



de l'Enseignement  
et de l'Éducation permanente asbl

rue de la Fontaine 2  
1000 Bruxelles  
Tél 02 / 511 25 87  
[www.ligue-enseignement.be](http://www.ligue-enseignement.be)

Étude réalisée par  
Adrien Plomteux

Éditeur responsable  
**Roland Perceval**  
rue de la Fontaine 2  
1000 Bruxelles  
Tél 02 / 511 25 87

# étude



**Enjeux  
environnementaux :  
un système à déconstruire,  
une alternative à concevoir**



**N**ous remercions  
Monsieur Patrick Hullebroeck, directeur de la Ligue de l'Enseignement et de  
l'Éducation permanente pour ses conseils et ses relectures,  
Madame Nathalie Masure pour les nécessaires relectures et corrections orthographiques,  
Monsieur Éric Vandenneede pour la mise en page,  
Monsieur Adrià Fritos pour l'illustration de couverture.



Avec...

le soutien de la Fédération Wallonie-Bruxelles





ENJEUX ENVIRONNEMENTAUX :  
UN SYSTÈME À DÉCONSTRUIRE, UNE ALTERNATIVE À CONCEVOIR



© Jeanne Menjoulet – CC BY-ND 2.0



# TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES ABREVIATIONS	p. 10
LISTE DES FIGURES	p. 10
LISTE DES TABLEAUX	p. 12
INTRODUCTION	p. 13
CHAPITRE 1 : SITUATION ENVIRONNEMENTALE ACTUELLE ET À VENIR	p. 15
Situation actuelle du changement climatique	p. 15
Situation future du changement climatique : point de bascule et événements en cascade	p. 17
Conséquences du changement climatique sur les populations humaines	p. 22
Réponse politique	p. 27
Possible de rester sous les 1,5 ou 2 degrés ?	p. 28
Écosystèmes, empreinte écologique, biocapacité et limites planétaires	p. 30
Épuisement des ressources naturelles	p. 32
Vers un effondrement ?	p. 33
CHAPITRE 2 : RÉPONSE HABITUELLE AUX ENJEUX ENVIRONNEMENTAUX	p. 36
Croyance en l'ingéniosité humaine et les technologies	p. 36
Promotion de l'innovation : libre marché, marché carbone, libre entreprise, croissance économique et capitalisme vert	p. 38
Technologies envisagées	p. 42

CHAPITRE 3 : EXAMEN APPROFONDI DE LA RÉPONSE HABITUELLE AUX PROBLÈMES ENVIRONNEMENTAUX	p. 52
Marché carbone, une bonne idée qui ne fonctionne pas	p. 52
Croissance économique comme problème et non comme solution	p. 54
Équation IPAT et technologies insuffisantes	p. 59
Effet rebond	p. 63
Revue des technologies envisagées	p. 67
Conclusion	p. 74
CHAPITRE 4 : ALTERNATIVE À CONCEVOIR	p. 76
Réduction des flux de matière	p. 76
Remise en question de l'importance de la croissance économique dans les politiques	p. 78
« Dé-économisation » de la société	p. 78
Société solidaire	p. 80
Antiproductivisme et anticonsumérisme	P. 81
Économie en donut	P. 81
Allocation des ressources	p. 82
Diminution de l'effet rebond	p. 85
Changements de mentalité	p. 86
CONCLUSION	p. 88
BIBLIOGRAPHIE	p. 90





## LISTE DES ABRÉVIATIONS

**CO<sub>2</sub>** : dioxyde de carbone

**CO<sub>2</sub>e** : équivalent CO<sub>2</sub>

**GES** : gaz à effet de serre

**GIEC** : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

**IRM** : Institut royal météorologique de Belgique

**OMM** : Organisation météorologique mondiale

**ONU** : Organisation des Nations unies

**PIB** : Produit intérieur brut

**PNUE** : Programme environnemental des Nations unies

**UE** : Union européenne

## LISTE DES FIGURES

- Figure 1.** Évolution des températures à la surface de la Terre entre 1850 et 2018 p. 15
- Figure 2.** Différence de température entre 2019 et la moyenne des années 1981-2010 p. 16
- Figure 3.** Situation de la banquise arctique en septembre 2019 p. 16
- Figure 4.** Évolution au cours du temps des évaluations de risque du GIEC p. 18
- Figure 5.** Paysage nordique après dégel du permafrost p. 19
- Figure 6.** Estimation de la probabilité de réchauffement sous une atmosphère contenant 700 particules de CO<sub>2</sub>e par million (ppm) p. 29
- Figure 7.** Évolution de l'empreinte écologique mondiale p. 31
- Figure 8.** Limites planétaires telles que définies en 2009 p. 32
- Figure 9.** À gauche, courbe de Kuznets environnementale. À droite, relation de découplage entre la croissance économique et l'empreinte écologique p. 40
- Figure 10.** Centrale électrique géothermique islandaise p. 43
- Figure 11.** Vue aérienne du site du projet ITER en mars 2018 p. 44
- Figure 12.** Chaise fabriquée à partir de méthane p. 47
- Figure 13.** Centrale à charbon. Le CO<sub>2</sub> pourrait être capté depuis les cheminées p. 47
- Figure 14.** Installation de type DAC de l'entreprise Climeworks p. 48

<b>Figure 15.</b> Schéma de la technique de dispersion d'aérosols soufrés dans la stratosphère	p. 51
<b>Figure 16.</b> Prix d'achat du permis d'émission d'une tonne de dioxyde de carbone sur différents marchés carbone au cours du temps	p. 53
<b>Figure 17.</b> Différence entre les émissions de dioxyde de carbone liées à la production dans le pays et les émissions liées à la consommation dans le pays	p. 58
<b>Figure 18.</b> Tendances du système Terre	p. 60
<b>Figure 19.</b> Évolution de la consommation mondiale de matières premières	p. 61
<b>Figure 20.</b> Évolution de la population mondiale au cours du temps	p. 61
<b>Figure 21.</b> Évolution du PIB par habitant au cours du temps	p. 62
<b>Figure 22.</b> Illustrations d'un effet rebond direct et d'un effet rebond indirect	p. 64
<b>Figure 23.</b> Illustration de l'effet rebond systémique lié à la transformation des normes sociales	p. 65
<b>Figure 24.</b> Illustration de l'effet rebond systémique lié à l'accélération de l'activité humaine	p. 65
<b>Figure 25.</b> Illustration de l'effet rebond systémique lié à l'arrivée de nouvelles innovations technologiques	p. 65
<b>Figure 26.</b> Illustration de l'effet rebond systémique lié à l'augmentation de la productivité	p. 66
<b>Figure 27.</b> Évolution de la consommation d'énergie par source d'énergie	p. 67
<b>Figure 28.</b> Deux visions de l'importance de certaines valeurs au sein de la société. À gauche, la vision « dé-économisée ». À droite, la vision du développement durable	p. 79
<b>Figure 29.</b> Illustration de l'« économie en donut » telle qu'envisagée par Kate Raworth	p. 82

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau 1.</b> Budgets carbone (en Gt de CO <sub>2</sub> ) selon le modèle AR5 du GIEC	p. 28
<b>Tableau 2.</b> Estimation de la date d'épuisement de métaux si les taux de croissance de production continuent aux rythmes des dernières décennies	p. 33
<b>Tableau 3.</b> Intensité carbone médiane selon la méthode de production d'électricité	p. 43
<b>Tableau 4.</b> Quelques métaux proches de l'épuisement utilisés par certaines technologies	p. 72

## INTRODUCTION

Au cours de ces dernières années, l'environnement est devenu une préoccupation de plus en plus importante pour les Belges, et particulièrement chez les jeunes. Au plus fort du mouvement, 35.000 élèves furent dans les rues au lieu d'être dans les classes. Selon une étude réalisée par l'APED (Appel pour une école démocratique) en 2019 auprès des élèves belges de 5<sup>e</sup> et 6<sup>e</sup> secondaire, ceux-ci sont de plus en plus conscient·e·s de ces enjeux.

Cette étude a pour but de participer à la diffusion d'information sur ces sujets, et se focalise sur les conséquences sociétales – économiques, sociales, politiques et même culturelles – des enjeux environnementaux. Elle a pour objectif de lancer un débat autour de la question suivante :

Quelle société mettre en place pour répondre efficacement aux enjeux environnementaux ?

Cette entreprise se déroule en quatre chapitres, qui suivent un cheminement d'idée bien précis.

Le premier chapitre rentre dans les détails de la situation environnementale actuelle et à venir. Il a pour but de mettre en évidence les conséquences insoupçonnées et possiblement désastreuses des problèmes environnementaux si nous n'agissons pas suffisamment pour y répondre. Beaucoup d'entre nous sous-estiment les répercussions possibles pour les sociétés humaines. Un focus particulier sur le changement climatique est effectué au cours de ce chapitre et de cette étude, et ce pour la raison suivante : les émissions de gaz à effet de serre (GES) représentent actuellement 60% de l'empreinte écologique de l'humanité (Earth Overshoot Day 2019). En d'autres termes, les conséquences du changement climatique risquent d'être bien plus graves que celles d'autres problèmes environnementaux. D'autres enjeux ne sont pas pour autant oubliés au cours de cette étude.

Le deuxième chapitre analyse la réponse des dirigeant·e·s politiques aux enjeux environnementaux. Comme nous le verrons, celle-ci repose principalement sur la capacité de l'être humain à trouver des solutions technologiques. Une partie de ce chapitre est consacrée à l'explication des technologies envisagées actuellement pour endiguer le réchauffement climatique.

Le troisième chapitre évalue cette réponse des dirigeant·e·s. Elle met en évidence certains problèmes structurels de cette vision, et évalue la capacité des technologies évoquées au chapitre précédent de répondre aux enjeux climatiques. Elle suggère que les solutions actuellement envisagées risquent de ne pas suffire, et d'ainsi conduire l'humanité à la catastrophe.

Partant de ce constat, le quatrième et dernier chapitre de cette étude considère certaines pistes d'alternatives crédibles pour transformer le système actuel. Elles pousseraient à de grands changements sociétaux et de mentalité. Loin d'être des pistes parfaites, elles ont pour but d'inciter le lecteur/rice à la réflexion.

Bonne lecture à toutes et à tous.

# CHAPITRE I : SITUATION ENVIRONNEMENTALE ACTUELLE ET À VENIR

Les humains ont constamment cherché à modifier la nature pour en retirer des avantages. Le rythme s'est toutefois considérablement accéléré depuis la révolution industrielle, à un tel point que la communauté scientifique considère que la Terre est entrée dans une nouvelle ère géologique, appelée « Anthropocène », c'est-à-dire l'ère de l'Homme. Le rythme des changements de l'environnement s'est accru à une allure exponentielle, et nous commençons aujourd'hui à en ressentir les premiers effets. Pour illustrer ce phénomène, ce chapitre se concentrera principalement sur le changement climatique, mais abordera également l'épuisement des ressources ou encore les limites planétaires.

## Situation actuelle du changement climatique

Le climat est d'ores et déjà en changement important. Tout d'abord, il se réchauffe. L'Organisation météorologique mondiale (OMM) considère que la moyenne de température des années 2015-2019 était 1,1 °C plus chaude que la moyenne de la période de référence, 1850-1900 (OMM et al. 2019) – cf. Figure 1.

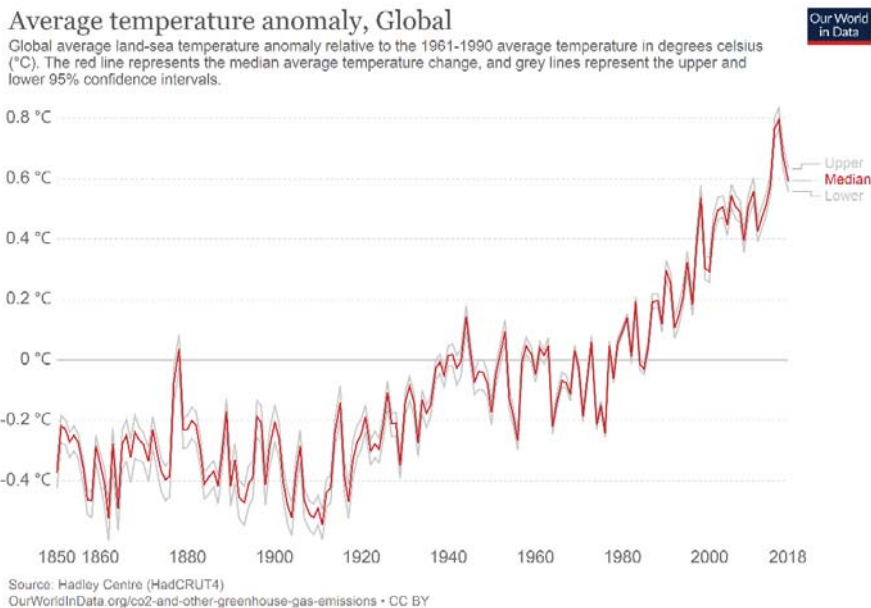


Figure 1. Évolution des températures à la surface de la Terre entre 1850 et 2018. © Ritchie et Roser (2019a).

La température sur la terre ferme a toutefois augmenté bien davantage que de 1,1 °C, parce que cette mesure concerne la surface entière de la planète. Or, les

océans se réchauffent moins vite. De plus, l'augmentation des températures est inégale selon les régions du monde – cf. Figure 2. Ainsi, l'Institut royal météorologique de Belgique (IRM) considère que la température moyenne dans notre pays a augmenté de 2,3 °C depuis le début des relevés, en 1833 (Belga 2018).

Annual D-N 2019

L-OTI(°C) Anomaly vs 1981-2010

0.54

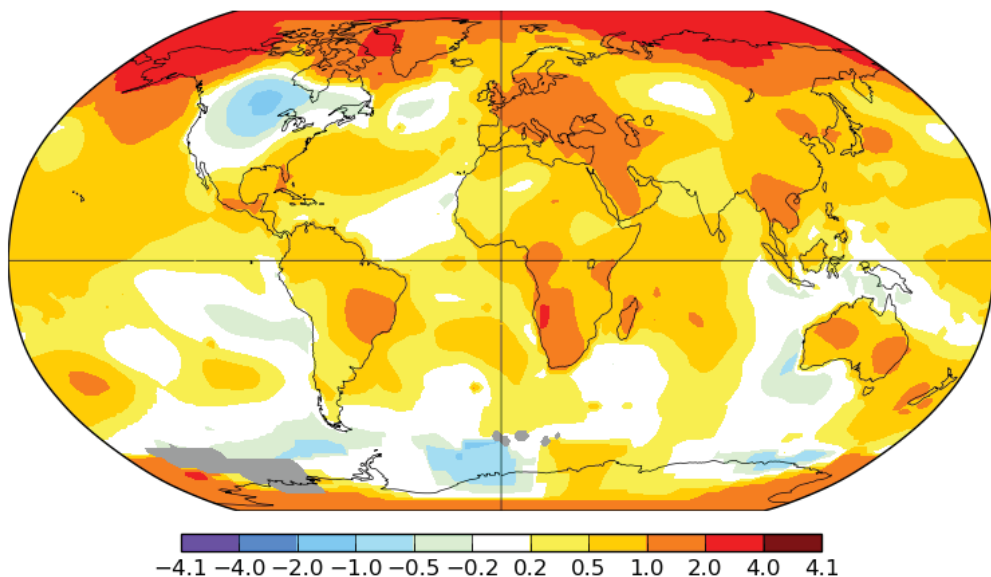


Figure 2. Différence de température entre 2019 et la moyenne des années 1981-2010. La Belgique a subi un réchauffement de 1 à 2°C. Source : GISTEMP Team (2019).



Figure 3. Situation de la banquise arctique en septembre 2019. La ligne rose représente la moyenne de la banquise lors de ce mois sur la période 1981-2010. Images de l'instrument NASA MODIS, avec la permission de NASA NSIDC DAAC.

À l'heure actuelle, ce réchauffement a déjà plusieurs conséquences majeures. Par exemple, le niveau des mers augmente actuellement d'un peu plus de 3 mm par an (OMM 2019). Ce phénomène est le résultat de la dilatation des océans dû à leur réchauffement ainsi qu'à la fonte des glaces un peu partout sur la planète. Cette fonte est en accélération. Le Groenland et le continent arctique sont d'ailleurs dans une situation de fonte extrêmement rapide ces dernières années (Météo France 2019 a; 2019b). La fonte de la banquise sur l'Océan arctique est sans doute une des plus spectaculaires – cf. Figure 3.



Le climat ne fait pas que se réchauffer, il est aussi en changement. Ainsi, les régions sèches deviennent généralement encore plus sèches et les zones humides encore plus humides (Guilyardi et al. 2019). Par ailleurs, il existe une augmentation des événements climatiques extrêmes tels que les inondations, les fortes pluies, les ouragans, les vagues de chaleur et les sécheresses (Guilyardi et al. 2019). En Belgique, selon l'IRM, le nombre de jours moyens de précipitations abondantes est passé de 3 à 6 par an depuis 1950 (Belga 2018). Il est difficile de prouver le lien entre un événement climatique extrême et les émissions de GES<sup>1</sup> humaines. Des scientifiques s'attellent actuellement à cette tâche, et y parviennent dans certains cas (OMM 2019, p.29). La canicule de juillet dans nos régions aurait par exemple été entre 1,5 et 3 °C moins chaude sans le changement climatique (Vautard et al. 2019).

### **Situation future du changement climatique : point de bascule et événements en cascade**

Il est en réalité extrêmement difficile de modéliser les effets du changement climatique. En effet, les systèmes sont tous reliés, avec des événements pouvant provoquer le déclenchement ou l'accélération d'autres phénomènes. On parle de « boucles de rétroactions ». Celles-ci sont innombrables et extrêmement compliquées à prédire pour les scientifiques. Ainsi, il n'est pas rare d'entendre que les modèles les plus cités aient sous-estimés l'ampleur des conséquences environnementales (Dunlop et Spratt 2018). Par exemple, les scientifiques se sont récemment inquiétés de fontes exceptionnelles des glaces du Groenland et de l'Antarctique, plus rapides que prévues (Pattyn 2018). Autre exemple, les modèles du GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) prédisent aujourd'hui un risque élevé d'événements climatiques extrêmes à partir de 1,5 °C de réchauffement, alors qu'en 2001 les modèles prédisaient les mêmes risques à partir de 3 ou 4 °C (OMM et al. 2019) – cf. Figure 4. En général, les scientifiques auraient tendance à privilégier des résultats « pragmatiques », pour ne pas passer pour des catastrophistes et être ignoré·e·s (Dunlop et Spratt 2018).

---

<sup>1</sup> Les émissions de GES sont exprimées en « équivalent CO<sub>2</sub> », ou CO<sub>2</sub>e. Nous utiliserons régulièrement cette seconde notation dans la suite. Elle n'est pas à confondre avec celle de CO<sub>2</sub>.

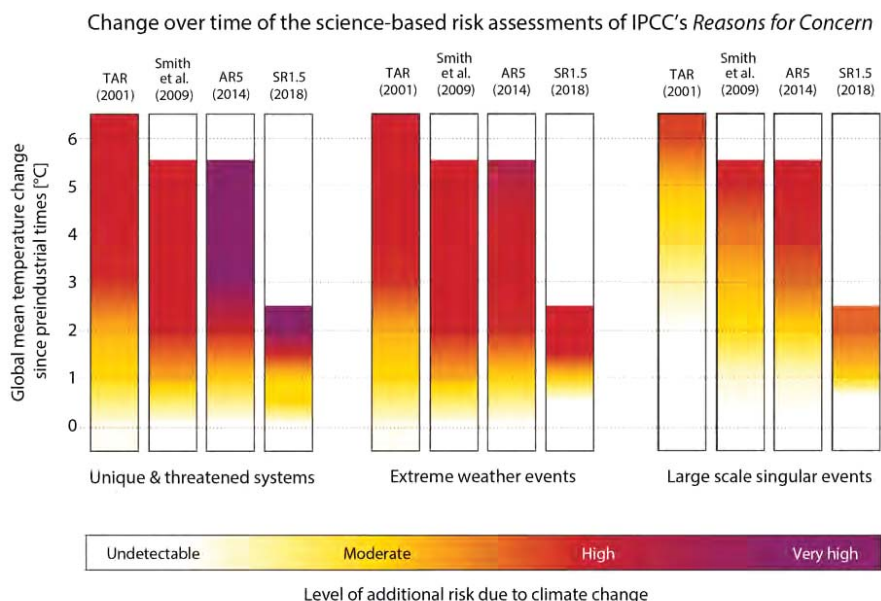


Figure 4. Évolution au cours du temps des évaluations de risque du GIEC. © OMM et al. (2019) – CC BY-NC-ND 4.0.

Un point de bascule, aussi appelé point critique ou de basculement, est le seuil à partir duquel il n'est plus possible de stopper un phénomène du fait de boucles de rétroactions trop puissantes. Il provoque alors des événements imprévisibles, comme de nouvelles boucles de rétroactions insoupçonnées pouvant elles-mêmes provoquer d'autres événements, et ainsi de suite. Un tel seuil existe dans le cas du changement climatique, et cette section va mentionner certains événements en cascade qui pourraient être déclenchés par le dépassement de ce point de bascule.

## Permafrost

Le permafrost, aussi appelé pergélisol en français, désigne les sols entièrement gelés, présents sur environ un quart des terres émergées de l'hémisphère nord. Le réchauffement climatique, très important dans les régions nordiques – cf. Figure 2 – provoquera la fonte de certaines de ces terres. Le dégel a d'ailleurs déjà commencé. Au Canada, certaines régions ont dégelé 70 ans plus vite que ce que les modèles prédisaient (Reuters 2019).

Ces terres contiennent de grandes quantités de carbone, environ 2 fois plus que la quantité présente dans l'atmosphère (GIEC 2019, p.6). Si elles dégèlent, des microbes « mangeront » la matière organique, provoquant l'émission de méthane, grand émetteur de GES. Steffen et al. (2018) considèrent que ce phéno-

mène pourrait engendrer 0,09°C de réchauffement supplémentaire d'ici à 2100 si la barre des 2°C de réchauffement global est franchie.

Cependant, l'effet portera en réalité davantage sur le long terme, car la fonte du permafrost va elle-même provoquer un réchauffement, et une nouvelle fonte du permafrost. C'est une boucle de rétroaction. Cho (2018) mentionne une étude montrant qu'un réchauffement d'à peine 1,5°C pourrait provoquer entre 0,13 et 1,69°C de réchauffement d'ici à 2300, et Dunlop et Spratt (2018) mentionnent une étude prévoyant des émissions de GES équivalentes à un réchauffement de 0,6 à 0,8°C sur le long terme si la barre des 2°C est franchie.

