K-H., Haberl, H. Fischer-Kowalski, M. (2009). Growth in global materials use, GDP and population during 20th century, *Ecological Econ.*, 68, 2696-2705.
- Krugman, P. (2014). Errors and Emissions—Could Fighting Global Warming Be Cheap and Free? *The New York Times*, 18 septembre 2014, Repéré dans la section Opinions <https://www.nytimes.com/2014/09/19/opinion/paul-krugman-could-fighting-global-warming-be-cheap-and-free.html>
- Kuhn, T. (1962). *The Structure of Scientific Revolutions*, Chicago, IL : University of Chicago Press.

- Lamb, W. et Rao, N. (2015). Human development in a climate-constrained world: What the past says about the future, *Global Environmental Change*, 33, 14-22.
- Lapierre, M. (2017). La décroissance en 50 penseurs, *Le Devoir*, 20 mai 2017, Repéré au <http://www.ledevoir.com/culture/livres/499189/la-decroissance-en-50-penseurs>
- Larkin, A., Kuriakose, J., Sharmina, M. et Anderson, K. (2017). *What if negative emissions technologies fail at scale? Implications of the Paris Agreement for big emitting nations*, *Climate Policy*, 17(7).
- Latouche, S. (2004). *La Mégamachine, Raison technoscientifique, raison économique, et mythe du progrès*, Paris, France : Éditions La Découverte, 180 p.
- Latouche, S. (2009). *Farewell to Growth?* Cambridge (Royaume-Uni) : Polity Press.
- Lagarde, C. (2012). *Remarks of the managing director of the International Monetary Fund: Back to Rio—The road to a sustainable economic future*, Washington, DC : International Monetary Fund.
- Lietaert, M. (2010). Cohousing's relevance to degrowth theories, *Journal of Cleaner Production*, 18(6), 576-580.
- Martinez-Alier, J. (2009). Socially Sustainable Economic De-growth, *Development and Change*, 40, 1099-1119.
- Matthews, H.D., Gillett, N.P., Stott, P.A. et Zickfeld, K. (2009). The proportionality of global warming to cumulative emissions, *Nature*, 459, 829-836
- McGuirk, E. (2017). Timebanking in New Zealand as a prefigurative strategy within a wider degrowth movement, *Journal of Political Ecology*, 24, 595-609.
- Meadows, D.H., Meadows, D.L., Randers, J. et Behrens III, W. (1972). *The Limits to Growth : A Report for the Club of Rome's project on the predicament of mankind*, New York, NY : Universe Books, Potomac Associates, 205 p.
- Meadows, D.H., Meadows, D.L. et Randers, J. (2004). *The Limits to Growth—The 30-Year Update*, White River Junction, VT : Chelsea Green Publishing, 338 p.
- Meadows, D.H. (2015). *Thinking in systems, A Primer*, White River Junction, VT : Chelsea Green Publishing, 180 p.
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC). (2017). *Avis et résultats des ventes aux enchères d'unités d'émissions de gaz à effet de serre-16 mai 2017*, Repéré sur le site du MDDELCC, section Changements climatiques : <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/changements/carbone/avis-resultats.htm>
- Mills Busa, J.H. (2013). Dynamite in the ECK tunnel? Inconsistencies in resource stock analysis under the environmental Kuznets curve hypothesis. *Ecological Economics*, 94, 116-126.
- Morin, J-F. et Oberthür, S. (2012). The Interface between Expert Knowledge and Politics in a Coproduction Model, *Insights from Global Environmental Governance*, 15-17.
- Morin, J-F. et Orsini, A. (2015). *Politique internationale de l'environnement*, Paris : Presse de Sciences Po.
- Morris, A. (2016). *L'analyse de flux de matières au Québec: méthodes et enjeux d'opérationnalisation dans une perspective d'économie circulaire*, (Mémoire de maîtrise). Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Québec.