Le GIEC ne prend pas en compte la fonte du permafrost dans ses prévisions de réchauffement climatique, car les résultats sont trop peu fiables (Dunlop et Spratt 2018). Le dernier rapport du GIEC (2019) explique que, d'ici 2100, le dégel pourrait provoquer des émissions de GES équivalentes à quelques dizaines voire quelques centaines de Gigatonnes de carbone. Sachant que les émissions ont été de 10,8 Gigatonnes par an sur la période 2008-2017, la fonte du permafrost va de toute façon provoquer un réchauffement supplémentaire important.



Figure 5. Paysage nordique après dégel du permafrost. Les microbes de ces eaux stagnantes émettent du méthane. Libre de droits.

## Permafrost sous-marin

Un autre événement pourrait être lié au dégel du permafrost sous-marin. Quand celui-ci s'opère, cela peut provoquer le dégagement de méthane, et ainsi conduire à un nouveau réchauffement. Ce phénomène est encore très mal connu, et il existe un débat scientifique intense sur l'ampleur de ce phénomène sur le réchauffement climatique futur. Si tout le permafrost sous-marin dégelait, la Terre se réchaufferait entre 2 et 10 °C. Beaucoup pensent que ce phénomène devrait cependant être très lent, et négligeable avant 2100 (Steffen et al. 2018; Robock 2017). D'autres pensent qu'il est déjà en cours, et pourrait être rapide (Giraud 2019). La prudence est donc de mise.

## Forêts amazonienne et boréale

La forêt amazonienne contient à elle seule entre 10 et 15% de toute la biodiversité planétaire et absorbe une grande quantité du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>). Elle a déjà perdu environ 17% de sa superficie sur les 50 dernières années. Or, du fait de l'humidité qu'elle produit, la forêt se régule en partie elle-même. Le réchauffement climatique et la déforestation provoquent une baisse de l'humidité dans la forêt. Des scientifiques pensent que, si la barre de 20 à 25% de déforestation par rapport au niveau d'il y a 50 ans est dépassée, alors la forêt n'arriverait plus à s'autoréguler et commencerait à dépérir, et à devenir petit à petit une grande savane (Xavantina et Santarém 2019). La forêt ne pourra ainsi plus capter le CO<sub>2</sub> émis par les humains. Steffen et al. (2018) considèrent que ce phénomène pourrait ajouter 0,05 °C de réchauffement d'ici à 2100 étant donné un réchauffement global de 2 °C. Le phénomène se poursuivrait cependant encore après cette date, continuant de réchauffer la Terre.

La forêt boréale, aussi appelée taïga, pourrait également dépérir. En effet, le réchauffement climatique est beaucoup plus important dans les régions nordiques – cf. Figure 2 – et les écosystèmes de ces régions sont soumis à rude épreuve. Le nombre d'incendies y a par ailleurs explosé ces dernières années, accentuant fortement le dépérissement (The Economist 2019). Steffen et al. (2018) considèrent que ce phénomène contribuera à un réchauffement de 0,06 °C d'ici à 2100 si nous atteignons la barre des 2 °C de réchauffement global.

Ce phénomène est apparent pour de nombreuses forêts mondiales, notamment pour les forêts primaires du Congo et d'Asie du Sud-Est, qui émettent déjà plus de dioxyde de carbone qu'elles n'en puisent. Ces différents événements et potentiels de réchauffement ne sont, de nouveau, pas suffisamment pris en compte dans les prévisions du GIEC (Dunlop et Spratt 2018).

## Fonte des glaces

Si nous dépassons environ les 2 degrés de réchauffement, les glaces de l'Antarctique et du Groenland pourraient fondre entièrement (Pattyn 2018). Un tel événement provoquerait une montée des eaux de 7 mètres pour le Groenland, et de 58 mètres pour l'Antarctique – au total, la fonte des glaces terrestres pourrait potentiellement provoquer une montée du niveau des eaux de 80 mètres. Certain·e·s scientifiques pensent même que nous avons déjà dépassé, ou sommes sur le point de dépasser, le seuil à partir duquel il ne serait plus possible de stopper la fonte au Groenland et en Antarctique Ouest (Dunlop et Spratt 2018). Cette fonte ne se ferait pas brutalement, mais pourrait être assez rapide – quelques siècles – si nous dépassons largement les 2°C de réchauffement.

La fonte des glaces va provoquer un réchauffement planétaire supplémentaire. En premier lieu, la réduction des glaces diminue la réflectivité des sols, qui captent du coup plus de chaleur et se réchauffent davantage. L'impact de ce phénomène n'est absolument pas négligeable et n'est de nouveau pas suffisamment pris en compte dans les prévisions du GIEC, comme l'expliquent Dunlop et Spratt (2018). Certain·e·s scientifiques pensent que le fait d'avoir des étés sans glace en Arctique – ce qui devrait se produire une fois par décennie pour un réchauffement de 2°C (GIEC 2018) – pourrait, à lui seul, réduire de 20 à 51% les GES que l'humanité peut encore émettre pour avoir 66% de chance de rester sous les 2°C (Dunlop et Spratt 2018). En second lieu, la fonte des glaces du Groenland et de l'Antarctique pourrait provoquer des changements dans les courants océaniques. Ceux-ci réchaufferont les eaux dans les régions nordiques ainsi que près de l'Est antarctique, amplifiant encore davantage la fonte des glaces, la dégradation de la forêt boréale et la fonte du permafrost (Steffen et al. 2018).

## Conclusion

Ainsi, différents phénomènes auront des effets supplémentaires sur le réchauffement climatique et s'influenceront l'un l'autre pour provoquer davantage de réchauffement. Reprenant les informations de cette partie, il semble qu'il existerait un point imaginaire entre 1,5 et 2°C qui, s'il est dépassé, provoquerait ou amplifierait certains phénomènes ayant comme conséquence un réchauffement supplémentaire sans que les sociétés humaines n'émettent de GES supplémentaires. Si ce point de bascule est dépassé, le réchauffement global risque de se situer, sur le long terme, à 2,5, 3 voire 4 degrés. Or, comme nous le verrons plus bas, un monde à 3 ou 4°C supplémentaires deviendrait invivable pour bon nombre de personnes.

## Conséquences du changement climatique sur les populations humaines

Les conséquences du changement climatique se font déjà ressentir à l'heure actuelle. Les trois épisodes caniculaires qu'a connu notre pays durant cet été ont par exemple causé le décès de 616 personnes supplémentaires par rapport au nombre de décès attendus (Belga 2019).

Ce sont cependant les conséquences futures du changement climatique qui risquent d'être désastreuses. Celles-ci seront sans doute très nombreuses, difficilement prévisibles et dépendront grandement de l'ampleur du réchauffement que nous atteindrons. Il n'est pas possible de dresser un portrait exhaustif des possibles conséquences. Nous pouvons toutefois présenter des événements susceptibles de se produire. Tous ces événements ne vont pas nécessairement survenir, car les sociétés humaines vont également tenter de prévenir ces risques et de s'adapter aux changements. Par exemple, une montée des eaux ne va pas forcément provoquer la submersion des terres, car il est possible de mettre en place des systèmes de digues et de pompes pour capter l'eau. Les Pays-Bas utilisent ces mécanismes depuis des siècles, de telle sorte qu'environ un quart de leur territoire se trouve sous le niveau de la mer. Ce type d'adaptation, comme d'autres, pourrait être mis en place pour diminuer les effets néfastes du changement climatique.

### Montée des températures

Les vagues de chaleur de ces derniers étés en Europe ne sont que le début. Des chercheurs/euses ont calculé les effets du réchauffement climatique sur 520 villes du monde. Leurs modèles, se basant sur un réchauffement mondial modéré, prédisent que Bruxelles aura une température moyenne plus haute de 1,8°C en 2050 par rapport à aujourd'hui. Il est aussi intéressant de remarquer que le réchauffement climatique a des effets plus importants sur les températures extrêmes. À Bruxelles, le mois le plus chaud sera 5,2°C plus élevé en 2050, tandis que le mois le plus froid sera 2,5°C plus chaud. Ainsi, des températures record de presque 45 degrés pourraient être atteintes dans notre pays vers 2050. Jean-François Bastin, un des auteurs/rices de cette étude, n'est pas certain que notre pays verra encore des températures négatives en 2060. Il est probable que la plupart des régions déjà arides aujourd'hui deviendront tellement chaudes qu'elles seront inhabitables dans quelques décennies (Steffen et al. 2018). Par exemple, au Moyen-Orient, le risque est élevé que les températures d'ici la fin du siècle deviennent invivables pour les humains à Abu Dhabi, Doha et Dubaï (Pal et Eltahir 2016). Aujourd'hui, environ 30% de la population mondiale vit

dans une région où les conditions climatiques provoquent des décès supplémentaires plus de 20 jours par an. En 2100, ce chiffre devrait monter entre 48 et 74%, selon le niveau de réchauffement atteint (Mora et al. 2017).

## Modification du climat

Comme déjà mentionné, le climat n'est pas uniquement en train de se réchauffer, mais de se modifier. Les modèles de Bastin et al. (2019a) indiquent ainsi que le climat de Bruxelles en 2050 sera proche de celui de Canberra (Australie) à l'heure actuelle tandis que celui de Londres sera, par exemple, équivalent à celui de Barcelone actuellement. 23% des villes analysées par l'étude auront en 2050 un climat n'existant actuellement nulle part sur la planète (Bastin et al. 2019a). Par ailleurs, les événements climatiques extrêmes vont aussi devenir de plus en plus nombreux – cf. Figure 4.

## Montée du niveau des eaux

Le réchauffement climatique provoquera une montée des eaux importante. Aujourd'hui, certain·e·s scientifiques parlent d'une montée de plus d'un mètre, voire de deux mètres, d'ici à 2100 (Dunlop et Spratt 2018). Il y aurait environ 5% de probabilité d'une montée de plus de deux mètres à la fin du siècle (Kulp et Strauss 2019). Le GIEC (2019, p.42), qui a par ailleurs à plusieurs reprises par le passé dû revoir ses prévisions à la hausse (Dunlop et Spratt 2018), parle maintenant d'une montée entre 0,43 et 0,84 mètre en 2100 par rapport à la moyenne de la période 1986-2005. Pour 2300, une montée de 0,8 à 3,6 mètres par rapport à 1986-2005 semble une évaluation correcte selon différents scénarios de réchauffement du GIEC.

La plupart des régions côtières verront le nombre d'inondations augmenter significativement. Or, un milliard de personnes vivent actuellement à moins de 10 mètres au-dessus du niveau de la mer, dont 250 millions en dessous d'un mètre (Kulp et Strauss 2019). Des terres vont également être entièrement submergées par les eaux. Au Bangladesh, une montée d'un mètre pourrait inonder 20% des territoires et déplacer 30% de la population, composée de 160 millions de personnes actuellement<sup>2</sup> (Dunlop et Spratt 2017). La plupart des petites îles, notamment dans le Pacifique, risquent de disparaître. Par exemple, le point culminant des Maldives, pays composé de 1.199 îles, est de 2,3 mètres d'altitude. En tout, des villes aussi importantes que Shanghai, Hong Kong, Miami, Osaka, Alexandrie, Rio de Janeiro, Calcutta, La Haye, Venise ou New York seront parmi les plus touchées par des inondations de plus en plus fréquentes et certaines par-

---

2 Les différents chiffres présentés dans ce paragraphe ne prennent pas en compte l'adaptation à cette montée des eaux, comme la construction de digues ou de polders.

ties de ces villes pourraient être totalement submergées. La côte flamande sera également davantage soumise aux risques d'inondations. D'ici 2100 et sous les scénarios de réchauffement cantonné sous les 2°C, des territoires accueillants aujourd'hui 190 millions de personnes pourraient se trouver sous le niveau de la mer (Kulp et Strauss 2019). Sous un réchauffement climatique plus important et une montée des eaux de plus de deux mètres d'ici 2100, jusqu'à 640 millions de personnes – à niveau de population actuel – pourraient vivre dans des régions à risque d'inondations, contre 250 millions actuellement.

### Manque d'eau douce

La fonte des glaciers du plateau tibétain va vraisemblablement provoquer un assèchement partiel ou total de très grands fleuves du continent asiatique. Parmi ceux-ci, on retrouve le Gange, l'Indus et le Yang-Tsé-Kiang – aussi appelé fleuve Bleu en français. Ces trois fleuves pourraient être à sec pendant la saison sèche d'ici 25 ans (Giraud 2016). Leurs bassins alimentent respectivement approximativement 450, 300 et 400 millions de personnes. Ceux-ci influenceront la disponibilité en eau de grandes régions de l'Inde, du Pakistan ou encore de la Chine. Le manque d'eau risque également de provoquer une diminution des récoltes, ayant comme conséquence d'intenses famines. Le même problème se pose en ce qui concerne la fonte des glaciers de la cordillère des Andes. Il est possible que La Paz, la capitale bolivienne, n'ait plus accès à l'eau (Giraud 2016). Aujourd'hui, 17 pays, abritant le quart de la population mondiale, sont déjà considérés en stress hydrique extrêmement importants. La Flandre est d'ailleurs considérée dans cette catégorie (Hofste et al. 2019).

### Diminution de la production agricole

Premièrement, l'augmentation de la température provoque une baisse de la productivité des sols. Vers 2050, des baisses de productivité de 10 à 25% seront répandues (FAO 2018). Le problème sera particulièrement important en Afrique, continent comportant déjà la majorité des personnes sous-alimentées de la planète. Deuxièmement, la montée des eaux inondera des terres agricoles. Les deltas du Mékong et du Nil, très importants pour la sécurité alimentaire du Vietnam et de l'Égypte, pourraient être partiellement voire totalement inondés (Giraud 2016). Troisièmement, le réchauffement climatique mettra à rude épreuve les écosystèmes marins. Le GIEC (2018) affirme qu'un réchauffement de 1,5°C entraînerait une perte de 70 à 90% des coraux, et de 99% dans le cas d'un réchauffement de 2°C. Or, 10% de la pêche marine, qui nourrit 500 millions de personnes, repose sur ces écosystèmes (Steffen et al. 2018). Couplé au pic du phosphate – le phosphate est utilisé dans les engrais, il augmente la pro-



ductivité des plantes; son pic signifie le moment où la production de phosphate commencera à diminuer – qui devrait se produire dans la décennie 2040, il est très probable que les difficultés à nourrir une population mondiale grandissante augmenteront drastiquement (Giraud 2016). Les problèmes sont extrêmement divers et variés. Par exemple, en Belgique, la culture du blé est conditionnée par le gel pendant l'hiver, et celui-ci ne devrait plus se produire à l'horizon 2060 (Bastin et al. 2019a).

## Migrations et guerres

Les différentes conséquences mentionnées ci-dessus rendront de nombreuses régions inhabitables. Ainsi, des dizaines de millions de personnes migreront vers d'autres territoires. Comme nous le verrons plus bas, les pays du Sud subiront nettement plus les conséquences du changement climatique. Ainsi, les migrations vers les pays du Nord pourraient être extrêmement importantes. L'afflux pourrait être tel que les problèmes migratoires actuels risquent de sembler bien dérisoires.

Les différentes conséquences du changement climatique sur les populations humaines provoqueront inévitablement des conflits. À noter que plusieurs parmi ceux ayant eu lieu ces dernières années sont déjà partiellement des conséquences indirectes du réchauffement climatique. Par exemple, la montée de l'État islamique en Syrie est en partie le résultat d'épisodes de canicules jamais vus dans le pays entre 2006 et 2010. Ceux-ci ont provoqué la migration de 1,5 million de personnes vers les villes, où le travail était déjà manquant. L'État syrien, incapable de gérer correctement ces arrivées massives dans les villes, provoqua une rupture sociale. Certaines populations, incapables de subvenir à leurs besoins et en rupture avec le pouvoir en place, se sont alors ralliées à l'État islamique. D'autres événements violents, comme le printemps arabe, la montée de l'État islamique en Irak ou encore de Boko Haram au Nigéria sont également en partie des conséquences indirectes du changement climatique (Dunlop et Spratt 2017).

Les conflits liés au changement climatique risquent de devenir de plus en plus fréquents et intenses. Dunlop et Spratt (2017) considèrent que les régions et pays où les risques de conflits provoqués par le changement climatique sont les plus importants sont le Sahel, les Philippines et le Pakistan. Pour ce dernier par exemple, un conflit pourrait être la conséquence de tensions grandissantes avec l'Inde due à un assèchement des fleuves principaux. En effet, la plupart de ceux-ci passant d'abord par l'Inde, elle pourrait décider d'accaparer le peu d'eau restant avant qu'elle n'arrive au Pakistan, y provoquant une pénurie. Rappelons que ces deux pays possèdent l'arme nucléaire ainsi qu'un passé conflictuel très riche.

## Conséquences imprévisibles

D'autres conséquences, beaucoup plus imprévisibles, pourraient subvenir. Par exemple, des scientifiques alertent sur le fait que le dégel du permafrost pourrait provoquer la réapparition de virus préhistoriques congelés dans les sols. Parmi ceux-ci, on peut citer la grippe espagnole, dont la pandémie de 1918 et 1919 a contaminé un tiers de la population mondiale et avait provoqué la mort d'entre 50 et 100 millions de personnes. Cependant, d'autres virus beaucoup plus anciens et inconnus du genre humain y sont également présents. Le corps humain pourrait ne pas y être préparé, et cela pourrait ainsi provoquer des pandémies catastrophiques (Grasset 2019).

## Tous aussi exposés ?

Les pays du Nord subiront en général bien moins les conséquences directes du réchauffement climatique que les pays du Sud. En effet, les augmentations de température y seront importantes, mais elles ne deviendront pas pour autant les régions les plus chaudes de la planète. Elles ne subiront pas non plus des inondations et des ouragans aussi importants que les pays asiatiques. Enfin, ces pays, beaucoup plus riches, auront plus de moyens à disposition pour réduire les problèmes et s'adapter aux changements. Cette situation peut être considérée comme injuste, puisque les pays du Nord sont ceux ayant historiquement le plus contribué – et profité – aux émissions de GES. Un classement des pays en termes de vulnérabilité aux changements climatiques a été conçu par la Notre Dame University (2019). Les pays du Nord sont parmi les moins vulnérables et parmi les plus préparés aux changements. En revanche, les pays africains et d'Asie du Sud-Est sont les plus vulnérables et les moins préparés. Cette situation ne se limite pas aux pays pauvres : les communautés défavorisées, dont les femmes, subissent davantage le réchauffement climatique (Oliva et Owren 2015).

## Répercussions en cas de réchauffement de 4 degrés

Les conséquences mentionnées ci-dessus sont déjà susceptibles de se produire sous un réchauffement global modéré, aux alentours de 2°C. Cependant, étant donné un seuil fictif se situant entre 1,5 et 2°C pouvant entraîner un réchauffement en cascade sans nouvelles émissions de GES humaines, les probabilités d'un réchauffement à 3 ou 4 degrés ne sont pas négligeables. Si tel est le cas, il n'est pas certain que l'humanité puisse s'en remettre. Ainsi, la Banque Mondiale considérait en 2012 que : « il n'est pas certain qu'une adaptation à un monde à 4°C [de réchauffement] soit possible ». Kevin Anderson, professeur d'énergie et de changement climatique à l'Université de Manchester, déclarait en 2011 : « il est largement admis qu'un avenir à 4°C [de réchauffement] est incompatible avec une communauté mondiale organisée ».

## Réponse politique

Pour endiguer le réchauffement climatique, les dirigeant·e·s se réunissent tous les ans depuis environ 25 ans aux COP (Conférences des parties), sous la responsabilité de l'ONU (Organisation des Nations unies). En 1997, le protocole de Kyoto est entré en vigueur. Celui-ci n'avait toutefois que des objectifs assez faibles et ne concernait qu'un nombre limité de pays. Depuis cette date, les dirigeants ont cherché à obtenir un accord plus important. La COP15 de 2009 à Copenhague était censée aboutir à un nouvel accord, mais les dirigeants n'ont finalement pas réussi à s'entendre. Il aura encore fallu six années supplémentaires pour parvenir à un accord, l'Accord de Paris, obtenu lors de la COP21. Ainsi, 20 ans ont été nécessaires aux politiques pour arriver à un accord pour enrayer le changement climatique.

L'Accord de Paris est assez décrié. En effet, d'un côté, l'accord a pour objectif de limiter le réchauffement en dessous des 2°C d'ici à 2100, et si possible de le limiter à 1,5°C. Respecter l'Accord réduirait donc les risques de boucles de rétroactions qui déclencheraient un réchauffement incontrôlable. Mais l'Accord se base sur la bonne volonté des pays pour atteindre les objectifs de réduction. En réalité, les pays doivent rentrer tous les cinq ans leurs « contributions déterminées au niveau national » pour diminuer les émissions de GES. Ces contributions seront alors étudiées par, entre autres, le GIEC, pour vérifier qu'elles sont en accord avec les objectifs de limitation du réchauffement entre 1,5 et 2°C. Cependant, si les contributions ne sont pas suffisantes, aucun mécanisme de sanction n'a été mis en place. Il en va de même si une nation ne respecte pas ses engagements (Saversi 2016). L'Accord se base en réalité implicitement sur le fait qu'une nation serait bien vue si elle s'engage, et respecte, des engagements ambitieux et, à l'inverse, qu'elle serait mal vue dans le cas contraire. L'Accord contient des mécanismes pour permettre à toutes les parties concernées – États, organisations internationales, ONG, entreprises, grand public – de se tirer l'une l'autre vers le haut pour endiguer le réchauffement (Saversi 2016). Bien que ce type de mécanisme non coercitif soit risqué, il semble avoir porté ses fruits à plusieurs reprises. Ainsi, le sommet de l'ONU sur le climat de septembre 2019 a permis d'obtenir quelques engagements ambitieux de la part d'États et entreprises (ONU 2019a). Un autre exemple concerne le Brésil. En 2018, le président brésilien, Jair Bolsonaro, avait déclaré sa volonté de sortir de l'Accord de Paris et de ne pas se préoccuper de la diminution des émissions de GES. Il s'est cependant rétracté, craignant les conséquences économiques qui en résulteraient (Xavantina et Santarém 2019). La pression internationale a donc eu raison des volontés du président brésilien. Cependant, malgré les avancées,

les engagements des États sont encore de 3 à 5 fois inférieurs à ce qu'il faudrait pour rester sous les 1,5°C de réchauffement global. Les engagements actuels mènent ainsi à un réchauffement de 2,9 à 3,4°C pour la fin du siècle (OMM et al. 2019) – et encore, ces chiffres sont sans doute sous-estimés du fait de la non-prise en compte des événements en cascade expliqués plus haut. Nous sommes donc actuellement bien loin de réaliser assez d'efforts pour rester sous les 1,5 ou 2°C. Or, comme déjà vu, ne pas dépasser ce seuil est fondamental.

## **Possible de rester sous les 1,5 ou 2 degrés ?**

Pour rester sous un certain niveau de réchauffement planétaire, il faut limiter la quantité de GES dans l'atmosphère. Le budget carbone est défini comme la quantité de CO<sub>2</sub> que l'humanité peut encore envoyer dans l'atmosphère pour avoir une certaine probabilité de rester sous un niveau donné de réchauffement<sup>3</sup>. Le budget carbone est donc une sorte de limite d'émission à ne pas dépasser. Le Tableau 1 reprend les budgets carbone fin 2017 pour certains cas de figure. Les chiffres donnés sont des estimations incertaines étant donné la complexité des calculs à effectuer.

	33%	50%	66%
1,5°C	840	580	420
2°C	2030	1500	1170

Tableau 1. Budgets carbone (en Gt de CO<sub>2</sub>) selon le modèle AR5 du GIEC. Source : GIEC (2018, p.122).

Les budgets sont bien différents selon que la limite est placée à 1,5 ou 2°C. Le niveau actuel d'émission CO<sub>2</sub> étant de 37 Gt par an et étant toujours en augmentation (OMM et al. 2019), il est clair que rester sous ces niveaux d'émission sera extrêmement compliqué. De plus, les estimations du GIEC sont en général assez optimistes car, comme expliqué plus haut, les modèles pris en compte par l'institution scientifique ne parviennent pas à prendre complètement en compte les boucles de rétroactions en jeu (Dunlop et Spratt 2018). Rappelons qu'à partir d'un certain seuil qui se trouve vraisemblablement entre 1,5 et 2°C, un point de bascule déclenchant un nouveau réchauffement en cascade pourrait être franchi.

Il existe différents chemins possibles pour limiter le réchauffement climatique. Selon Rockström et al. (2017) dans un article publié dans la revue Science, il faudrait que nous diminuions les émissions par deux durant chacune des trois

3 La notion de budget carbone ne concerne que le CO<sub>2</sub>, la quantité totale de GES à ne pas dépasser est donc légèrement supérieure.

prochaines décennies pour avoir 50% de chance de rester sous les 1,5°C, et 66% de chance de rester sous les 2°C. Selon le GIEC (2018, p.12) :

« Dans les modèles avec dépassement limité ou inexistant de 1,5°C, les émissions mondiales nettes de CO<sub>2</sub> diminuent d'environ 45% par rapport aux niveaux de 2010 d'ici 2030 [...] pour atteindre zéro autour de 2050 [...]. Pour limiter le réchauffement de la planète à moins de 2°C, les émissions de CO<sub>2</sub> devraient diminuer d'environ 25% d'ici 2030 sur la plupart des modèles [...] et atteindre des émissions nulles vers 2070. »

Notons que ces modèles impliquent généralement des « émissions négatives » qui permettront d'atteindre une « émission zéro » à l'avenir. Le GIEC ne sous-entend pas que l'humanité arrêtera d'émettre des GES, mais que des techniques auront été mises au point pour éviter que plus de GES n'arrivent dans l'atmosphère que ce qui en sera enlevé. Ces technologies ne sont pas encore au point. Nous reviendrons à ce sujet dans les Chapitres 2 et 3 et étudierons en détail ces technologies.

Par conséquent, tant Rockström et al. (2017) que le GIEC (2018) demandent des efforts colossaux pour rester sous un niveau de réchauffement évitant le franchissement du point de bascule. De plus, ces chemins ne donnent que 66% de chance d'atteindre l'objectif en question. Les incertitudes font que, même en limitant suffisamment les émissions de GES pour rester sous les niveaux des budgets carbone, un réchauffement bien supérieur à 1,5 ou 2°C est encore possible (Dunlop et Spratt 2018). La Figure 6 montre bien ce phénomène : dans cette situation, le réchauffement le plus probable se situe entre 2,5 et 3°C, mais il reste encore 10% de probabilité d'un réchauffement au-delà des 6°C.

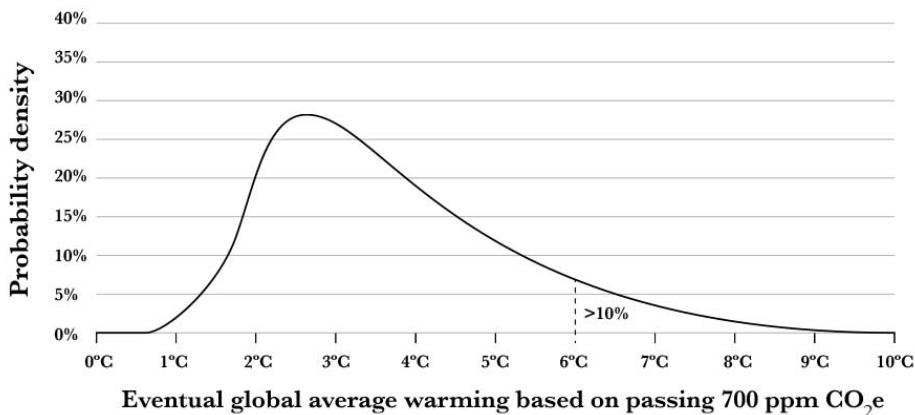


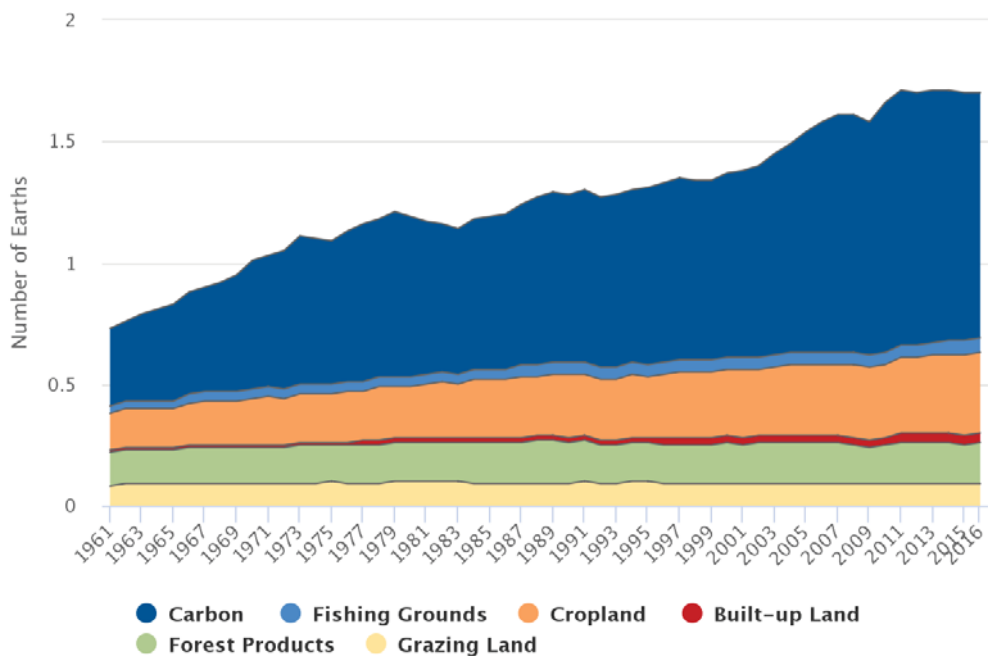
Figure 6. Estimation de la probabilité de réchauffement sous une atmosphère contenant 700 particules de CO<sub>2</sub>e par million (ppm). © Wagner et Weitzman (2015).

## Écosystèmes, empreinte écologique, biocapacité et limites planétaires

L'impact de l'activité humaine n'est pas néfaste que pour les sociétés humaines, elle l'est également pour les écosystèmes. Les populations de nombreuses espèces animales et végétales sont en chute. Selon un rapport de WWF (2018), 60% des populations mondiales de vertébrés sauvages – mammifères, poissons, oiseaux, reptiles et amphibiens – ont disparu entre 1970 et 2014. En Europe, environ 80% des populations d'insectes volants auraient disparu entre 1989 et 2016 (Hallmann et al. 2017). La modification des écosystèmes peut aller jusqu'à provoquer la disparition de certaines espèces. Ainsi, environ 7% des espèces auraient déjà disparu à cause de l'espèce humaine (Régnier et al. 2015) et, d'après la Plateforme intergouvernementale sur la biodiversité et les services écosystémiques (IPBES) (2019), équivalent du GIEC concernant la biodiversité, jusqu'à 1 million des 8 millions d'espèces animales et végétales recensées sur Terre seraient menacées d'extinction. Si le rythme d'extinction actuel continue, nous pourrions être au début de la « sixième extinction de masse » sur la planète (AFP 2019).

Cette modification des écosystèmes est en partie due au changement climatique, mais également à d'autres activités humaines. Parmi elles, la pollution des sols et de l'air, la déforestation, la consommation d'eau, la diminution des terres disponibles pour permettre aux écosystèmes de subsister, l'accumulation de déchets, etc. Une échelle a été mise en place pour mesurer l'empreinte humaine sur l'environnement, l'« empreinte écologique ». Elle mesure le capital écologique requis pour produire les ressources naturelles qu'une population humaine donnée consomme. Si la consommation d'une population est trop importante, alors celle-ci ne laisse pas le temps à l'environnement de se régénérer.

Actuellement, l'humanité requiert 1,7 planète Terre, et ce chiffre est en constante augmentation (Global Footprint Network 2019a). L'humanité vit donc à crédit, car elle ne laisse pas aux écosystèmes le temps de se régénérer, ce qui provoque leur déperdition. Les émissions de GES représentent 60% de l'empreinte écologique de l'humanité (Earth Overshoot Day 2019) – cf. Figure 7. Si toute la population mondiale consommait l'équivalent de ce qu'un Belge consomme, l'humanité aurait besoin de 4 Terres (Global Footprint Network 2019a).



Global Footprint Network, 2019 National Footprint Accounts

Figure 7. Évolution de l’empreinte écologique mondiale. © Global Footprint Network (2019a).

La notion d’empreinte écologique implique une notion de limite planétaire, qui est dans ce cas la capacité de l’environnement à se régénérer. Celle-ci est appelée « biocapacité ». Il existe en réalité plusieurs « limites planétaires ». En 2009, un groupe de chercheurs/euses a défini neuf limites qui, si elles sont dépassées, provoqueraient des conséquences imprévisibles à l’échelle planétaire risquant de compromettre les conditions favorables dans lesquelles l’humanité a pu se développer. À l’époque, trois limites étaient considérées comme dépassées. Celles-ci sont l’érosion de la biodiversité, la perturbation du cycle de l’azote et le changement climatique – cf. Figure 8. Les recherches ont été actualisées en 2015. Une dixième limite planétaire a été rajoutée. L’actualisation a poussé les chercheurs/euses à la conclusion que deux indicateurs – biodiversité et cycle biochimique – sont au-delà du seuil limite, et que deux autres – changement climatique et changement des sols – sont dans la zone d’incertitude.

## Planetary Boundaries

after Johan Rockström, Stockholm Resilience Centre et al. 2009

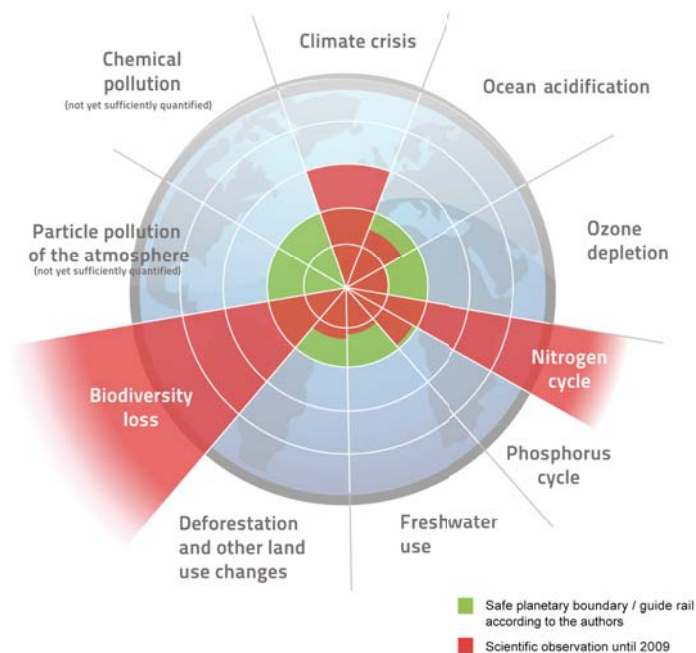


Illustration: Felix Müller ([www.zukunft-selbermachen.de](http://www.zukunft-selbermachen.de)) Licence: CC-BY-SA 4.0

Figure 8. Limites planétaires telles que définies en 2009. © Felix Mueller – CC BY-SA 4.0.

### Épuisement des ressources naturelles

Un problème environnemental majeur est l'épuisement des ressources naturelles. Sans l'utilisation de ces ressources, il est impossible pour l'humanité de maintenir les niveaux de consommation actuels. Les sociétés humaines sont ainsi mises en danger quand des ressources naturelles importantes viennent à manquer. Plusieurs ressources importantes sont proches de l'épuisement. Parmi elles, les métaux. En effet, plusieurs d'entre eux sont proches de l'épuisement. Les estimations de réserves en ressources naturelles sont toujours hasardeuses, car de nouvelles pourraient être découvertes et de nouvelles techniques d'extraction pourraient voir le jour (Bihouix 2015, p.9). Toutefois, selon les dernières estimations, sur les 60 métaux présents sur Terre, une dizaine d'entre eux devraient être épuisés dans une ou deux générations si nous continuons au rythme actuel d'extraction (USGS 2019), et ce nombre monte à au moins une vingtaine si la croissance de la l'extraction de ces métaux continue au rythme actuel – cf. Tableau 2. De plus, parmi les réserves de métaux prises en compte, certaines ne sont actuellement pas rentables (USGS 2019, pp.195-196).



Épuisement à court terme (moins de 30 ans)	Épuisement à moyen terme (moins de 50 ans)
Antimoine	Manganèse
Strontium	Nickel
Étain	Cuivre
Argent	Sélénium
Cobalt	Niobium
Or	Molybdène
Zinc	Lithium
Plomb	Bore
Bismuth	Yttrium
Chrome	Tungstène
Indium	Gallium
Germanium	
Tantale	
Zirconium	

Tableau 2. Estimation de la date d'épuisement de métaux si les taux de croissance de production continuent aux rythmes des dernières décennies. Sources : croisement des données de Bihouix (2015), Geldron (2018, p.9), Halloy (2018, pp.40-41) et USGS (2019).

Les sources non renouvelables d'énergie sont également assez proches de l'épuisement. Selon BP (2019), les réserves prouvées et utilisables aux conditions économiques et technologiques actuelles de pétrole, gaz naturel, nucléaire et charbon sont respectivement de 50, 51, 90 et 132 ans. En tout, ces 4 ressources combinées représentent 91 ans de consommation d'énergie au rythme actuel.

D'autres ressources sont également proches de l'épuisement. Parmi elles, le phosphate (Giraud 2016), les terres exploitables, l'eau potable ou encore le sable – nécessaire à la production du béton (Delestrac 2013).

## **Vers un effondrement ?**

Les efforts à accomplir, collectivement et individuellement, pour limiter suffisamment les émissions de GES et pour rester sous les limites planétaires sont tellement gigantesques que certain·e·s pensent que les sociétés humaines n'y arriveront pas (Anderson 2016). Par conséquent, étant donné les possibles conséquences dramatiques évoquées plus haut, nos civilisations pourraient finir par s'effondrer. Même le secrétaire général de l'ONU, António Guterres, a déclaré en 2018 : « nous sommes face à un risque existentiel direct ».

Bien que les travaux explicités dans ce chapitre soient récents, certain·e·s écologistes pensent depuis longtemps qu'un effondrement de nos civilisations est probable. En 1972 déjà, le rapport intitulé *Les limites de la croissance* prédisait, à l'aide des premiers programmes informatiques permettant la modélisation de systèmes complexes, qu'un effondrement était probable (Meadows et al. 1972).

Presque tous les scénarios prévoyaient en effet une baisse drastique de la population mondiale durant le 21<sup>e</sup> siècle. Dans ce rapport, la cause principale de l'effondrement était l'épuisement rapide des ressources naturelles non renouvelables, et non le changement climatique et ses répercussions. Ce livre avait fait l'effet d'une bombe à l'époque. Il avait, avec la crise pétrolière et plusieurs autres livres écologistes de la fin des années 60 et du début des années 70, provoqué une première prise de conscience écologiste au sein de la population (Viallet 2019). Il est intéressant de noter que, presque 50 ans après la rédaction du rapport, le monde suit les trajectoires prédites par les modèles. Nous sommes actuellement en train de suivre les trajectoires menant, d'après les prédictions du rapport, à un début d'effondrement dans la décennie 2020 ou dans la décennie 2040 (Turner 2014).

L'étude de l'effondrement de nos civilisations et de ce qui pourrait lui succéder est appelée « théorie de l'effondrement » ou « collapsologie ». Bien que ce courant d'étude à proprement parler soit très récent, il se base sur des travaux antérieurs, qui sont considérés comme précurseurs. Parmi eux, les écrits de l'anthropologue et historien Joseph Tainter (1988) et du géographe, biologiste et anthropologue Jared Diamond (2006) sont régulièrement cités. Le premier a soutenu la thèse que les sociétés humaines finissent presque inmanquablement par s'effondrer parce qu'elles règlent chaque problème en rendant la société plus complexe. Cette complexité grandissante provoque des problèmes toujours plus complexes, et il existe donc inexorablement un moment où la société n'est plus capable d'y trouver des solutions. Tainter a étayé sa thèse en se basant sur d'anciennes civilisations, comme les Empires romains, mayas et anasazis. Le second a soutenu que les sociétés actuelles souffrent des mêmes problèmes environnementaux qui ont mené par le passé à l'effondrement de plusieurs anciennes civilisations. Il explique également qu'un effondrement est souvent rapide après le pic de la civilisation. Diamond soutient la thèse, se basant sur les exemples de plusieurs civilisations, qu'il est possible de trouver des solutions permettant à la civilisation de perdurer malgré ce type de problèmes.

Le thème de l'effondrement a été popularisé en francophonie par Pablo Servigne et Raphaël Steven (2015), qui ont publié *Comment tout peut s'effondrer : petit manuel de collapsologie à l'usage des générations présentes*. Le but de l'ouvrage était d'effectuer une synthèse des connaissances actuelles concernant l'effondrement et de ce qui pourrait lui succéder. Contrairement aux « survivalistes », qui se préparent à l'effondrement en construisant des bunkers et en s'armant, les collapsologues imaginent un futur après effondrement – partiel ou total – basé sur l'entraide, la coopération et l'altruisme (Servigne

et Chapelle 2017). La préparation à l'effondrement est également différente, basée sur l'autonomie en ressources, notamment via des potagers agroécologiques ne nécessitant pas d'apports en ressources provenant d'en dehors de la communauté locale (Pak 2019).

Ce courant de pensée, bien que récemment popularisé, est de plus en plus relayé dans les médias ainsi que dans les milieux intellectuels et politiques. La série *L'Effondrement*, diffusée fin 2019 sur Canal+, en est un exemple. Le Premier ministre français, Édouard Philippe, se déclare par ailleurs très familier des questions d'effondrement, et entend agir pour l'éviter (Pak 2019).

## CHAPITRE 2 : RÉPONSE HABITUELLE AUX ENJEUX ENVIRONNEMENTAUX

Les environmentalistes, c'est-à-dire les personnes cherchant à préserver l'environnement, ne sont pas toutes d'accord sur la manière de répondre aux problèmes environnementaux. Il est en réalité possible de dégager un courant de pensée « dominant » de réponse aux enjeux environnementaux. Il est ici appelé « dominant » car il compte parmi ses adeptes la plupart des personnes et organismes ayant du pouvoir, c'est-à-dire la plupart des États, des institutions internationales et des entreprises multinationales (Clapp et Dauvergne 2011).

Le début de ce chapitre explique en détail la vision du monde défendue par ce courant. Il est inspiré du livre *Paths to a Green World. The Political Economy of the Global Environment* de Jennifer Clapp et Peter Dauvergne (2011), et regroupe les courants « libéraux de marché » et « institutionnalistes » de l'ouvrage. Il est bon d'insister sur le fait que tous les États, institutions internationales et entreprises multinationales n'ont pas une vision commune de la réponse à apporter aux enjeux environnementaux. Cette partie fournit une généralisation. Il existe des organisations défendant une vision bien différente, et d'autres qui ne se retrouveront pas tout à fait dans celle présentée dans ce chapitre. Nous verrons toutefois que beaucoup d'organisations importantes ont une vision assez proche de celle-ci. Dans le but d'alléger, le courant de pensée présenté dans ce chapitre sera régulièrement abrégé « pensée dominante » ou « vision dominante ».

### Croyance en l'ingéniosité humaine et les technologies

La pensée dominante a été fortement influencée par les théories économiques néoclassiques et sa vision est principalement basée sur un seul pilier, l'ingéniosité humaine. Selon cette pensée, l'ingéniosité humaine est ce qui a permis à l'humanité de répondre aux problèmes et de prospérer jusqu'à présent. Les partisans de cette vision du monde ne rejettent pas nécessairement la gravité des problèmes environnementaux actuels, mais ils ou elles ont foi en la capacité de l'être humain, doué de raison et aidé des sciences modernes, à concevoir des technologies permettant de résoudre chacun des problèmes. Ces personnes sont parfois appelées techno-optimistes ou cornucopiennes (Clapp et Dauvergne 2011).

Les technologies actuellement envisagées pour répondre aux problèmes environnementaux – ces dernières seront présentées en détail plus loin dans ce chapitre – ne sont pour la plupart que partiellement opérationnelles et pas encore disponibles à grande échelle. La vision dominante n'y voit pas d'inconvénient majeur : les problèmes liés à leur opérationnalisation trouveront des solutions et, si tel n'est pas le cas, d'autres technologies verront le jour.