- National Oceanic & Atmospheric Administration (NOAA). (2017). Earth System Research Laboratory, *Trends in atmospheric GHG*, Repéré à <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/full.html>

- Nations Unies. (1992). Report of the United Nations conference on environment and development, Rio declaration on environment and development, Repéré à <http://www.un.org/documents/ga/conf151/aconf15126-1annex1.htm>
- Nations Unies. (2012). L'avenir que nous voulons, Rio+20 Conférence des Nations Unies sur le développement durable, Résultats de la Conférence, Repéré à http://www.diplomatie.gouv.fr/IMG/pdf/declaration_finale_Rio_20_cle0c85b4.pdf
- New, M., Liverman, D. Schroeder, H. et Anderson, K. (2011). Four degrees and beyond: the potential for a global temperature increase of four degrees and its implications, *Philosophical Transactions: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 369(1934), 6-19.
- Nordhaus, W.D. (2015a). Climate Clubs: Overcoming Free-riding in International Climate Policy, *The American Economic Review*, 105(4), 1339-1370.
- Nordhaus, W.D. (2015b). *A New Solution: The Climate Club*, The New York Review of Books, Repéré à <http://www.nybooks.com/articles/2015/06/04/new-solution-climate-club/>
- Nørgård, J.S. (2013). Happy degrowth through more amateur economy, *Journal of Cleaner Production*, 38, 61-70.
- O'Neill, J. (2008). Happiness and the good life, *Environmental Values*, 17, 125-144.
- O'Neill, D.W. (2015a). What should be held steady in a steady-state economy? Interpreting Daly's definition at the national level. *Journal of Industrial Ecology*, 19(4), 552-563.
- O'Neill, D.W. (2015b). The proximity of nations to a socially sustainable steady-state economy, *Journal of Cleaner Production*, 108, 1213-1231.
- Organisation de coopération et de développement économique (OCDE). (2011). *Towards Green Growth*, Paris, France : OCDE.
- OCDE. (2016). 20 Years of Carbon Capture and Storage, (OCDE/AIE) Repéré à www.oecd.org/publications/20-years-of-carbon-capture-and-storage-9789264267800-en.htm
- Odum, H.T. (1996). *Environmental Accounting. Emergy and Environmental Decision Making*. New York, NY : John Wiley & Sons.
- Odum, H.T. et Odum E.C., (2001). *A Prosperous Way Down: Principles and Policies*. Boulding, CO : University Press of Colorado.
- Pearson, A. (2015). *Realism and Politics Among States in the 21st Century*, Centre for Geopolitics and Security in Realism Studies, 1-11. Repéré à http://cgsrcs.com/files/files/publications_5.pdf
- Peters, G.P. et Hertwich, E.G. (2008). Post-Kyoto greenhouse gas inventories: production versus consumption, *Climate Change*, 86, 51-66.
- Peters, G.P. (2016). The "best available science" to inform 1,5°C policy choices, *Nature Climate Change*, 6, 646-649.
- Peters, G.P., Andrew, R.M., Canadell, J.G., Fuss, S., Jackson, R.B., Korsbakken, J.I., Le Quéré, C. et Nakicenovic, N. (2017). Key indicators to track current progress and future ambition of the Paris Agreement, *Nature Climate Change*, 7, 118-122.
- Piketty, T., Saez, E. et Zucman, G. (2017). *Distributional National Accounts: Methods and estimates for the United States*, Working Paper 22945, Cambridge, MA : National Bureau of Economic Research.
- Prades, J.A., Tessier, R. et Vaillancourt, J.-G. (1992). *Gestion de l'environnement, éthique et société*, Montréal : Éditions Fides, 308 p.

- Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUÉ). (2016). *The Emissions Gap Report 2016*, <https://newclimate.org/2016/11/03/emissions-gap-report-2016/>
- PNUÉ. (2011a). *Towards a Green Economy—Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication*, Nairobi, Kenya : PNUÉ, Repéré sur le site des Nations Unies : <https://sustainabledevelopment.un.org/index.php?page=view&type=400&nr=126&menu=35>
- PNUÉ. (2011b). Bridging the Emissions Gap, Repéré à http://www.ecofys.com/files/files/unep_bridging%20the%20emissions%20gap.pdf
- Purdon, M. (2014). Neoclassical realism and international climate change politics: moral imperative and political constraint in international climate finance, *Journal of International Relations and Development*, 17, 301-338.
- Rabouin, B. (2016). *Le découplage entre croissance économique et émission de gaz à effet de serre est-il possible?* (Mémoire de maîtrise). Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Québec.
- Radio-Canada. (2017). *The Proper Role of Science: Sir Peter Gluckman*, 22 février 2017, Repéré sur le site de Radio-Canada, CBC Radio, dans *Ideas* (réalisateur Paul Kennedy), <http://www.cbc.ca/radio/ideas/the-proper-role-of-science-sir-peter-gluckman-1.3994101>
- Rees, W.E. (2014). *Avoiding Collapse—An Agenda for Sustainable Degrowth and Relocalizing Production*, Ottawa (Canada) : Centre canadien de politiques alternatives, Repéré à : <https://www.policyalternatives.ca/publications/reports/avoiding-collapse>
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, A., Chapin III, F.S., Lambin, E., Lenton, T.M., (2009). Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity, *Ecology and Society*, 14(2), 32, Repéré à <https://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art32/>
- Rockström, J., Gaffney, O., Rogelj, R., Meinshausen, M., Nakicenovic, N., Schellnhuber, H.J., (2017). A roadmap for rapid decarbonisation, *Science*, 355(6331), 1269-1271.
- Rogelj, J., Schaeffer, M., Friedlingstein, P., Gillett, N.P., van Vuuren, D.P., Riahi, K., Allen, M. et Knutti, R. (2016). Differences between carbon budgets estimates unravelled, *Nature Climate Change*, 6, 245-252, Repéré à <https://www.nature.com/nclimate/journal/v6/n3/full/nclimate2868.html>
- Røpke, I. (2013). Ecological macroeconomics: implications for the roles of consumer-citizens, dans : *Innovations in Sustainable Consumption: New Economics, Socio-technical Transitions and Social Practices*, Cohen, M.J., Brown, H.S. et Vergragt, P.J., Cheltenham (Royaume-Uni) : Edward Elgar, 48-64.
- Schaffartzik, A., Mayer, A., Gingrich, S., Eisenmenger, N., Loy, C., Krausmann, F. (2014). The global metabolic transition : regional patterns and trends of global material flows, 1950-2010, *Global Environmental Change*, 26, 87-97.
- Schneider, F., Kallis, G. et Martinez-Alier, J. (2010). Crisis or opportunity? Economic degrowth for social equity and ecological sustainability, *Journal of Cleaner Production*, 18, 511-518.
- Sèdes, C. et Guénoche, H. (1993). *Thermodynamique appliquée*, Paris : Elsevier Masson, 333 p.
- Sekulova, F., Anguelovski, I., Argüelles, L. et Conill, J. (sous presse). A fertile soil for sustainability-related community initiatives : A new analytical framework, *Environment and Planning*.
- Selden, T. et Song, D. (1994). Environmental Quality and Development: Is there a Kuznets curve for air pollution emissions?, *Journal of Environmental Economics and Management* 27, 147-162.

- Solow, R.M. (1973). The Economics of Resources or the Resources of Economics. *The American Economic Review*, 64(2), 1-14.
- Sorman, A.H. et Gianpietro, M. (2013). The energetic metabolism of societies and the degrowth paradigm: analysing biophysical constraints and realities, *Journal of Cleaner Production*, 38, 80-93.