Parmi les personnes défendant cette vision se trouvent l'énergéticien Damien Ernst (2019) et le prospectiviste Jeremy Rifkin (2019). En janvier 2019, les paroles de Bart de Wever dans une interview en réponse aux manifestations des jeunes pour le climat ont parfaitement illustré cette pensée :

*« Les jeunes ne doivent pas croire aux scénarios d'apocalypse ni aux prédictions de malheurs qui exigent que l'humanité fasse des changements irréalistes. Les jeunes doivent avoir confiance en l'avenir et en la force de l'innovation. S'ils se penchent sur le passé, ils verront que l'humanité a toujours rencontré des problèmes majeurs mais que nous avons toujours trouvé des solutions grâce à l'innovation. C'est à cette génération de jeunes d'aller à l'école et de suivre les cours de mathématiques et de physique,.... pour nous aider à trouver ces solutions. Les solutions viendront, nous devons tout mettre en œuvre pour les trouver. L'humanité doit aller de l'avant, croître et innover sur le plan économique. [...] Il faut être honnête : nous ne disposons pas encore de la technologie pour trouver des solutions à tout surtout en matière de transition énergétique, mais cela arrivera. Et encore une fois si on regarde le passé de l'humanité et la façon dont nous avons géré le problème des carburants, on voit bien que nous avons constamment trouvé des solutions en inventant de nouveaux carburants. Pourquoi ne pourrions-nous pas le faire au cours des 100 prochaines années ? Tout indique que le meilleur est encore devant nous et pas derrière nous. »*

Une vision proche de celle-ci a également été avancée par Charles Michel au magazine Wilfried en juin 2018 (Brabant et Jardon 2018). À une question des journalistes sur la manière de concilier croissance économique avec diminution des émissions de GES, il a répondu :

*« Je crois que les sciences et l'innovation sont une des clés très importantes. Elles nous permettront de réconcilier la question du développement et de la durabilité. Prenez la problématique du stockage d'énergie, ou celle des batteries : il va falloir des bonds technologiques pour les résoudre. Quand j'étais enfant, on utilisait de gros téléphones à touches ATT; aujourd'hui, ma fille de deux ans et demi chipote avec aisance sur une tablette. Ces bonds, je crois, vont s'accélérer.[...] Je ne suis pas naïf, mais je pense que le génie humain, la force créatrice de l'humanité, ont souvent réussi à relever des défis qu'on croyait insurmontables. »*

## Promotion de l'innovation : libre marché, marché carbone, libre entreprise, croissance économique et capitalisme vert

Selon la pensée dominante, il faut mettre en place des politiques favorisant grandement l'innovation pour régler les problèmes environnementaux. En effet, plus l'innovation est favorisée, plus le nombre de technologies envisagées et mises en place va augmenter. À cette fin, les partisan·e·s de cette vision prônent des réformes partielles des systèmes économiques, sociaux et politiques. Celles-ci sont fortement influencées par la pensée économique néo-classique (Clapp et Dauvergne 2011).

Premièrement, il faut promouvoir le libre marché, qui est source d'innovation (Schumpeter 1942). Par conséquent, les marchés financiers, les traités de libre-échange entre États ainsi que la mondialisation sont vus, puisqu'ils favorisent l'innovation, comme des outils pour lutter contre les problèmes environnementaux (Clapp et Dauvergne 2011).

Les marchés financiers doivent tout de même, d'après cette pensée, être légèrement réformés pour que les prix proposés prennent en compte l'impact à long terme des dégradations de l'environnement (Clapp et Dauvergne 2011). C'est dans cette optique qu'ont été inventés les « marchés carbone »<sup>4</sup>. Ceux-ci sont des marchés spécialisés qui permettent l'achat de permis d'émissions de CO<sub>2</sub> ou d'autres GES par les entités émettrices. Le plus important de ces marchés est celui mis en place par l'Union européenne (UE), appelé ETS (Emissions Trading System), qui couvre 45% des émissions de GES dans la région (Commission européenne 2019). Il se base sur le principe de « plafond et commerce ». Un plafond d'émission de CO<sub>2</sub> ou de GES est défini chaque année, en accord avec les émissions attendues cette année-là pour respecter l'Accord de Paris. En conséquence, un nombre décroissant de permis d'émission est délivré chaque année. Les émetteurs de CO<sub>2</sub> lors de la phase de production, c'est-à-dire principalement les entreprises<sup>5</sup>, doivent alors acheter autant de permis d'émission qu'elles voudront émettre du CO<sub>2</sub>. Ces permis d'émission sont des produits

---

4 Ces marchés ne prennent généralement pas en compte les autres problèmes environnementaux que le réchauffement climatique. Cependant, il est théoriquement possible de créer des marchés concernant ces autres enjeux. Les marchés carbone actuels prennent d'ailleurs souvent seulement en compte les émissions de dioxyde de carbone et non celles d'autres GES. Quand un marché prend en compte les différents GES, il est parfois appelé « marché d'émission », même si ce terme est peu utilisé.

5 Parallèlement aux marchés carbone expliqués dans cette étude, l'Accord de Paris prévoit un système de marché carbone assez équivalent mais qui se situerait au niveau des États. Un tel système a déjà existé par le passé au sein du Protocole de Kyoto, mais avait été très peu concluant. Les États discutent actuellement des détails d'un tel marché inter-États, ces discussions devenant une des principales zones de blocage actuel des négociations internationales sur le climat.

financiers comme les autres : ils peuvent être vendus, échangés et des produits spéculatifs sont également disponibles. Si le nombre de permis est faible et que beaucoup d'entités veulent émettre des GES, alors le prix d'un permis d'émission devrait augmenter, en accord avec le principe de l'offre et de la demande. Si tel est le cas, les entreprises devraient avoir tendance à investir de manière à réduire leurs émissions de GES, et donc notamment dans de nouvelles technologies. Au fil des années et de la diminution du nombre de permis d'émission, le prix d'un permis devrait augmenter. Si le plafond d'émission a été bien défini et qu'un contrôle suffisant est effectué pour vérifier que chaque entité émettrice a effectivement acheté des permis d'émission en suffisance, alors les secteurs soumis aux marchés carbone devraient parvenir à respecter les réductions d'émissions attendues. Si tel est le cas et que toutes les émissions mondiales doivent être « achetées » sur un marché, alors les prix de chaque bien et service dans le monde seront proportionnels à leurs émissions de CO<sub>2</sub> ou de GES. Pour autant, le principe de libre-échange est conservé.

Pour la pensée dominante, une grande partie de la solution aux problèmes environnementaux réside dans ces marchés. Le principe du marché carbone semble a priori adéquat, puisqu'il permet théoriquement de rendre les prix de chaque bien et service proportionnels à ses émissions de GES. Il pourrait même être plus juste que des taxes et subsides décidés par les pouvoirs publics. En effet, il semble impossible que les taxes et subsides soient exactement proportionnels aux émissions de GES causés par la fabrication et l'utilisation d'un bien ou service. Une quantité innombrable de paramètres devraient être pris en compte. Pour illustrer, une taxation proportionnelle d'un vol passager en avion devrait au minimum prendre en considération le type d'avion et la quantité de kérosène nécessaire au voyage, sans même compter d'autres paramètres importants. La taxe aéronautique française, instaurée en avril 2019, prend seulement en compte le fait que le vol ait une destination dans ou en dehors de l'Espace économique européen (République française 2019). Vous paierez donc la même taxe si vous partez au Maroc à bord d'un petit avion – dont la fabrication n'a pas émis une grande quantité de GES – que si vous partez en Australie avec un gros avion. Le marché carbone pourrait, lui, parvenir à fournir une proportionnalité plus fine.

Deuxièmement, l'État doit prendre des mesures favorisant la libre entreprise et permettant la création de start-ups innovantes. Ces mesures comprennent la réduction des lourdeurs administratives pour les entreprises ou encore un certain « laissez-faire » pour leur permettre de se focaliser sur l'innovation et non sur des contraintes sociales ou éthiques (Clapp et Dauvergne 2011). Par exemple, même si le numérique peut provoquer de nombreux problèmes

sociétaux (Plomteux et al. 2020), son développement doit tout de même continuer. Le rôle de l'État dans l'innovation doit par ailleurs être limité. Les subventions et taxes sont considérées comme des freins au libre marché, et doivent être évitées. Le rôle de l'État est principalement cantonné à fournir un enseignement scientifique et technologique de qualité, ainsi que de faire en sorte que les jeunes citoyen·ne·s choisissent des filières liées aux innovations technologiques.

Troisièmement, il faut favoriser la croissance économique. En effet, la pensée dominante de réponse aux problèmes environnementaux estime que la croissance économique aide les entreprises et les États à trouver l'argent nécessaire pour investir dans les technologies permettant la réduction de l'empreinte environnementale mondiale (Rosenberg 2006; Romer 1986). Certain·e·s adeptes de cette pensée croient qu'il existe un niveau de richesse à partir duquel un État ou une entreprise parviendrait à réduire son impact sur l'environnement. Cette relation hypothétique s'appelle la courbe de Kuznets environnementale (Clapp et Dauvergne 2011; Alexander 2015) – cf. Figure 9. La croissance économique deviendrait alors « verte » ou « durable », et elle permettrait de découpler l'augmentation de la richesse de l'impact environnemental (Parrique et al. 2019) – cf. Figure 9. L'hypothèse de la courbe de Kuznets environnementale tombe petit à petit en désuétude (Parrique et al. 2019, p.19), mais l'idée de pouvoir découpler la croissance économique de l'impact environnemental reste très présente.

Empreinte écologique  
par habitant

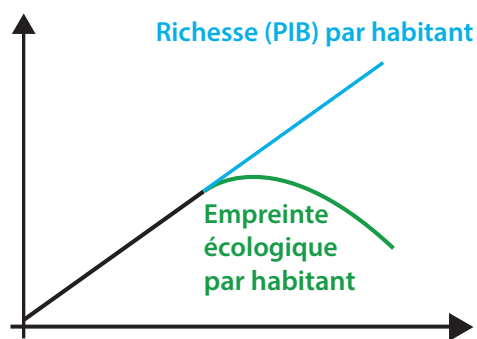
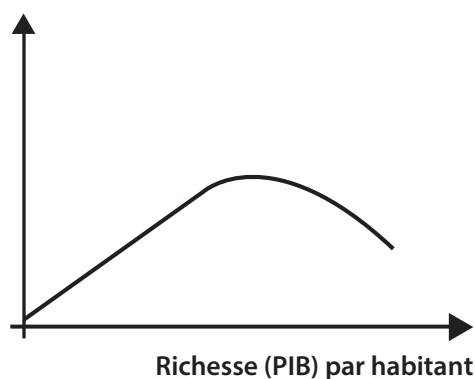


Figure 9. À gauche, courbe de Kuznets environnementale. À droite, relation de découplage entre la croissance économique et l'empreinte écologique.



Ces différentes mesures provoquent des changements dans le système économique mondial sans toutefois remettre en question ses fondements. Les réformes provoqueraient l'avènement d'un « capitalisme vert », c'est-à-dire un capitalisme qui prend en considération les problèmes environnementaux (Brand 2016).

Ces mesures et ce système sont défendus par *The Economist*, un des journaux les plus influents au monde (Zevin 2012) et adepte du courant de pensée dominant (Clapp et Dauvergne 2011). Dans son édition *The climate issue* de fin septembre 2019, il est écrit (pp.11-12) [traduction de l'anglais] :

*« En fait, conclure que le changement climatique devrait impliquer la restriction du capitalisme serait peu avisé et dommageable. La vigueur, l'innovation et l'adaptabilité que les marchés libres apportent aux économies ont une immense valeur. Les économies de marché sont des puits qui fournissent la réponse que le changement climatique nécessite. Des marchés concurrentiels proprement incités, et des politiciens servant une véritable soif populaire pour l'action, peuvent faire plus que n'importe quel autre système pour limiter le réchauffement. [...]*

*Avec des améliorations technologiques plausibles et beaucoup d'investissements, il est possible de produire des réseaux électriques ne nécessitant pas de centrales émettrices de dioxyde de carbone. Le transport routier peut être électrifié [...]. Les processus industriels peuvent être rééquipés; ceux qui doivent émettre des gaz à effet de serre peuvent les capter.*

*Il est idiot de penser que tout ceci peut être fait en dix ans [...]. Mais les efforts d'aujourd'hui, qui sont insuffisants pour rester sous les deux ou trois degrés de réchauffement, peuvent être grandement améliorés. [...] Un prix robuste sur le carbone peut stimuler de nouvelles formes d'innovation que les planificateurs/trices ne peuvent pas encore imaginer. »*

Les mesures politiques expliquées dans cette section sont promues par de nombreuses institutions. Dans la vision stratégique à long terme de l'UE pour une économie neutre pour le climat, les mots « innovation », « technologie », « compétitivité » et « croissance » sont cités chacun plus de dix fois en 30 pages. Les changements de comportements ne sont, eux, mentionnés qu'à deux reprises (Commission européenne 2018). Le constat est à peu près identique pour le Green Deal européen (Von der Leyen 2019). L'ONU, dans ses 17 Objectifs de développement durable, déclare au sein de l'Objectif 9 : « le progrès technologique est à la base des efforts entrepris pour atteindre les objectifs environnementaux » (ONU 2019b). Ces dernières années, la Banque Mondiale, le

Programme environnemental des Nations unies (PNUE), le 8<sup>e</sup> Objectif de développement durable de l'ONU ou encore la vision 2020 de la Commission européenne ont tous promu la croissance verte et/ou le découplage de la croissance économique de l'impact environnemental (Parrique et al. 2019).

## **Technologies envisagées**

Des technologies sont actuellement conçues pour répondre aux problèmes environnementaux. Cette section présente un tour d'horizon des plus sollicitées d'entre elles pour rester sous les 1,5 ou 2°C de réchauffement climatique d'ici 2100<sup>6</sup>. Plusieurs défauts majeurs de ces technologies ont été intentionnellement omis et seront explicités dans le Chapitre 3. Cette section est plutôt technique, mais elle est importante pour comprendre si l'optimisme du courant de pensée dominant envers les technologies se vérifie dans les faits.

Il existe principalement quatre méthodes technologiques envisagées pour rester sous les 1,5 ou 2°C de réchauffement. La première consiste à émettre moins de GES pour produire la même quantité d'énergie. On parle dans ce cas de la réduction de l'intensité d'émission ou, par abus de langage, de la réduction de l'intensité carbone. La deuxième consiste à réduire la quantité d'énergie nécessaire à la réalisation d'une action. On parle alors d'une augmentation de l'efficacité énergétique ou, par abus de langage, d'une augmentation de l'efficacité énergétique. La troisième consiste à enlever des GES de l'atmosphère, et la dernière à modifier le climat pour baisser la température globale.

### **I. Réduction de l'intensité d'émission**

La première méthode consiste à élaborer des technologies permettant de réduire la quantité de GES émise pour produire la même quantité d'énergie. Plusieurs d'entre elles ont été mises au point ces dernières décennies, et font aujourd'hui partie intégrante de nos vies, notamment l'énergie solaire, éolienne ou encore nucléaire. Elles émettent en effet plusieurs dizaines de fois moins de GES sur l'ensemble de leurs cycles de vie que les énergies fossiles pour produire de l'électricité – cf. Tableau 3.

---

6 Par souci d'espace, il n'est pas mentionné les technologies envisagées pour répondre aux autres problèmes environnementaux que le changement climatique. Celles-ci tournent généralement autour de la réduction de la quantité de ressources nécessaires à la réalisation d'une même action. Dans ce cas, on parle de l'augmentation de l'efficacité en cette ressource. Les innovations technologiques favorisant le réemploi, le partage, la réparation, la rénovation, le reconditionnement et le recyclage sont préconisées. Elles font partie de l'« économie circulaire » (Geissdoerfer et al. 2017).

Méthode de production d'énergie	Intensité carbone (gCO <sub>2</sub> e/kWh)
Charbon	820
Fioul	778
Diesel	778
Gaz naturel	490
Solaire	45
Géothermie	38
Hydroélectrique	24
Marine	17
Nucléaire	12
Éolien	11

Tableau 3. Intensité carbone médiane selon la méthode de production d'électricité. Ces résultats prennent en compte toutes les étapes du cycle de vie de la production, y compris l'extraction des minerais et la gestion des déchets. Sources : Gagnon et al. (2002) pour les chiffres sur le fioul et le diesel; GIEC (2014, p.1335) pour les autres.

Certaines de ces technologies sont moins connues. L'énergie marine consiste notamment à retirer de l'énergie à partir des vagues et des marées. Elle est encore en phase de développement (Ellabban et al. 2014). La géothermie consiste à extraire une partie de la chaleur contenue dans le sous-sol. L'hydroélectricité est pour sa part produite à partir de barrages.



Figure 10. Centrale électrique géothermique islandaise. Libre de droits.

D'autres types d'énergies pourraient se développer à l'avenir, comme la fusion nucléaire. Attendue depuis des décennies comme la nouvelle source d'énergie mondiale, elle pourrait finalement arriver au cours de ce siècle. Le projet international ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor) devrait aboutir, entre 2025 et 2035, à la première production nette d'énergie par fusion nucléaire – c'est-à-dire que plus d'énergie aura été produite que l'énergie initialement nécessaire pour sa production. Cette méthode de production d'énergie serait a priori peu émettrice de GES (ITER 2019a).



Figure 11. Vue aérienne du site du projet ITER en mars 2018. © Oak Ridge National Laboratory – CC-BY-2.0.

Ces différentes technologies à faible intensité carbone peuvent donc réduire drastiquement les émissions de GES humaines sans pour autant réduire la consommation énergétique mondiale. Pour parvenir à une utilisation massive de ces sources d'énergie, il faudra transformer certaines infrastructures présentes dans nos sociétés puisque ces méthodes de production d'énergie ne s'utilisent pas de la même manière que les énergies fossiles. Impossible par exemple de rouler à l'électricité dans une voiture traditionnelle, à combustion thermique. Il faut donc créer de nouvelles technologies permettant d'utiliser ces énergies dans le secteur du transport, du chauffage et du refroidissement des bâtiments, etc. Ces nouvelles technologies arrivent petit à petit. Dans le secteur du trans-

port, les voitures électriques et à hydrogène font leur apparition. Dans le secteur du chauffage des bâtiments, les pompes à chaleur – utilisant l'énergie géothermique - sont de plus en plus nombreuses (Ellabban et al. 2014).

Ces modifications des infrastructures peuvent impliquer des diminutions de rendement. Par exemple, la voiture électrique demande l'utilisation de batteries tandis que la voiture à hydrogène implique différentes réactions chimiques, provoquant chacune des pertes de rendement. L'intensité carbone diminue alors en conséquence. Il n'empêche que, si les pertes de rendement ne sont pas trop importantes, alors la quantité d'émission de GES des voitures électriques et à hydrogène sera toujours largement inférieure à celle des voitures thermiques – si l'électricité de départ est produite à partir de sources d'énergie à faible intensité d'émission (GIEC 2014, Chapitre 8). D'ailleurs, à l'heure actuelle, les voitures électriques émettent généralement moins de GES que les voitures thermiques (GIEC 2014, p.1340) même si l'électricité mondiale est encore pour les deux tiers produite à partir d'énergies fossiles (Agence internationale de l'énergie 2018).

Des réductions de l'intensité d'émission sont également réalisables dans les secteurs très émetteurs de GES. Par exemple, le GIEC (2014, p.1340 et 1345) prévoit que les émissions de GES par kilomètre parcouru en véhicule à combustion thermique devraient diminuer de 40% d'ici 2030 par rapport à 2010, ou encore que la production de ciment – très émettrice de GES – devrait émettre entre 2 et 3 fois moins de CO<sub>2</sub>e en 2050 par rapport à 2010. Ces réductions de l'intensité carbone sont notamment dues à l'augmentation de l'efficacité énergétique, que nous aborderons juste après. Ainsi, bien que restant de gros émetteurs, certains secteurs pourraient contribuer à la réduction des émissions de GES.

## 2. Augmentation de l'efficacité énergétique

Des technologies peuvent permettre de diminuer l'énergie nécessaire à la réalisation d'une action, ce qui implique une diminution des GES émis. Cette méthode est donc importante dans la lutte contre le changement climatique.

Les gains en matière d'efficacité énergétique concernent bon nombre de secteurs. Pour ne mentionner que quelques exemples, l'isolation des bâtiments permet de diminuer la quantité de chauffage nécessaire, les appareils ménagers de dernière génération consomment moins d'électricité, les avions ont doublé leur efficacité énergétique depuis 1970 (Courteau 2013) et, entre 1945 et 2010, la réalisation de la même action numérique demande deux fois moins d'énergie tous les 19 mois (Kooimey et al. 2011).

Des améliorations de l'efficacité énergétique continueront de se produire à l'avenir. Le numérique comprend un ensemble de technologies – intelligence artificielle, analyse de type big data, objets connectés ou encore voitures autonomes – dont il est espéré qu'elles puissent fortement augmenter l'efficacité énergétique de nombreux secteurs. Par exemple, l'utilisation de plusieurs de ces outils en entreprise permet de récolter et d'analyser une grande quantité de données sur les employé·e·s, les machines, etc. dans le but d'optimiser l'utilisation d'énergie et d'autres ressources naturelles. Autre exemple, la voiture autonome pourrait diminuer le nombre d'accidents et fluidifier la conduite, permettant de garder les véhicules plus longtemps et de consommer moins de carburant (Plomteux et al. 2020). Au total, selon GeSI et Accenture (2017), représentant les intérêts d'entreprises du secteur du numérique, une « révolution numérique » pourrait grandement augmenter l'efficacité énergétique et mener à une réduction de 20% des émissions de GES mondiales d'ici 2030 par rapport à un monde sans cette révolution. Après examen approfondi de l'étude en question, ce chiffre semble se baser sur des hypothèses très optimistes. Il démontre toutefois le potentiel offert par le numérique en matière d'efficacité énergétique.

### 3. Enlèvement du dioxyde de carbone

Le principe de cette méthode est de capter une partie du dioxyde de carbone contenu dans l'air pour ensuite le stocker ou le réutiliser de telle sorte qu'il n'accroisse pas l'effet de serre, et ne participe donc pas au réchauffement climatique. Sachant que le CO<sub>2</sub> représente 82% des émissions de GES humaines au cours de ces dernières années (OMM et al. 2019), ces méthodes ont du potentiel. Ces technologies sont regroupées sous l'appellation CDR, pour « carbon dioxide removal » en anglais. Elles sont fortement prônées par le GIEC (2018) parce que ce dioxyde de carbone enlevé augmente alors les budgets carbone – cf. Tableau 1 pour les détails de ceux-ci. L'écrasante majorité des scénarios envisagés pour rester sous les barres des 1,5 ou 2 °C prennent en compte ces technologies. Les différents scénarios du GIEC donnant 66% de probabilité de rester sous les 1,5 °C comprennent l'enlèvement d'entre 100 et 1000 milliards de tonnes (Gt) de CO<sub>2</sub> de l'atmosphère d'ici 2100 (OMM et al. 2019). Un chiffre farouche qui montre à quel point ces technologies sont importantes.

Il existe plusieurs types de CDR, dépendant de la manière de capter, de stocker et/ou d'utiliser le CO<sub>2</sub>. Commençons par expliquer les techniques de stockage et d'utilisation du CO<sub>2</sub>. La technique de stockage préconisée consiste à enfouir le gaz dans certaines des poches rocheuses souterraines ayant permis la formation du pétrole et du gaz naturel. L'idée est simple : si ces poches ont réussi à stocker du gaz naturel ou du pétrole pendant des millions d'années avant l'in-

tervention humaine, elles peuvent encore y parvenir. Les capacités de stockage de ce type pourraient atteindre 2000 milliards de tonnes de  $\text{CO}_2$ , c'est-à-dire environ 50 ans d'émissions au rythme actuel (Arte 2015). Par ailleurs, les fuites seraient peu nombreuses, le GIEC (2005) considérant que le stockage dans des poches rocheuses bien choisies garderait 99% du  $\text{CO}_2$  lors des 1000 prochaines années.

Au lieu d'être stocké, le gaz capté de l'air pourrait aussi être utilisé de différentes façons. Parmi celles-ci, on peut citer la production de carburant, la production d'engrais ou encore l'utilisation pour récupérer les restes de pétrole non atteignables dans les



Figure 12. Chaise fabriquée à partir de méthane. © Arte (2015).

gisements (Cuéllar-Franca et Azapagic 2015). Par ailleurs, il est possible d'utiliser d'autres GES que le dioxyde de carbone. Le méthane a par exemple déjà servi à la fabrication de chaises (Arte 2015) – cf. Figure 12.



Figure 13. Centrale à charbon. Le  $\text{CO}_2$  pourrait être capté depuis les cheminées. © Arnold Paul – CCBY-SA2.5.

### **CCS, CCU, DACCS et DACCU**

Il existe principalement deux manières de capter du  $\text{CO}_2$ . La première, la plus ancienne, permet de capter le dioxyde de carbone quand celui-ci est fortement concentré dans l'air. La captation n'est donc possible qu'au sortir des cheminées des grosses usines et des grosses centrales de production d'électricité à partir des énergies fossiles et de biomasse (GIEC 2005) – la biomasse étant l'énergie obtenue par combustion de matière organique, tel le bois. Elle ne permet donc pas de capter le dioxyde de carbone des voitures et de plus petites usines. Le GIEC considérait cependant dans son

rapport de 2005 (p.3) que cette technique était applicable à presque la moitié du CO<sub>2</sub> émis dans le monde chaque année. Cette technologie existe depuis une cinquantaine d'années et, en 2018, 17 projets de ce type sont opérationnels, captant 31,5 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> chaque année (Fayardi et al. 2019, p.9). Ce chiffre représente moins d'un millième des 55,3 milliards de tonnes de CO<sub>2</sub>e émises en 2018 (PNUE 2019), mais c'est quand même prometteur. Associée aux techniques de transport et de stockage ou d'utilisation du carbone, on appelle cette technique CCS ou CCU – « carbon capture and storage/utilisation » en anglais.



Figure 14. Installation de type DAC de l'entreprise Climeworks. Ces 18 ventilateurs permettent de capter le dioxyde de carbone de l'air ambiant. Cette infrastructure pompe 900 tonnes de CO<sub>2</sub> par an. © Financial Times (2019).

La deuxième méthode permet de capter le dioxyde de carbone directement de l'air ambiant, sans avoir besoin d'une forte concentration en CO<sub>2</sub> dans l'air. Cette technique est couramment abrégée DAC – « direct air capture » en anglais. Elle est très récente puisque la première opération réussie de captation de CO<sub>2</sub> directement de l'air ambiant date de 2015. Elle est cependant en expansion rapide. L'entreprise Carbon Engineering, l'une des trois seules entreprises ayant réussi à concevoir une technique de DAC, devrait construire d'ici 2023 un modèle de DAC permettant de capter un million de tonnes de CO<sub>2</sub> par an (Carbon Engineering 2019). Ceci représente moins de 1/5000 des émissions mondiales annuelles de GES, mais les technologies de type DAC semblent également prometteuses. Associées aux techniques de transport et de stockage ou d'utilisation du carbone, on parle de DACCS ou DACCU – « direct air carbon capture and storage/utilisation » en anglais (GIEC 2018, p.17).



## Plantation d'arbres

Les techniques de CCS/U et DACCS/U ne sont pas les seules envisagées pour enlever du dioxyde de carbone de l'atmosphère. Il existe une technique beaucoup plus conventionnelle : la plantation d'arbres. D'après l'étude scientifique de Bastin et al. (2019b), la plantation de forêts sur toutes les terres inoccupées au niveau mondial pourrait permettre d'éliminer environ 205 Gt de CO<sub>2</sub> de l'atmosphère<sup>7</sup>, soit l'équivalent d'environ 4 ans d'émissions de GES au rythme actuel. Une méthode permettant donc d'augmenter légèrement les budgets carbone pour rester sous les 1,5 ou 2°C de réchauffement – cf. Tableau 1.

## BECCS

Les techniques d'enlèvement du carbone et de son stockage ou de son utilisation peuvent parfois être couplées à d'autres techniques pour augmenter leurs performances (GIEC 2018, p.17). La plus documentée d'entre elles allie la plantation d'arbres, la production de biocarburants et les technologies de type CCS. Elles sont regroupées sous l'appellation « bioénergie avec captation et stockage du carbone », abrégées BECCS en anglais. Le principe est le suivant : des arbres et des cultures sont plantés. Au cours de leurs vies, ils enlèvent du dioxyde de carbone de l'atmosphère. Quand ils arrivent en fin de vie, les arbres sont coupés et envoyés dans les usines de production d'électricité par biomasse. Les émissions de CO<sub>2</sub> résultant de la production d'énergie sont alors captées et stockées grâce aux techniques CCS. Quand les cultures arrivent à maturité, elles sont coupées et envoyées dans les usines de production de biocarburant. Le dioxyde de carbone résultant de la production de biocarburant est alors capté et stocké par CCS. Ensuite, le biocarburant est utilisé dans les véhicules – où il produit une certaine quantité de GES qui ne peut être captée par CCS, mais cette quantité est moindre que celle produite par une voiture thermique utilisant un carburant fossile traditionnel.

Il est possible qu'au cours du processus complet, plus de CO<sub>2</sub> n'ait été retiré de l'atmosphère que ce qu'il en aura été émis. Dans ce cas, on parle d'« émissions nettes négatives » (GIEC 2018, p.17).

Les technologies de type BECCS sont considérées comme primordiales pour rester sous les 1,5 ou 2°C de réchauffement d'ici 2100. Le GIEC considère

---

7 Une nouvelle forêt plantée ne va pas enlever en continu du dioxyde de carbone de l'air au cours du temps. En effet, un arbre mourant réémet autant de GES dans l'atmosphère qu'il n'en a enlevé par photosynthèse au cours de sa vie (Jancovici 2007). Dans une forêt en bonne santé, chaque arbre en fin de vie est remplacé par un nouvel arbre, qui va lui-même capter du CO<sub>2</sub>. La forêt arrivée à maturité se retrouve donc à capter autant de dioxyde de carbone qu'elle n'en émet. Elle n'enlève donc plus de dioxyde de carbone de l'atmosphère.

qu'en 2100 les technologies BECCS pourraient permettre de réduire jusqu'à 22,5 Gt de CO<sub>2</sub>e par an les émissions de GES de l'atmosphère (Fajardy et al. 2019, p.3) – sachant que l'humanité en a émis 55,3 Gt en 2018 (PNUE 2019). D'ailleurs, la quasi-totalité des scénarios envisagés par le GIEC pour rester sous les 1,5 ou 2 °C prennent en compte des BECCS, avec une valeur médiane de 12 Gt enlevés de l'air par an dans les scénarios à 66% de probabilité de rester sous la barre des 1,5 °C (Fajardy et al. 2019, p.3).

### **Modifications génétiques**

D'autres techniques pourraient rendre encore plus efficaces les techniques d'enlèvement du dioxyde de carbone évoquées plus haut. Pour donner un exemple prometteur, des chercheurs/euses du très réputé Institut Salk sont en train de mettre au point une modification génétique des plantes leur permettant de capter une plus grande quantité de CO<sub>2</sub> (Chory 2019). Les résultats pourraient être une absorption de CO<sub>2</sub> par plante plusieurs fois supérieure tout en obtenant par ailleurs des rendements supérieurs pour les cultures, parce que la plante arrive à effectuer davantage de photosynthèse (Chory 2019). Les chercheurs/euses espèrent obtenir dans les 5 ou 10 prochaines années des plants modifiés pour les six cultures les plus utilisées dans le monde, maïs, soja, riz, blé, coton et colza (Institut Salk 2019). En couplant cette modification génétique aux technologies de type BECCS, les résultats pourraient être encore plus significatifs.

## **4. Modification du climat**

Modifier le climat de manière intentionnelle a été réalisé pour la première fois par les États-Unis lors de la guerre du Vietnam. Entre 1967 et 1972, l'opération Popeye a augmenté la quantité de précipitations sur les zones occupées par les ennemis des États-Unis, ralentissant ainsi leurs avancées (Lévy 2015). Depuis, les connaissances en climatologie se sont améliorées, et certain·e·s scientifiques étudient la possibilité d'injecter certaines substances dans l'air pour refroidir le climat. La plus connue parmi ces techniques est la dispersion d'aérosols soufrés dans la stratosphère. Celle-ci réduirait la quantité de rayons lumineux atteignant la Terre, provoquant ainsi un refroidissement. En 1991, l'éruption du volcan Pinatubo aux Philippines avait émis une grande quantité de particules soufrées, et provoqué un refroidissement global d'un demi-degré l'année suivante (Lévy 2015). Cette technique est notamment décrite comme une « porte de sortie » par le chimiste de l'atmosphère Paul Crutzen (2006), prix Nobel 1995 et inventeur du mot « Anthropocène », dans le cas où le réchauffement planétaire et ses conséquences seraient devenus incontrôlables.

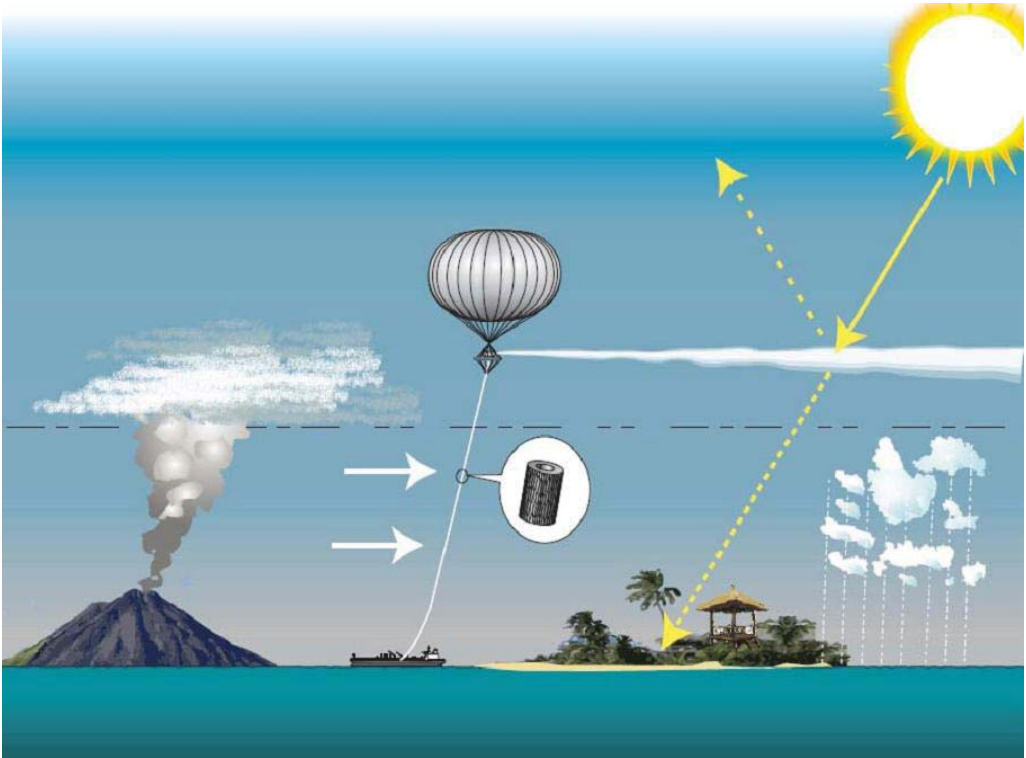


Figure 15. Schéma de la technique de dispersion d'aérosols soufrés dans la stratosphère envisagée par le projet SPICE financé par le gouvernement britannique entre 2010 et 2014. Moins de rayons lumineux atteindraient la Terre pour la réchauffer. © Hughhunt – CC BY-SA 3.0.

## CHAPITRE 3 : EXAMEN APPROFONDI DE LA RÉPONSE HABITUELLE AUX PROBLÈMES ENVIRONNEMENTAUX

La vision présentée au chapitre précédent peut paraître adéquate pour répondre aux problèmes environnementaux actuels. Cependant, elle repose sur quantité d'hypothèses qui pourraient ne pas se vérifier en pratique. Ainsi, un examen approfondi montre que les mesures prônées par le courant de pensée dominant de réponse aux problèmes environnementaux risquent de ne pas suffire.

### Marché carbone, une bonne idée qui ne fonctionne pas

Comme expliqué au chapitre précédent, le principe du marché carbone semble adéquat pour répondre aux problèmes environnementaux, car il fixe une limite de la dégradation environnementale que les entités soumises au marché sont autorisées à effectuer. Il permet également aux biens et services soumis au marché d'avoir un prix proportionnel à leurs émissions. La version actuelle d'un tel marché comporte toutefois de nombreux défauts. Il est considéré pour plusieurs raisons comme inefficace, injuste et non éthique (Caney et Hepburn 2011).

1. Les marchés carbones actuels ne prennent pas en considération les autres problèmes environnementaux que ceux causés par certains GES, et principalement le dioxyde de carbone. Or, il existe bien d'autres problèmes environnementaux. Le phénomène de raréfaction des ressources, expliqué au Chapitre 1, n'est pas non plus pris en compte. Les entités soumises au marché carbone pourraient compenser la baisse des émissions de CO<sub>2</sub> par d'autres dégradations de l'environnement ou par l'utilisation de ressources naturelles proches de l'épuisement.

2. Il est difficile de définir exactement le nombre de permis d'émission à mettre à disposition sur le marché. Si ce nombre est trop important, alors la demande sera faible et le prix d'achat d'un permis d'émission sera très bas. Dans ce cas, le marché carbone pourrait même avoir tendance à pousser les émissions de GES à la hausse. Une telle situation s'est produite plusieurs fois depuis l'instauration du marché européen, notamment dans ses premières années ou après la crise financière de 2008, lorsque la production européenne a fortement baissé. Le prix d'un permis est alors resté très bas pendant une longue période (Caney et Hepburn 2011). Des réformes du marché au cours de ces dernières années semblent avoir permis de définir une limite d'émission reflétant plus justement la quantité totale d'émission de GES en UE, entraînant une hausse des prix (IPAC 2019c). Les prix ont d'ailleurs largement augmenté ces deux dernières années. Ce n'est pas le cas d'autres marchés carbone dans le monde – cf. Figure 17.

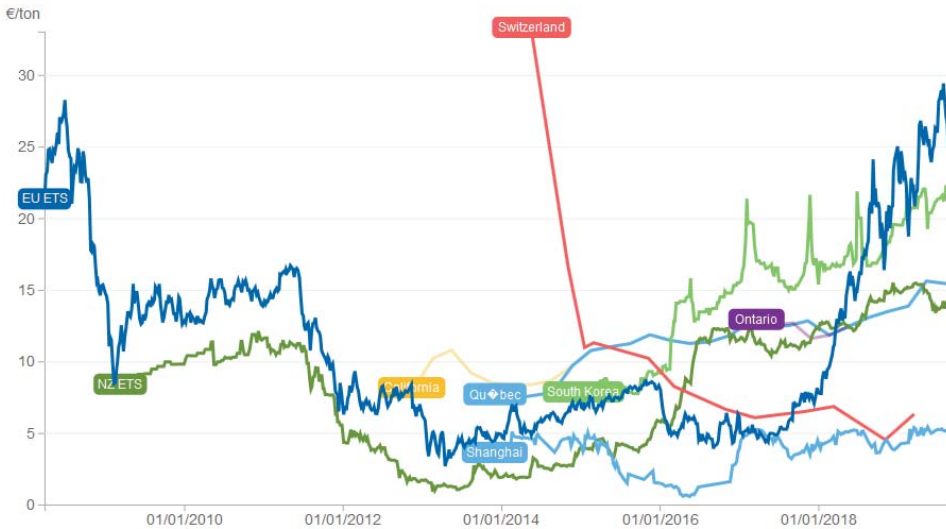


Figure 16. Prix d'achat du permis d'émission d'une tonne de dioxyde de carbone sur différents marchés carbone au cours du temps. © ICAP (2019b).

3. Il est difficile de contrôler si les entreprises n'ont pas émis plus de GES qu'elles n'ont acheté de permis (ICAP 2019a). Si les contrôles manquent ou que les fraudes ne mènent pas à des sanctions suffisantes, les entités émettrices seront tentées de ne pas respecter les règles.
4. Il semble que le plafond d'émission à ne pas dépasser par an ne diminue pas assez rapidement pour rester sous les 1,5 ou 2 °C de réchauffement planétaire. Entre 2021 et 2030, le nombre de permis mis en circulation sur le marché européen diminuera de 1,74 à 2,2% par an, selon le secteur (ICAP 2019c). Une diminution d'émission largement insuffisante étant donné les considérations évoquées au Chapitre I.
5. Pour être performant et juste, le marché carbone doit être d'application partout dans le monde et avec des règles identiques selon les régions. Dans le cas contraire, les entités émettrices pourraient décider d'aller installer leurs activités dans des régions où il n'existe pas de marché carbone, où elles ne devront donc pas payer pour émettre des GES. Ces entreprises délocalisées pourraient alors importer leurs produits à moindres coûts, impliquant une concurrence déloyale pour les entreprises locales. Le marché est alors faussé.

Aujourd'hui, le marché carbone est loin d'être global. La plupart des régions du monde n'ont ainsi pas encore de tel marché, comme les États-Unis, le Canada, l'Inde, le Japon ou encore la Russie. La Chine est en phase de test. De plus, les rares régions ayant un tel marché, principalement l'UE, la Corée du Sud, la Californie, la région de Shanghai ou encore le Québec, ont adopté des règles différentes pour leurs marchés (ICAP 2019c). Les prix d'émission sont ainsi bien différents d'une région à l'autre – cf. Figure 16.

**6.** Même au sein des marchés carbone existants, comme celui de l'UE, seule une partie des industries sont concernées. Le système favorise donc en un sens certains secteurs par rapport à d'autres, ce qui est injuste.

**7.** Un tel marché met un prix sur la nature, et plus particulièrement sur les forêts. Des entités émettrices de GES peuvent décider de planter de nouvelles forêts ou d'acheter des forêts existantes dans le but de réduire la quantité de permis d'émission à acheter. Les forêts deviennent alors des commodités comme les autres, achetables à un certain prix et sur lesquelles il est possible de spéculer dans le but de faire du profit. Ceci pose plusieurs problèmes sociaux et éthiques importants. Des entreprises ont par exemple déjà réussi à exproprier des terres à des peuples indigènes dans le but de réduire leurs émissions nettes de dioxyde de carbone. De manière plus générale, une forêt a une valeur qui va bien au-delà de sa seule capacité à enlever du dioxyde de carbone de l'atmosphère. Elle peut notamment avoir une valeur sentimentale très forte, voire être sacrée. Y associer un prix n'a dans ce cas pas réellement de sens (Böhm et al. 2012).

## Croissance économique comme problème et non comme solution

### Nécessité systémique

Au chapitre précédent, nous avons expliqué que les partisan·e·s de la pensée dominante pour répondre aux problèmes environnementaux recherchaient la croissance économique pour diminuer l'empreinte environnementale globale de l'humanité. Il existe cependant une autre raison qui pousse les dirigeant·e·s politiques – ainsi que les entreprises et la majorité de la population – à la recherche de la croissance. En réalité, le système – économique, social et politique – dans lequel nous vivons peut difficilement se maintenir sans elle.

Notre système repose sur les « surplus de production », qui est la production économique supplémentaire obtenue notamment par une exploitation plus importante et/ou plus efficace des travailleurs/euses et des ressources naturelles à disposition (Malm 2013, p.49; Kallis 2019, p.34). Pour illustrer, prenons

l'exemple d'un boulanger. Il peut décider d'acheter une nouvelle machine qui lui permettra de produire davantage de pain. Si le pain produit a toujours la même valeur économique que précédemment, alors le boulanger aura augmenté la valeur économique totale de sa production. C'est un surplus de production.

Ce surplus de production se traduit par de l'argent supplémentaire pour l'entité productrice si la consommation de ses biens et services augmente. Dans notre exemple, ce sera le cas si le boulanger arrive à vendre plus de pain. Les possesseurs/euses de la production, c'est-à-dire généralement les détenteurs/trices du capital dans le système actuel (Kallis 2018), ont alors trois façons d'allouer l'argent du surplus de production. La première est l'allocation d'argent aux détenteurs/trices de capital, c'est-à-dire à eux-mêmes. Cet argent se matérialise généralement par des dividendes aux actionnaires. La deuxième est l'allocation d'argent dans le but d'augmenter la production économique. Cela peut passer par l'engagement de personnel, l'achat de nouvelles machines ou encore par des investissements dans la recherche et le développement. La troisième est l'allocation d'argent aux travailleurs/euses, sous forme de salaire supplémentaire ou encore d'amélioration des conditions de travail.

Dans notre cas, le boulanger – s'il est détenteur du capital – pourrait par exemple s'octroyer un revenu supplémentaire. Il pourrait également investir, par exemple, dans l'engagement d'un pâtissier. Ce dernier pouvant fournir une offre supplémentaire, il augmente la production économique de la boulangerie. Le boulanger pourrait enfin décider de mieux rémunérer ses employés ou d'améliorer leurs conditions de travail.

Au sein du système actuel, allouer de l'argent à l'augmentation de la production économique s'avère primordial. En effet, si tel est le cas, un nouveau surplus de production devrait être généré. Plus d'argent devrait alors être disponible, qui pourra de nouveau être investi de ces trois mêmes manières. Une partie de l'argent de ce nouveau surplus sera de nouveau allouée à l'augmentation de la production économique, et ainsi de suite. Les détenteurs/trices du capital sont par contre plus réticent·e·s à allouer une partie importante des surplus aux travailleurs/euses, sauf en cas de mécontentement de leur part ou de mesures coercitives de la part de l'État (Malm 2013).