- Sorrell, S. (2007). *The rebound effect: An assessment of the evidence for economy-wide energy savings from improved energy efficiency*, Report to the Sussex Energy Group for the UK Energy Research Centre. Londres (Royaume-Uni) : UK Energy Research Group.
- Stanislaus, M. (2016). A Virtuous Circle, *The Environmental Forum*, 32, 30-33, Repéré sur le site de l'EPA à https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-08/documents/stanislaus_a_virtuous_circle_2016_final.pdf
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S., Fetzer, I., Bennett, M, et autres. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet, *Science*, 347(6223), Repéré à <http://science.sciencemag.org/content/347/6223/1259855>
- Stern, D.I. (2017). The environmental Kuznets curve after 25 years, *Journal of Bioeconomics*, 19(1), 7-28. Repéré à <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10818-017-9243-1>
- Stern, N. (2008). The Economics of Climate Change, *The American Economic Review*, 98(2), 1-37.
- Stern, N. (2016). Economics: Current climate models are grossly misleading, *Nature*, 530(7591), 407-409.
- Sterner, T. (2015). Beyond IPCC, Research for Paris 2015 and Beyond, *Journal of Environmental Resource Economy*, 62, 207-215.
- Stiglitz, J. (2012). *The Price of Inequality: How Today's Divided Society Endangers Our Future*, New York, NY : W. W. Norton & Company, 560 p.
- Tol, R.S.J. (2017). The structure of the climate debate, *Energy Policy*, 104, 431-438.
- Turner, G.H. (2012). *On the Cusp of Global Collapse? Updated Comparison of The Limits to Growth with Historical Data*, GAIA Research, 21(2), 116-124, Repéré à https://www.ethz.ch/content/dam/ethz/special-interest/usys/ites/ecosystem-management-dam/documents/EducationDOC/Readings_DOC/Turner_2012_GAIA_LimitsToGrowth.pdf
- Turner, G.H. (2014). *Is global collapse imminent?* Melbourne Sustainable Society Initiative, Rapport de recherche nr. 4, Université de Melbourne.
- Université de Sherbrooke. (2016). *Perspective monde, Réalisme Politique*, Repéré dans la section glossaire, <http://perspective.usherbrooke.ca/bilan/servlet/BMDictionnaire?iddictionnaire=1691>
- van den Bergh, J.C.J.M. (2009). The GDP paradox, *Journal of Economic Psychology* 30(2), 117-135.
- van der Voet, E., van Oers, L. et Nikoloc, I. (2014). Dematerialization, Not Just a Matter of Weight, *Journal of Industrial Ecology*, 8(4), 121-138.
- van Griethuysen, P. (2012). Bona diagnosis, bona curatio: how property economics clarifies the degrowth debate, *Ecological Economics*, 84, 262-269.
- Victor, P.A. (2012). Growth, degrowth, and climate change: a scenario analysis. *Ecological Economics* 84, 206-212.
- Vogler, J. (2010). The institutionalisation of trust in the international climate regime. *Energy Policy*, 38, 2681-2687.
- Wackernagel, M. (2002). Le dépassement des limites de la planète, *L'Écologiste*, 8, octobre 2002, 31-36.

- Wagner, G. et Weitzman, M.L. (2015). *Climate Shock: The Economic Consequences of a Hotter Planet*, Princeton, NJ : Princeton University Press, 264 p.
- Weiss, M. et Cattaneo, C. (2017). Degrowth—Taking Stock and Reviewing an Emerging Academic Paradigm, *Ecological Economics*, 137, 220-230.
- Xu, M. et Zhang, T. (2007). Material flows and economic growth in developing China. *Journal of Industrial Ecology*, 11, 121-140.
- Yang, H., He, J. et Chen, S. (2015). The fragility of the Environmental Kuznets Curve: Revisiting the hypothesis with Chinese data via an “Extreme Bound Analysis,” *Ecological Economics*, 109, 41-58.