Quand les surplus de production des entités productrices sont importants, la majorité de la population est satisfaite. Les détenteurs/trices du capital reçoivent tellement d'argent des surplus qu'ils peuvent en allouer une quantité importante pour augmenter la production et pour les travailleurs/euses. En résulte une hausse des salaires, la création de nouveaux emplois ou encore une amélioration des conditions de travail. Les autorités politiques récupèrent également plus

d'argent que précédemment des détenteurs/trices du capital et des travailleurs/euses via les taxes en tous genres. Cet argent permet de continuer à financer le système social en place ainsi que le programme politique pour lequel ils ou elles ont été élu·e·s. Les autorités politiques sont donc également satisfaites.

Quand les surplus de production sont faibles, inexistants ou négatifs, la situation est compliquée. Les détenteurs/trices du capital, réticent·e·s à baisser leurs profits, ont tendance à d'abord limiter l'argent alloué aux travailleurs/euses ainsi que, dans une moindre mesure, les investissements visant à augmenter la production économique. S'en suivent des stagnations ou baisses des salaires, une augmentation du chômage ou encore la dégradation des conditions de travail. Les travailleurs/euses ont moins d'argent à reverser au système social du pays, et ils ou elles ont parallèlement davantage besoin d'aides sociales. Le coût du système social augmente pour l'État alors que ses revenus stagnent ou diminuent. L'État a alors du mal à financer le système social en place. De plus, les autorités politiques n'ont pas d'argent pour financer le programme pour lesquels ils ou elles ont été élu·e·s. La population est donc mécontente tant envers leurs employeurs/euses qu'envers l'État. Le système – économique, social et politique – vacille et est remis en question. Le système peut alors rentrer dans une spirale négative. Par exemple, la population a moins de moyens pour acheter des biens ou services, diminuant de nouveau les surplus de production. De plus, si peu d'argent est investi pour augmenter la production économique à l'avenir, alors les surplus risquent de continuellement diminuer.

Les paragraphes précédents fournissent dans les grandes lignes une explication du système basé sur la croissance économique dans lequel nous vivons. En effet, la notion de surplus de production est en réalité équivalente à celle de croissance économique puisque le PIB (produit intérieur brut) est défini comme l'indicateur de production économique (Malm 2013, p.49).

En conclusion, la croissance économique est recherchée, car, sans elle, le système risque de rentrer dans une spirale négative et de finalement s'effondrer. Les dirigeant·e·s politiques – ainsi que les entreprises et la population de manière générale – sont donc, d'une certaine manière, obligé·e·s de rechercher la croissance économique (Jackson 2017). C'est également dans cette recherche de croissance économique que les autorités politiques et les entreprises prônent l'innovation et le libre-échange. Ainsi, d'une certaine manière, les partisan·e·s de la pensée dominante pour répondre aux problèmes environnementaux prônent ce type de politiques parce qu'ils ou elles en dépendent.



## Mythe du découplage

Les hypothèses de la courbe de Kuznets environnementale et du découplage – cf. Figure 9 du Chapitre 2 – invitent à penser que la taille de l'économie peut augmenter tout en diminuant l'impact environnemental de l'humanité. Cette conjonction d'hypothèses semble théoriquement réalisable, mais elle ne se vérifie pas en pratique. Comme l'expliquent Parrique et al. (2019), qui ont réalisé une revue de la littérature académique sur ce sujet, il n'y a jamais eu de tendance globale et sur le long terme de découplage entre l'impact environnemental et la croissance économique.

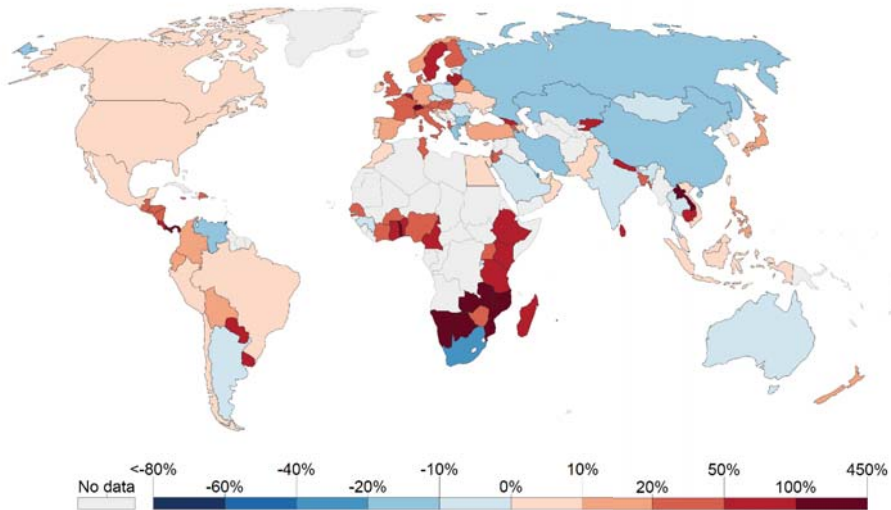
Un découplage partiel s'est déjà produit localement, pour certains types d'impacts environnementaux et sur une assez courte période de temps. Par exemple, dans le cas du changement climatique, qui est de loin le plus documenté, 21 pays ont réussi à diminuer leurs émissions de CO<sub>2</sub> entre 2000 et 2014 tout en ayant augmenté leur PIB. Leurs émissions combinées ont baissé de 15% sur cette période, le meilleur élève parmi eux étant le Danemark, avec une diminution de 30% (Parrique et al. 2019). Ce résultat est toutefois largement faussé, car il est basé sur une « erreur comptable » (Monbiot 2015). En réalité, les émissions de GES de chaque pays sont habituellement calculées selon les émissions qui se sont réellement produites dans le pays. Autrement dit, elles sont basées sur la production dans le pays, et non sur la consommation. Ainsi, les émissions de GES associées à la fabrication de votre téléphone portable sont mises sur le compte du pays producteur alors que vous en êtes l'utilisateur/trice. Une situation très étrange qui explique partiellement pourquoi certains pays du Nord, qui sont de grands importateurs de biens et services, ont réussi à diminuer leurs émissions de GES au cours des dernières décennies. En réalité, les émissions ont été « délocalisées » dans certains pays du Sud.

Des scientifiques ont commencé à modifier la manière de comptabiliser les émissions de CO<sub>2</sub> – cf. Figure 17 – et de GES, et les résultats cités au début du paragraphe précédent sont alors bien différents. Avec cette nouvelle méthodologie, la baisse d'émission des 21 pays en question n'est plus de 15%, mais de 7,5%. Le Danemark passe lui d'une réduction de 30 à 12% (Parrique et al. 2019). Un découplage local est toujours présent, mais il est fortement à relativiser. Tout d'abord, seuls 21 pays ont réussi un découplage. Au niveau global, les émissions de GES continuent d'augmenter de 1,5% par an au cours de la dernière décennie (PNUE 2019). Ensuite, la période étudiée ne fut pas à forte croissance dans ces 21 pays. Une baisse des émissions dans ces pays n'aurait sans doute pas été similaire dans une période de forte croissance. Or, comme expliqué plus haut, le système actuel nécessite une forte croissance. Enfin, la baisse

du niveau d'émission est largement insuffisante. Une baisse d'émission de 7,5% sur 14 ans ne représente qu'une baisse de 0,55% par an. Pour rester sous les 1,5 ou 2°C de réchauffement, une baisse d'entre 6 et 7% par an des émissions de GES mondiales sur les trois prochaines décennies serait souhaitable pour suivre les recommandations de Rockström et al. (2017) évoquées au Chapitre I. Par conséquent, un découplage global, sur le long terme et suffisant pour rester sous la barre des 1,5 ou 2°C n'est absolument pas d'actualité.

### CO<sub>2</sub> emissions embedded in trade, 2016

Share of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions embedded in trade, measured as emissions exported or imported as the percentage of domestic production emissions. Positive values (red) represent net importers of CO<sub>2</sub> (i.e. "20%" would mean a country imported emissions equivalent to 20% of its domestic emissions). Negative values (blue) represent net exporters of CO<sub>2</sub>.



Source: Peters et al. (2012 updated); Global Carbon Project (2018)  
OurWorldInData.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions/ • CC BY

Figure 17. Différence entre les émissions de dioxyde de carbone liées à la production dans le pays et les émissions liées à la consommation dans le pays. La plupart des pays européens consomment plus de CO<sub>2</sub> qu'ils n'en produisent. © Ritchie et Roser (2019a).

En conclusion, un découplage global et sur le long terme permettant de retourner en dessous des limites planétaires ne s'est jamais produit. Cela ne prouve en rien l'impossibilité d'une telle situation, mais l'optimisme n'est pas de mise.

## Équation IPAT et technologies insuffisantes

La section précédente a suggéré que la croissance économique impliquait des impacts environnementaux supplémentaires, puisqu'un découplage ne semble pas d'actualité. L'impact environnemental de l'humanité serait en réalité plus ou moins proportionnel à trois variables. On parle de l'identité IPAT (O'Neill et al. 2004) :

$$I = P \times A \times T, \text{ où}$$

- « I », pour « Impact », correspond à l'impact environnemental de l'humanité,
- « P », pour « Population », représente la population mondiale,
- « A », pour « Affluence » qui se traduit par « Richesse » en français, représente la taille de l'économie mondiale,
- « T », pour « Technologie » représente les technologies permettant de réduire l'impact environnemental.

Si les variables P ou A augmentent, alors I va augmenter. À l'inverse, si T augmente – c'est-à-dire si de nouvelles technologies sont créées pour diminuer l'impact environnemental – alors I va diminuer. Ces trois paramètres, P, A et T, seraient donc les leviers d'actions politiques pour diminuer l'empreinte écologique de l'humanité.

Au cours des dernières décennies et des derniers siècles, l'impact environnemental de l'humanité n'a cessé d'augmenter. Cet impact semble même être en grande accélération depuis 1950 – cf. Figures 18 et 19. Celle-ci est allée de pair avec l'augmentation de la population mondiale – cf. Figure 20 – et de la richesse par habitant – cf. Figure 21. Entre 1950 et 2012, la croissance du PIB par habitant et la croissance de la population mondiale ont été respectivement de 1,39 et 1,62% par an en moyenne (Piketty 2013, Tableau S2.1).

# Earth system trends

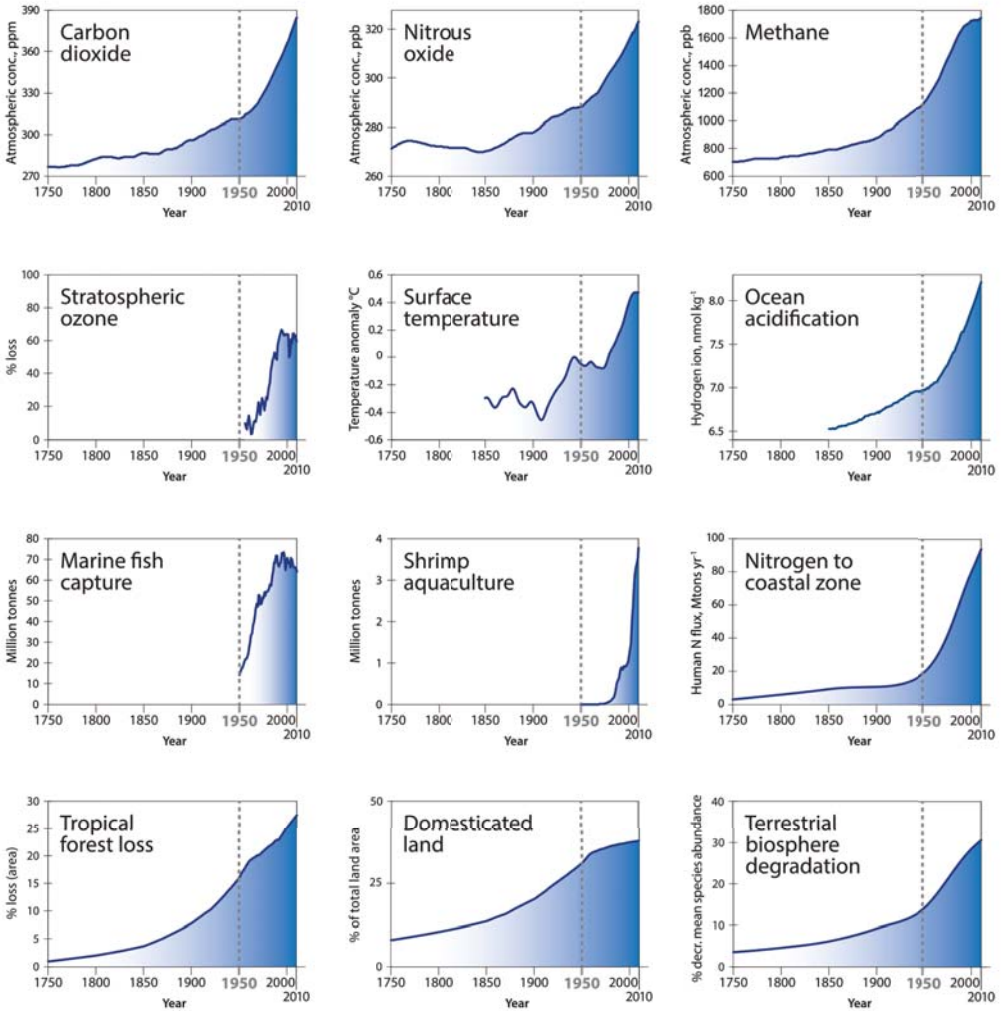


Figure 18. Tendence du système Terre. © Steffen et al. (2015).

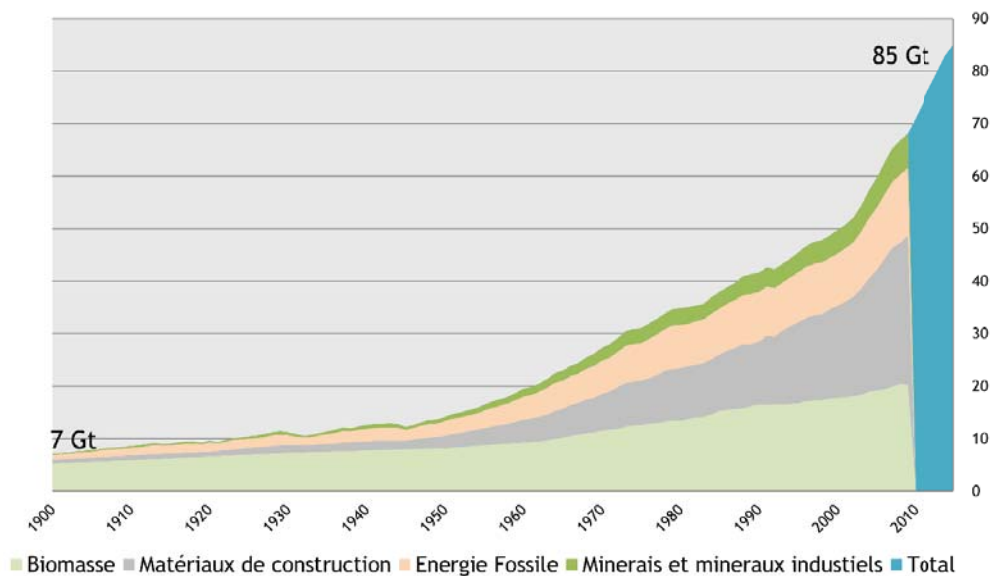


Figure 19. Évolution de la consommation mondiale de matières premières. © Geldron (2018, p.6).

## World population by region

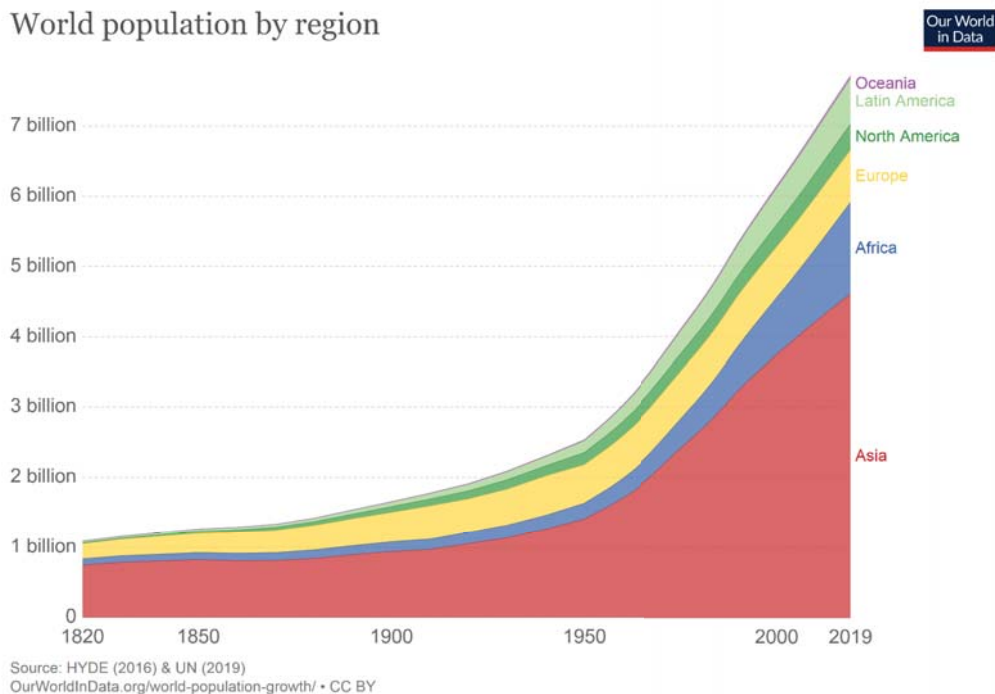
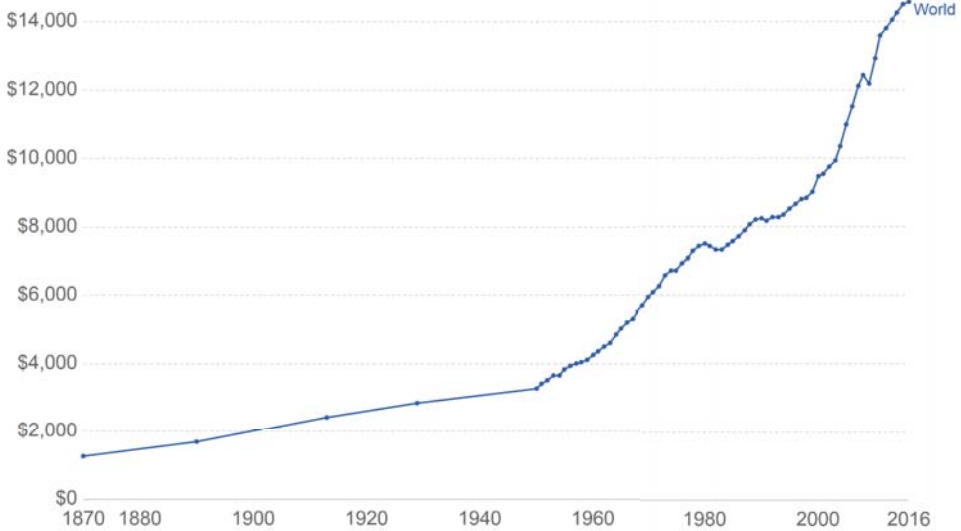


Figure 20. Évolution de la population mondiale au cours du temps. © Roser et al. (2019).

## GDP per capita

GDP per capita adjusted for price changes over time (inflation) and price differences between countries – it is measured in international-\$ in 2011 prices.



Source: Maddison Project Database (2018)

Note: These series are adjusted for price differences between countries using multiple benchmark years, and are therefore suitable for cross-country comparisons of income levels at different points in time.

CC BY

Figure 21. Évolution du PIB par habitant au cours du temps. Mesure du PIB par habitant en dollars de l'année 2011. © Roser (2019).

Il est par contre beaucoup plus compliqué de définir l'influence des technologies. Il existe une manière simple – mais imparfaite, comme nous le verrons – de la calculer. Il suffit de connaître la croissance d'une catégorie d'impact environnemental sur une période donnée ainsi que la croissance de la population mondiale et de la croissance économique. Dans le cas des émissions de GES, la croissance fut de 2,34% par an entre 1950 et 2012 (ClimateWatch 2019). Ainsi, sachant que la croissance cumulée de la population mondiale et de la taille de l'économie était de  $1,39 + 1,62 = 3,01\%$  (Piketty 2013, Tableau S2.1), les technologies auraient provoqué une décroissance des émissions de GES de  $3,01 - 2,34 = 0,67\%$ .

Dans le cas de l'empreinte écologique de l'humanité, les mêmes calculs sont réalisables. Entre 1961 et 2014, l'empreinte écologique est passée de 0,73 à 1,69 fois la biocapacité de la planète, soit une croissance de 1,57% par an (Global Footprint Network 2019b). Or, sur la même période, les croissances économique et démographique furent de 1,81% et de 1,63% respectivement (Roser 2019; Roser et al. 2019). Ainsi, les technologies ont permis de réduire l'empreinte écologique de  $(1,81 + 1,63) - 1,57 = 1,87\%$  par an.

Les calculs réalisés aux deux paragraphes précédents sont simplistes. En réalité, les variables A, P et T sont interreliées. Une amélioration significative de T, provoquant une baisse de l'impact environnemental, a pu entraîner une forte hausse de la population et du PIB mondial. Une partie de la relation entre T et A sera d'ailleurs étudiée dans la section suivante. D'autres relations entre T, A et P existent. Par exemple, une plus grande « affluence » a tendance à pousser à la hausse ou à la baisse la population mondiale, selon le contexte. Ces derniers siècles, l'augmentation de la richesse mondiale est allée de pair avec une augmentation de la population, mais cette tendance ne semble plus se vérifier dans les pays du Nord lors de ces dernières décennies.

Les trois variables étant interreliées, ces calculs ne peuvent être pris que comme des approximations de l'impact de chacune d'entre elles. Il n'empêche que, bien que ces calculs soient imparfaits, ils permettent d'affirmer que les technologies n'ont pas suffi – à elles seules et dans le système en place – à provoquer une réduction ou même une stagnation des émissions de GES et de l'empreinte écologique mondiale. Le passé n'est évidemment pas un gage de prédiction de l'avenir, mais l'optimisme envers les technologies est à remettre en question.

## **Effet rebond**

De nouvelles technologies seront mises au point au cours des prochaines décennies pour limiter la quantité de ressources – énergie, métaux, surface terrestre, etc. – nécessaire à la réalisation d'une même action. Par exemple, comme évoqué précédemment, les voitures à combustion thermique devraient consommer de moins en moins. Ce phénomène est appelé l'augmentation de l'efficacité. Cependant, cette efficacité – aussi appelée efficacité par abus de langage – ne devrait pas mener à une réduction aussi importante que prévue de l'utilisation de cette ressource, et pourrait même provoquer une augmentation de son utilisation. Ce phénomène contre-intuitif est appelé « effet rebond » ou « paradoxe de Jevons »<sup>8</sup>.

L'idée de ce paradoxe provient de l'observation suivante : au cours des derniers siècles, l'humanité a conçu pléthore de technologies augmentant l'efficacité (Gossart 2015; Jackson 2017, p.121), mais la consommation de la plupart des ressources naturelles a augmenté sans interruption sur cette période (The Shift Project 2019; Geldron 2018, p.6).

Il existe différents niveaux d'effet rebond. Le premier est l'effet direct, où l'augmentation de l'efficacité associée à un bien ou service provoque une augmenta-

---

8 Cette section est une adaptation de Plomteux et al. (2020).

tion de la consommation de celui-ci. Le second est l'effet indirect, qui se préoccupe de l'augmentation de la consommation d'autres biens ou services (Gossart 2015). Prenons un exemple. L'augmentation de l'efficacité énergétique des avions a entraîné la baisse des coûts liés au carburant et à la fabrication des pièces. Cette baisse des coûts se répercute sur le prix des billets d'avion. Ces derniers devenant moins chers, les individus peuvent alors se permettre de partir davantage en avion, ou d'aller plus loin. C'est un effet rebond direct. Les individus pourraient également décider de ne pas partir davantage ni d'aller plus loin, et de simplement payer moins cher pour prendre l'avion. Cet argent sera alors dépensé d'une manière ou d'une autre dans un autre bien ou service, qui aura également un impact environnemental. C'est un effet rebond indirect.

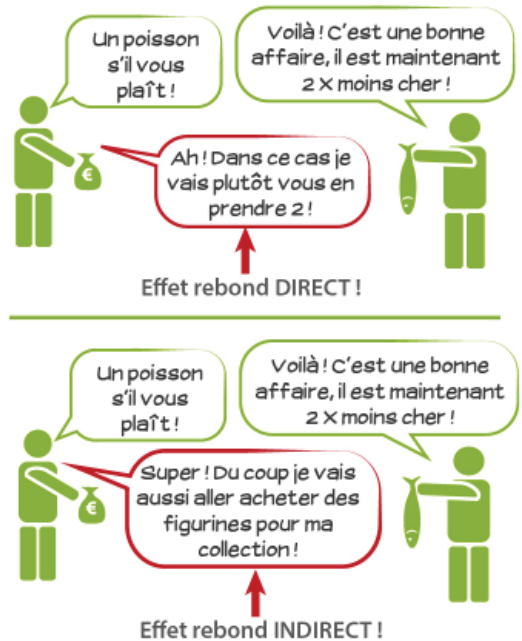


Figure 22. Illustrations d'un effet rebond direct et d'un effet rebond indirect. © Franck Beysson. Source : Plomteux et al. (2020).

Les exemples de ce type sont nombreux. En réalité, chaque gain en matière de ressource va être au moins partiellement compensé. Dans le cas de l'énergie, qui est le plus étudié, les effets rebonds directs et indirects combinés sont de l'ordre de 41 à 78%, selon les domaines (Chitnis et Sorrell 2015). Par conséquent, dans le pire des cas, les gains énergétiques supposés sont presque totalement compensés par ces deux niveaux d'effets rebonds.

Il existe un troisième niveau d'effet rebond, souvent nommé effet rebond systémique ou structurel (Wallenborn 2018; Gossart 2015). Tandis que les deux premiers niveaux concernent des changements de comportements individuels, celui-ci répertorie les changements collectifs provoqués par une augmentation de l'efficacité. On dénombre plusieurs types d'effets rebonds systémiques. Quatre sont répertoriés ci-dessous, chacun d'entre eux étant lié aux trois autres.

**I.** Les nouvelles technologies permettent une augmentation du confort (Plomteux et al. 2020), de telle manière que les attentes à ce sujet au sein de la société augmentent de manière presque irréversible au fil du temps. Les comportements de



Figure 23. Illustration de l'effet rebond systémique lié à la transformation des normes sociales. © Franck Beysson. Source : Plomteux et al. (2020).

consommation s'adaptent donc à ces nouvelles normes. Par exemple, dans les années 70, les maisons avaient une température moyenne de 17°C en Grande-Bretagne. En 2002, elles avaient une moyenne de 21°C et revenir à 17°C serait vu comme une énorme régression (Shove 2003).

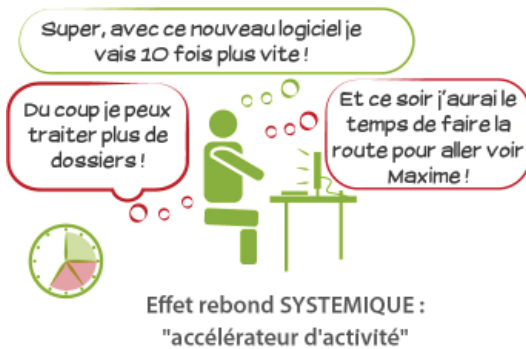


Figure 24. Illustration de l'effet rebond systémique lié à l'accélération de l'activité humaine. © Franck Beysson. Source : Plomteux et al. (2020).

3. Une avancée technologique permet à de nouvelles avancées technologiques de se produire. Elle peut réduire les coûts de production, augmenter les performances ou encore augmenter la production. Ces différentes caractéristiques peuvent permettre de rendre possibles ou envisageables certaines innovations qui ne l'étaient pas. Ces innovations en cascade ont le potentiel de radicalement transformer la société. Pour

2. Les technologies permettent de réaliser des actions beaucoup plus rapidement. Par exemple, faire du shopping, écouter de la musique, commander un taxi ou partager une information sont effectués de manières beaucoup plus rapides avec les outils digitaux (Santarius 2017). Le temps gagné permet alors d'effectuer d'autres activités, qui auront elles-mêmes un impact environnemental (Gossart 2015; Wallenborn 2018).

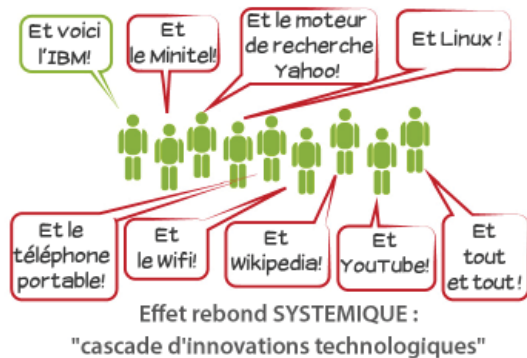


Figure 25. Illustration de l'effet rebond systémique lié à l'arrivée de nouvelles innovations technologiques. © Franck Beysson. Source : Plomteux et al. (2020).

illustrer, sans l'invention de la machine à vapeur au XVIII<sup>e</sup> siècle, la construction de la société actuelle et de ses différents impacts environnementaux n'aurait pas été possible (Wallenborn 2018).

4. L'augmentation de l'efficacité augmente en parallèle la productivité, car moins de travail est nécessaire pour la réalisation de la même action (Wallenborn 2018). Or, comme expliqué plus tôt dans ce chapitre, l'augmentation de la productivité est elle-même en général source de surplus de production, et donc de croissance économique. Cette dernière est elle-même généralement source de nouveaux impacts environnementaux.



Figure 26. Illustration de l'effet rebond systémique lié à l'augmentation de la productivité. © Franck Beysson. Source : Plomteux et al. (2020).

Cette liste d'effets rebonds systémiques n'est pas exhaustive. Il est extrêmement difficile de répertorier tous les effets rebonds potentiels, et il est encore plus compliqué de les quantifier (Wallenborn 2018). Une tentative a été réalisée par Magee et Devezas (2017). Ils ont créé un modèle économique incluant des effets rebonds potentiels. Ils ont étudié une soixantaine de matériaux – dont les ressources énergétiques et quantité de métaux – et ont conclu que, pour l'immense majorité de ceux-ci, l'augmentation de l'efficacité grâce aux innovations technologiques avait mené à une montée de la consommation compensant plus que totalement les gains de départ. Dans ces cas où l'effet rebond est supérieur à 100%, on parle d'un « retour de flamme ». Par conséquent, les progrès technologiques ne sont pas étrangers à l'épuisement possible des ressources terrestres. De fait, cela explique en partie pourquoi la quantité de métaux extraits des sols continue d'augmenter alors que de plus en plus de techniques sont mises en place pour limiter leurs usages. Nous en reparlerons plus loin dans ce chapitre.

Se basant sur les observations du passé et à système inchangé, il est donc probable que les nouvelles améliorations technologiques augmentant l'efficacité vont provoquer une augmentation, et non une diminution, de la consommation de cette ressource.

## Revue des technologies envisagées

Cette section répertorie différentes raisons de penser que les technologies envisagées au chapitre précédent pour rester sous les 1,5 ou 2°C de réchauffement climatique risquent en réalité de ne pas suffire.

### **Opérationnelles à temps et à échelle suffisante ?**

Étant donné que l'humanité a émis en 2017 37 Gt de CO<sub>2</sub> par an et que les budgets carbone pour avoir 66% de probabilité de rester sous les barres des 1,5 et 2°C étaient respectivement de 470 et 1 120 Gt fin 2017, il faudrait que les technologies citées au Chapitre 2 soient disponibles à très grande échelle dans les 10 à 30 ans. Or, la plupart d'entre elles ne devraient pas y parvenir. Passons en revue les quatre types de techniques envisagées.

#### **I. Sources d'énergie à faible intensité d'émission**

Les énergies fossiles représentent encore 85% de l'énergie produite mondialement – cf. Figure 27 – et deux tiers de la production mondiale d'électricité (Agence internationale de l'énergie 2018). La plus importante source actuelle d'énergie à faible intensité carbone, l'énergie hydroélectrique, n'est plus en forte croissance, car la plupart des cours d'eau les plus propices à la construction d'un barrage sont déjà utilisés (Ellabban et al. 2014). Le nucléaire est peu apprécié par l'opinion publique, et il est peu probable que sa capacité de production augmente fortement dans un avenir proche. L'Agence internationale de l'énergie atomique (2017) prévoit que le nucléaire représentera moins de 2% de l'énergie consommée dans le monde en 2050. Les énergies géothermiques et marines devraient, au mieux, peser respectivement quelques pourcents de l'approvisionnement en énergie au niveau mondial en 2050 (Ellabban et al. 2014). En ce qui concerne la fusion nucléaire, même si les expériences des prochaines années se montrent concluantes, la première commercialisation d'électricité par fusion nucléaire devrait, si tout se passe correctement, se réaliser dans la décennie 2040 (ITER 2019b) et il faudrait certainement encore attendre quelques décennies pour fournir un approvisionnement à grande échelle.

La production d'énergie solaire et éolienne grandit rapidement, mais elle ne devrait pas être supérieure à la moitié de la production mondiale d'électricité en 2050 (Bloomberg 2018). Or, l'électricité ne devrait pas peser plus du quart de l'énergie consommée au niveau mondial à cette date, contre 18% en 2016 (Nyquist 2016). Ainsi, d'après ces deux sources, l'éolien et le solaire cumulés ne devraient pas peser plus de 10 à 20% de la production d'énergie mondiale en 2050, contre moins de 2% actuellement (REN21 2019). D'après l'Agence internationale de l'énergie renouvelable (2019), les deux sources cumulées devraient

représenter 25% de la production d'énergie en 2050. Cette agence, défendant les intérêts du secteur des énergies renouvelables, considère certainement le scénario le plus optimiste possible, et non le plus probable.

## Global primary energy consumption

Global primary energy consumption, measured in terawatt-hours (TWh) per year. Here 'other renewables' are renewable technologies not including solar, wind, hydropower and traditional biofuels.

Our World  
in Data

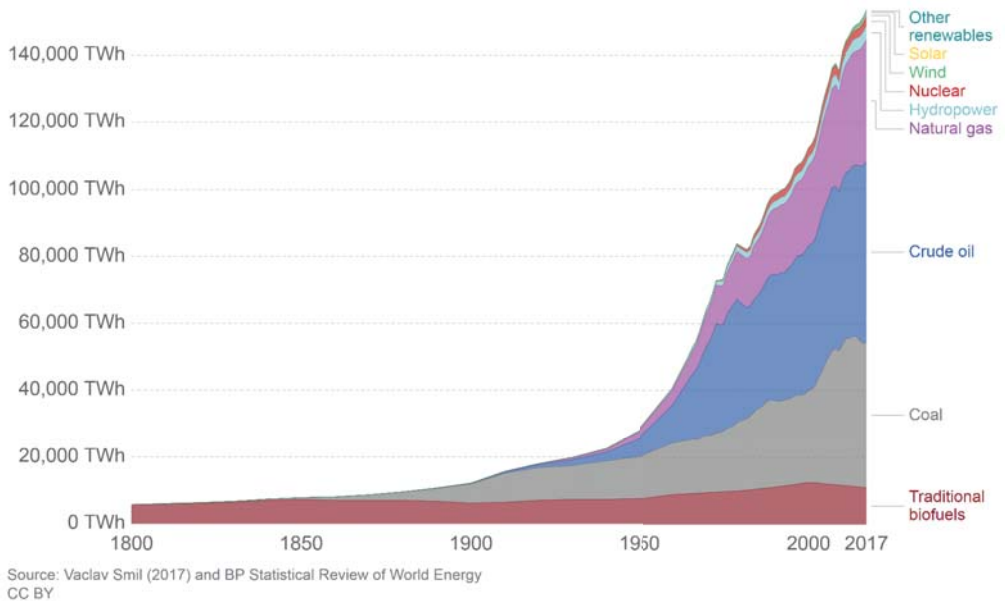


Figure 27. Évolution de la consommation d'énergie par source d'énergie. © Ritchie et Roser (2019b).

Une croissance très rapide pour l'éolien et le solaire est difficilement réalisable pour deux raisons principales. En premier lieu, il faut construire de nouvelles infrastructures permettant d'utiliser davantage l'électricité comme source d'énergie. Le développement de celles-ci est lent. Par exemple, d'après Bloomberg (2019), les voitures électriques ne représenteront encore que 30% de la flotte de véhicules en 2040. Les voitures à hydrogène, qui sont encore en phase de développement, ne devraient représenter qu'une part marginale du marché à cette date. Puisque les infrastructures nécessaires à la transition énergétique sont lentes à se mettre en place, l'électricité ne devrait toujours pas être la source principale de consommation d'énergie en 2050. En second lieu, le solaire et l'éolien dépendent des conditions météorologiques. Étant donné qu'il reste difficile de stocker l'électricité, une mauvaise météo implique l'utilisation d'autres sources d'énergie que le solaire et l'éolien, notamment des énergies fossiles à fortes intensités d'émission. Des techniques prometteuses sont envisagées pour pallier à ces problèmes, mais elles prendront du temps pour devenir pleinement opérationnelles (Ernst 2019).

En prenant en compte tous les éléments mentionnés dans cette section, il semble peu probable que les sources d'énergie à faibles intensités d'émission représentent plus de 30 ou 40% de l'énergie produite en 2050. Ainsi, à demande constante d'énergie au niveau mondial – ce qui est peu probable à cause du phénomène d'effet rebond et dans une situation de croissance économique – les émissions de GES mondiales pourraient avoir au maximum diminué d'un tiers grâce à ces technologies. Un bien maigre résultat comparé aux attentes reposant sur elles.

## **2. Augmentation de l'efficacité énergétique**

Les améliorations de l'efficacité énergétique sont généralement assez lentes. Comme explicité plus haut, les avions ont « seulement » multiplié leur efficacité énergétique par 2 en 40 ans. Les améliorations de l'efficacité énergétique deviennent par ailleurs de plus en plus compliquées à réaliser. Pour prendre la métaphore de l'arbre fruitier, nous avons déjà récolté les fruits en bas de l'arbre, faciles à cueillir, et il ne reste plus sur l'arbre que les fruits difficiles à atteindre (Cowen 2011). De plus, le modèle d'adoption du numérique espéré par GeSI et Accenture (2017) permettant une augmentation de 20% de l'efficacité énergétique pour 2030 demanderait que la majorité des activités humaines soient équipées des technologies numériques modernes à cette date, tant dans les pays du Nord que du Sud. Une hypothèse extrêmement optimiste.

## **3. Enlèvement du dioxyde de carbone**

Les technologies de captage et de stockage du dioxyde de carbone (CCS) ne progressent pas très rapidement. En effet, le premier CCS opérationnel date de 1972 et, presque 50 ans plus tard, seulement 17 projets sont en fonctionnement, ne captant encore que 31,5 Mt de CO<sub>2</sub> par an, et seulement 3,7 Mt sont stockés dans des poches rocheuses chaque année (Fayardi et al. 2019, p.9). Ces nombres représentent moins d'un millième et d'un dix millième de toutes les émissions de GES humaines chaque année. Le frein principal à l'avancement de cette technique serait le coût très élevé de l'opération (Bui et al. 2018). La technologie doit également encore s'améliorer, et les progrès sont actuellement lents (Bui et al. 2018). Parallèlement, les technologies dépendantes du captage par CCS, comme les BECCS, ne pourront pas voir le jour tant que des infrastructures de type CCS n'auront pas été construites et que les technologies ne se seront pas améliorées.

Les promoteurs/trices des technologies de capture du dioxyde de carbone directement de l'air ambiant (DAC) espèrent pouvoir progresser rapidement. Une des trois entreprises ayant une installation de type DAC opérationnelle,

Climeworks, a pour objectif de capter 1% des émissions de CO<sub>2</sub> annuelles en 2025 (Financial Times 2019). Un chiffre qui semble très optimiste. En effet, il faudrait environ 400.000 installations comme celle présentée dans la Figure 14 pour atteindre cet objectif. Or, il n'en existe encore qu'une poignée dans le monde, et souvent de plus petites dimensions (Climeworks 2019). Carbon Engineering a quant à elle des ambitions encore plus élevées à court terme, mais les installations doivent encore être construites.

De plus, même s'il devenait possible de capter une très grande quantité de CO<sub>2</sub> par DAC à court terme, il faudrait encore construire des pipelines pour le transporter vers des poches rocheuses prêtes à l'accueillir – bien que des pipelines existants pourraient aussi être utilisés (GIEC 2014, Section 7.6.4). De plus, il faudrait également inspecter méticuleusement une énorme quantité de poches rocheuses pour éviter que le CO<sub>2</sub> stocké ne fuite (GIEC 2014, Section 7.5.5). La construction des pipelines et le contrôle des poches rocheuses en suffisance pour transporter de manière sûre et stocker plusieurs milliards de tonnes de CO<sub>2</sub> demanderaient de toute façon un certain temps.

Les technologies d'utilisation du dioxyde de carbone capté (CCU) émettent directement ou indirectement une grande quantité de GES. Par exemple, la chaise en plastique réalisée à partir de méthane finira par se dégrader ou être incinérée, réémettant les GES préalablement non envoyés dans l'atmosphère (Geoengineering Monitor 2018). Pour la meilleure technique d'utilisation étudiée par Cuéllar-Franca et Azapagic (2015), le processus global de CCU enlève un peu de GES de l'atmosphère, mais au prix d'une utilisation conséquente d'autres ressources non renouvelables. Par conséquent, les procédés de type CCU semblent, à l'heure actuelle, peu adéquats pour rester sous les 1,5 ou 2 °C de réchauffement.

D'autres techniques envisagées ne devraient pas non plus être disponibles à grande échelle d'ici peu. Concernant les modifications génétiques des plantes pour leur permettre de capter davantage de dioxyde de carbone, il faudra d'abord une dizaine d'années pour obtenir des plants modifiés des six cultures les plus utilisées, et donc encore davantage de temps pour modifier d'autres plantes qui pourraient être utilisées pour les technologies de type BECCS. En cas de succès, il faudrait alors qu'elles soient adoptées massivement. Ces plantes modifiées pourraient par ailleurs amener des problèmes éthiques, sociaux et environnementaux qui rendraient leur utilisation contre-indiquée. Par ailleurs, les organismes génétiquement modifiés sont toujours interdits et impopulaires dans plusieurs régions du monde. Dans tous les cas, leur utilisation massive n'est pas pour demain.

Pour conclure à propos de l'enlèvement du carbone, voici ce que déclarait le Groupe de conseil scientifique du Sommet mondial pour le climat de l'ONU de septembre 2019 dans son rapport synthétique destiné aux décideurs/euses (OMM et al. 2019, p.24) [traduction de l'anglais] :

*« De nouvelles évaluations indiquent que peu des options d'enlèvement [du dioxyde de carbone de l'atmosphère] à grande échelle pourraient être disponibles avant 2050. Ces techniques ne pourront donc pas être utilisées au cours des prochaines décennies, ce qui est le délai nécessaire à la réalisation de l'Accord de Paris. »*

#### **4. Modification du climat**

Les technologies de modification du climat ne sont pas non plus opérationnelles. En effet, une telle technique, par exemple l'injection de particules soufrées dans la stratosphère, pourrait provoquer des diminutions de précipitations à certains endroits et des augmentations à d'autres. Les conséquences pourraient être immenses, comme ce fut le cas par le passé. En effet, l'éruption du volcan Tambora en Indonésie en 1815, émettant la plus importante quantité de particules soufrées dans l'atmosphère au cours des 10.000 dernières années, avait causé la mort de 100.000 personnes en Asie à cause de la suppression de la mousson dans la région. Cette éruption avait parallèlement provoqué une augmentation massive des précipitations en Europe durant la fin de l'année 1815 et durant l'année 1816. Cette dernière fut d'ailleurs baptisée « l'année sans été » du fait des précipitations bien plus nombreuses qu'habituellement. Les précipitations plus nombreuses ont joué un rôle majeur dans la défaite de Napoléon lors de la bataille de Waterloo, dont l'avancée des troupes fut fortement ralentie par la boue dans les prés (Lévy 2015). Sans l'explosion de ce volcan, il n'est donc même pas sûr que la Belgique ait un jour existé.

Alors que les meilleurs ordinateurs n'arrivent toujours pas à prévoir correctement la météo à plus de 4 jours (OMM 2017), il est impossible d'envisager que les climatologues puissent prédire toutes les conséquences de l'injection d'une grande quantité de particules soufrées dans la stratosphère. Cette technique est donc, vu les connaissances actuelles, bien trop risquée.

#### **Utilisables sur le long terme ?**

Même si certaines technologies parvenaient à devenir opérationnelles suffisamment rapidement à très grande échelle pour rester sous les 1,5 ou 2°C de réchauffement planétaire, nombre d'entre elles ne seraient pas utilisables sur le long terme. Elles dépendent en réalité de ressources non renouvelables proches de l'épuisement.

## Épuisement des métaux

L'épuisement des métaux pose d'énormes problèmes pour la mise en place des technologies évoquées dans le Chapitre 2. En effet, la production d'électricité solaire, éolienne et nucléaire, les voitures électriques, les batteries électriques ou encore la technique CCS utilisent toutes des métaux qui devraient être épuisés dans une ou deux générations – cf. Tableau 4.

	Éolien	Solaire	Nucléaire	CCS	Véhicule électrique	Stockage d'énergie
Chrome	X		X	X		
Cobalt			X	X	X	X
Cuivre	X	X	X	X	X	
Indium		X	X		X	
Plomb	X	X	X			
Lithium					X	X
Manganèse	X			X	X	X
Molybdène	X	X	X	X		
Nickel	X	X	X	X	X	X
Argent		X	X		X	
Zinc		X				

Tableau 4. Quelques métaux proches de l'épuisement utilisés par certaines technologies. Source : Banque Mondiale (2017, p.75).

D'autres technologies évoquées au Chapitre 2 requièrent des métaux proches de l'épuisement. Les équipements numériques demandent par exemple une grande quantité de métaux, dont la plupart sont proches de l'épuisement (Bihoux et Mauvilly 2016; Bihoux 2015). Peu d'informations ont pu être récoltées quant aux métaux utilisés dans les technologies de type DAC et les productions d'énergie marine, hydroélectrique, géothermique ou encore par fusion nucléaire<sup>9</sup>. Il serait cependant étonnant qu'elles n'utilisent pas des métaux proches de l'épuisement, étant donné leurs natures extrêmement technologiques.

9 Ces quatre dernières produisant de l'électricité, elles impliquent l'utilisation de batteries. Or, les batteries sont dépendantes de métaux proches de l'épuisement.



La pensée dominante pour répondre aux problèmes environnementaux considère généralement que le marché règlera de lui-même le problème de l'épuisement des métaux. Elle croit que les métaux se raréfiant deviendront plus chers, ce qui incitera les entreprises à investir dans des technologies moins gourmandes en ces métaux (Clapp et Dauvergne 2011). Certaines entreprises investissent d'ailleurs massivement dans de telles technologies (Rifkin 2019), et le recyclage devient une priorité pour de nombreuses entreprises demandeuses de métaux (Apple 2019, pp.24-29). Il existe cependant plusieurs raisons de penser que ce sera insuffisant pour permettre d'utiliser ces technologies à très grande échelle sur le long terme.

Tout d'abord, les propriétés de certains métaux les rendent très difficilement remplaçables (Bihouix 2015, p.13). Étant donné le grand nombre de métaux déjà proches de l'épuisement, il devient de plus en plus difficile de trouver un substitut encore abondant. Ensuite, les nouvelles technologies moins gourmandes en métaux provoqueront des effets rebonds. Si ceux-ci sont aussi importants que par le passé, l'extraction des métaux proches de l'épuisement ne devrait pas nécessairement diminuer, et pourrait même augmenter. L'extraction de l'immense majorité de ces métaux est d'ailleurs toujours en croissance (Geldron 2018). Enfin, une des techniques les plus efficaces pour réduire l'extraction de métaux, le recyclage, ne devrait pas s'avérer si performant. En effet, les métaux recyclés sont souvent de moins bonne qualité, et donc inutilisables dans certaines industries (Bihouix 2018, 12 :14 à 13 :21). De plus, les métaux proches de l'épuisement sont généralement utilisés en très petites quantités, rendant leur récupération presque impossible ou extrêmement coûteuse (Bihouix 2018).

## Épuisement d'autres ressources

Comme expliqué au Chapitre 1, les sources d'énergie non renouvelables ne sont pas si loin de l'épuisement. De plus, les sources d'énergie renouvelables dépendent de métaux proches de la pénurie<sup>10</sup>. Ainsi, l'énergie utilisable sur Terre diminue et va finir par s'épuiser. Au fur et à mesure que les prix augmenteront et que les technologies s'amélioreront, de nouvelles réserves deviendront exploitables. Notons par exemple que de nouvelles technologies de fission nucléaire, actuellement en phase de développement, pourraient multiplier par au moins 50 les ressources utilisables pour produire de l'énergie nucléaire (GIEC 2014, p.526). La fusion nucléaire pourrait également devenir une énergie très abondante. Nous ne sommes toutefois pas du tout certains que ces technologies de-

---

10 Il existe d'autres limitations que les métaux. Par exemple, la construction d'un barrage hydroélectrique nécessite une grande quantité de sable, ressource naturelle également proche de l'épuisement (Delestrac 2013).

viendront opérationnelles et, même si c'est le cas, elles provoqueront des effets rebonds. La quantité d'énergie utilisée dans le monde devrait alors augmenter rapidement. Dans ce contexte, ces nouvelles technologies mèneraient quand même à des pénuries d'énergie d'ici, au maximum, quelques siècles.

Plusieurs technologies d'enlèvement du dioxyde carbone demandent une grande quantité d'énergie, accélérant l'épuisement des ressources énergétiques. Il est estimé qu'enlever 3,3 Gt de dioxyde de carbone de l'atmosphère par an – soit environ 6% des 55,3 Gt de GES émis en 2018 (PNUE 2019) – par DACCS demanderait la consommation de 156 EJ d'énergie, ce qui représente 29% de la consommation d'énergie mondiale en 2013 (Smith et al. 2015). Connaissant les limitations énoncées en termes d'énergie, comment va-t-on pouvoir utiliser cette technologie sur le long terme ?

Une autre « ressource » non renouvelable est la quantité de terres exploitables. Les technologies de type BECCS demandent beaucoup d'espace. Pour enlever 3,3 Gt de dioxyde de carbone par an – de nouveau environ 6% des émissions de GES en 2018 – par BECCS, il faudrait utiliser entre 380 et 700 millions d'hectares de terre en 2100 avec les meilleures productivités obtenues à l'heure actuelle. Cet espace représente entre 7 et 14% des terres agricoles mondiales, ou encore de 25 à 46% des terres destinées aux cultures (Smith et al. 2015). Comment faire pour concilier les besoins alimentaires d'une population mondiale grandissante – un peu moins de 10 milliards en 2050 et environ 11 milliards en 2100 (ONU 2019c) – avec les technologies de type BECCS ? Notons tout de même qu'il est espéré que la productivité des sols augmente d'ici la fin du siècle, réduisant ainsi l'espace nécessaire à l'utilisation des technologies BECCS (Fajardy et al. 2019).

Par ailleurs, il n'est pas certain qu'il existe assez de poches rocheuses permettant un stockage sûr du dioxyde de carbone. Arte (2015) évoque une capacité de stockage de 2000 Gt, un chiffre qui représente 50 ans d'émission au rythme actuel. Si ce chiffre est vérifié, le stockage du CO<sub>2</sub> ne serait pas possible à long terme.

## **Conclusion**

Comme expliqué au Chapitre 2, les adeptes du courant de pensée dominant de réponse aux enjeux environnementaux croient que les technologies vont, à l'aide de politiques favorisant l'innovation, réussir à suffisamment réduire l'empreinte de l'humanité sur l'environnement pour lui permettre de se régénérer durablement. Plus spécifiquement, ses adeptes pensent que les technologies vont permettre de limiter le réchauffement climatique entre 1,5 et 2°C de réchauffement planétaire. Ce chapitre a énoncé de nombreuses raisons d'en dou-

ter. Premièrement, le marché carbone, réforme phare du système économique envisagée, ne fonctionne pas correctement jusqu'à présent et pose des questions éthiques et de justice sociale. Deuxièmement, la croissance économique, qui a jusqu'à présent participé à l'augmentation de l'impact environnemental de l'humanité, est nécessaire à la survie du système. Il semble donc peu probable que les problèmes écologiques de l'humanité diminuent à l'intérieur de ce système. Troisièmement, l'équation IPAT nous a montré que les technologies n'ont par le passé pas suffi, à elles seules, à produire une diminution de l'impact environnemental de l'humanité. Puisque le système a très peu été modifié pour répondre aux problèmes environnementaux, il est peu probable que l'avenir fournisse une réalité différente. Quatrièmement, le phénomène de l'effet rebond a rendu inefficaces les technologies augmentant l'efficacité en ressources. De nouveau, à système presque inchangé, il est peu probable que l'avenir soit différent du passé. Dernièrement, les technologies envisagées pour rester sous les 1,5 ou 2 °C de réchauffement climatique risquent de ne pas suffire. En effet, elles ne semblent pouvoir être utilisables ni à très grande échelle suffisamment rapidement, ni sur le long terme. Elles ne semblent donc pas à même d'empêcher la catastrophe.

Ces différentes raisons font penser que la réponse aux enjeux environnementaux expliquée au Chapitre 2 risque de ne pas suffire. Tout espoir n'est pas perdu, de nouvelles technologies pouvant encore arriver et contredire les dires de ce chapitre. L'optimisme n'est toutefois pas de mise.

## CHAPITRE 4 : ALTERNATIVE À CONCEVOIR

Comme expliqué dans la conclusion du chapitre précédent, il semble que la manière actuelle de répondre aux enjeux environnementaux ne permette pas d'éviter la catastrophe. Le cocktail principalement composé de promotion de l'innovation, croissance économique et libre marché ne semble donc pas adéquat. En réalité, puisque c'est ce même cocktail qui nous a menés au bord du précipice, il est peu probable qu'appliquer les mêmes recettes puisse donner un résultat différent. Dans la suite, nous tenterons donc de proposer des pistes qui vont dans une autre direction<sup>11</sup>. Ces pistes ne sont pas parfaitement abouties, mais elles ont le mérite de lancer le débat.

### Réduction des flux de matière

Selon de nombreux/euses écologistes, le problème principal de la pensée actuelle de réponse aux enjeux environnementaux est qu'elle croit que les activités humaines pourraient croître indéfiniment sur une planète comportant des limites. Cette vision a été théorisée par un mathématicien et économiste roumain, Nicholas Georgescu-Roegen (1971). Selon lui, l'économie met en mouvement les flux de matière – d'énergie et de matériaux, transformés ou non. Plus la taille de l'économie est grande, plus les flux sont en transformation et/ou en mouvement. Or, une des conséquences de la deuxième loi de la thermodynamique est que chaque utilisation des flux va provoquer une dissipation de l'énergie et une dégradation des matériaux utilisés. En d'autres termes, l'économie épuise l'énergie et les matériaux tout en dégradant l'environnement. En physique, ce phénomène s'appelle l'augmentation de l'entropie. Cette manière de penser concorde avec l'idée véhiculée au chapitre précédent selon laquelle la

---

11 Les pistes évoquées dans ce chapitre concernent les variables « Affluence » et « Technologie » de l'équation IPAT – expliquée au chapitre précédent. La variable « Population » ne semble en réalité pas aussi importante que les deux autres. La raison principale est à chercher dans les inégalités d'empreinte environnementale dans le monde. En matière d'émissions de GES par exemple, la moitié la plus pauvre de l'humanité ne produit que 13% des émissions, alors que les 10% les plus riches en émettent 45% (Chancel et Piketty 2015). Réduire l'empreinte écologique des plus gros émetteurs/rices aurait donc bien plus d'impact que de s'atteler à réduire la population mondiale (Kallis 2019; Bhattacharyya 2019). Pour illustrer, réduire de moitié les émissions des 10% les plus riches diminuerait de 22,5% les émissions de GES mondiales, alors que le nombre prévu d'environ 3,1 milliards de nouveaux habitants en Afrique d'ici 2100 – l'Afrique devant être à peu près la seule région en croissance démographique sur la période (Ritchie et Roser 2019a) – ne provoquerait une hausse des émissions que d'environ 14%, au niveau actuel moyen d'émission de GES d'un Africain. Cette question est donc volontairement laissée en suspens, vu notamment les implications éthiques que ce sujet peut engendrer. Nous nous contenterons de mentionner qu'une réduction ou une augmentation moins importante que prévue de la population mondiale pourrait aider à rester sous les limites planétaires. Parmi les mesures pour réduire le taux de natalité pourraient figurer l'éducation des femmes, le respect des droits des femmes ainsi que la mise à disposition de moyens de contraception. Des mesures qui semblent d'ailleurs efficaces (Cohen 2008). Le contrôle de la population serait par contre à proscrire, car de telles politiques réduiraient l'autonomie des femmes (Kallis 2019).

croissance économique fait partie du problème, et non de la solution.

Pour permettre à l'humanité de vivre de manière durable sur la planète, il faudrait que la vitesse de dégradation et de dissipation des flux de matière ne soit pas plus importante que la vitesse à laquelle ces flux peuvent se régénérer. Puisque l'humanité a déjà dépassé plusieurs limites planétaires – cf. Chapitre 1 –, la conclusion logique est que la quantité de flux de matière utilisés par l'humanité à travers le monde devrait diminuer. Puisque l'économie est intimement liée à la dégradation et la dissipation des flux de matière, il faut par conséquent que sa taille ne soit pas supérieure à un maximum.

La réduction des flux de matière utilisés pourrait permettre de rendre les technologies évoquées au Chapitre 2 bien plus efficaces que dans une situation de croissance de l'utilisation des flux, qui serait inhérente à la croissance économique recherchée au sein système actuel. Ainsi, si l'humanité arrivait à réduire par 3 sa consommation d'énergie en 2050 et si la vitesse d'adoption des technologies de production d'énergie à faible intensité d'émission – éolien, solaire, hydroélectrique, etc. – restait identique, alors celles-ci pourraient représenter presque 100% de l'énergie consommée à travers le monde à cette date<sup>12</sup>. Parallèlement, si cette baisse de l'utilisation des flux provoque une division par 2 des émissions de GES mondiales, alors la proportion de GES enlevée de l'atmosphère grâce aux technologies expliquées au Chapitre 2 serait multipliée par 2.

Comme expliqué au chapitre précédent, notre système actuel ne peut survivre que dans une situation de croissance économique. Or, la réduction des flux de matière devrait provoquer une réduction de la taille de l'économie. Dans le système actuel, une telle situation s'appelle une récession, et elle provoquerait de grandes souffrances. Par conséquent, pour réduire l'utilisation de flux, un changement de système serait nécessaire (Ariès 2008). L'hypothèse est qu'il serait possible de construire un nouveau système économique, social, politique et même culturel qui permettrait de réduire fortement la quantité de flux de matière utilisés par l'humanité, lui permettant de vivre durablement sur Terre, tout en ne diminuant pas le bien-être des populations (Kallis 2019).

Reste donc à concevoir un tel système. Les partisan·e·s des mouvements de l'économie écologique, de la post-croissance et de la décroissance réfléchissent à ces questions depuis de nombreuses années. Dans la suite, nous aborderons certaines pistes pour concevoir un tel système. Celles-ci sont en général inspirées des idées de la décroissance.

---

12 Pour rappel, nous avons conclu au Chapitre 3 que les sources d'énergie à faible intensité d'émission ne constitueraient que 30 à 40% du mix énergétique mondial en 2050. Ce chiffre serait multiplié par 3 dans le cas de figure envisagé ici.

## Remise en question de l'importance de la croissance économique dans les politiques

La croissance économique a été érigée en boussole des politiques, puisqu'elle est nécessaire à la survie du système actuel. Or, en plus de dégrader l'environnement, il semble qu'elle n'ait pas toujours mené à des résultats positifs pour nos sociétés. Elle a parfois conduit à de grandes inégalités (Piketty 2013) et à de grandes injustices (Graeber 2009). Pour certain·e·s, elle serait même basée sur l'exploitation des individus (Kallis 2019), obligé·e·s par exemple de travailler durant une grande partie de leur journée pour gagner un maximum d'argent. La croissance ne semble de toute façon pas systématiquement amener une meilleure qualité de vie ou un bonheur supplémentaire, tant au niveau individuel que collectif (Kallis 2019; Jackson 2017). Ce dernier phénomène, appelé paradoxe d'Easterlin, fait l'objet de recherches depuis de nombreuses années. Des études tendent par exemple à montrer qu'une société plus riche n'amène pas nécessairement une meilleure qualité de vie ni un bonheur supplémentaire (Jackson 2017, Chapitre 3). Il existe d'autres caractéristiques contribuant à atteindre un bien-être élevé (Veenhoven 2012), et certaines sociétés qui ne sont pas considérées comme riches ont pour autant une bonne qualité de vie (Jackson 2017; Alexander 2015). Il semblerait même qu'une certaine suffisance puisse être bénéfique, tant aux individus qu'aux sociétés (Alexander et McLeod 2014). Ce thème sera détaillé lors d'une prochaine étude de la Ligue de l'Enseignement et de l'Éducation permanente.

Ainsi, puisqu'elle n'est pas nécessairement synonyme de bien-être et qu'elle amène la dégradation de l'environnement, la croissance économique ne devrait plus être la boussole des politiques. Elle pourrait devenir un indicateur parmi d'autres du progrès humain, comme le sont la justice, l'égalité, la santé, le sentiment d'appartenance à une communauté, ou encore simplement le bonheur. Le Bhoutan a conçu un tel indicateur, appelé « Bonheur national brut », et sa maximisation au sein de la société est devenue l'objectif principal des politiques nationales (Brooks 2013).

### « Dé-économisation » de la société

Puisque la taille de l'économie est trop importante pour permettre à l'humanité de vivre de manière durable sur Terre et puisque la croissance économique n'est pas nécessairement bénéfique aux individus et aux sociétés, il serait intéressant de diminuer l'importance et la présence de l'économie au sein de la société. Celle-ci est actuellement omniprésente dans nos vies. Nous vivons dans un monde « marchandisé », où la plupart des composants de la vie humaine sont devenus des commodités, auxquelles un prix est associé (Polanyi 1944). Parmi elles, le travail, l'art, la plupart des ressources naturelles, etc. Le prix des commodités est généralement défini par un marché, qui est de plus en plus mondialisé. Les motivations écono-

miques auraient d'ailleurs pris le pas sur les motivations environnementales, sociétales et morales (Parrique 2019). Par exemple, qui n'a jamais acheté un bien parce qu'il était bon marché tout en sachant ou en suspectant qu'il impactait fortement l'environnement ou qu'il impliquait des travailleurs/euses mal payé·e·s et ayant de mauvaises conditions de travail ?

L'économie n'a pour autant pas tenu une place aussi importante dans toutes les sociétés (Graeber 2009). Elle pourrait donc être moins présente et importante dans nos vies. Elle laisserait de la place à d'autres activités en dehors du cercle de la vie économique, permettant à d'autres valeurs – sociales, environnementales, morales, culturelles, etc. – de se développer. Le partage, le don, les monnaies locales, la gratuité ou encore la mise à disposition commune de biens, services ou terrains pour les activités humaines – parcs, potagers, usines, etc. – sont des exemples concrets de telles pratiques. L'économie ne s'exprimerait plus qu'à certains moments de la journée, à certains moments de nos vies et à certains endroits dédiés à son exercice. Le recours aux marchés globalisés, et principalement aux marchés financiers, pourrait être réduit au strict nécessaire. La société entrerait alors dans une phase de « dé-économisation » (Parrique 2019).

L'économie elle-même pourrait d'ailleurs être modifiée. Les valeurs économiques – c'est-à-dire ce qui pousse les individus à dépenser – pourraient être incluses dans des valeurs sociétales qui les surpasseraient, elles-mêmes incluses dans des valeurs morales (Parrique 2019). À noter la différence avec la notion de développement durable, qui cherche à mettre sur le même pied l'économique, le social et l'environnemental – cf. Figure 28.

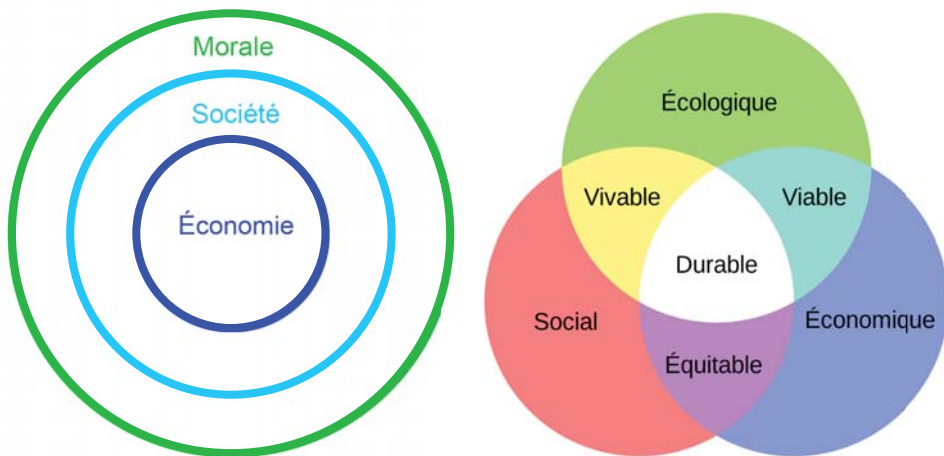


Figure 28. Deux visions de l'importance de certaines valeurs au sein de la société. À gauche, la vision « dé-économisée ». À droite, la vision du développement durable. © VIGNERON – CC BY-SA 3.0.

## Société solidaire

Dans la société actuelle, il est souvent toléré que certaines personnes s'accaparent de grandes quantités de richesses. L'économie ne serait pas un jeu à somme nulle : certaines actions mèneraient à un gâteau de plus en plus gros à se partager. Ainsi, même si certaines personnes parviennent à posséder une part de plus en plus importante, il pourrait en rester suffisamment – voire davantage – pour les autres. C'est pour cette raison que certain·e·s acceptent les inégalités mondiales actuelles, pourtant très importantes (de Salle et Zacharie 2019). En 2018, 26 personnes possédaient autant de richesses que la moitié de l'humanité (Oxfam 2019).

La vision du monde présentée dans cette partie est qu'il existe un maximum à la taille de l'économie. Ainsi, le gâteau ne pourrait pas grossir au-dessus d'une certaine taille. Il devrait même rétrécir dans le but de rester sous les limites planétaires. Alors que certaines personnes n'ont pas accès à suffisamment de ressources pour vivre décemment, il serait amoral que de telles inégalités persistent dans le contexte d'une économie mondiale en contraction. Il serait également amoral que certaines personnes aient la possibilité de dégrader fortement l'environnement – par l'utilisation de flux de matière – dans un contexte de préservation de celui-ci. Une redistribution des ressources serait donc nécessaire (Kallis 2019).

Une diminution des inégalités au sein de la société ne serait d'ailleurs pas seulement morale. D'après Pickett et Wilkinson (2009), elle pourrait aussi améliorer le bien-être de tous. Un système plus solidaire pourrait se mettre en place. Il redistribuerait les ressources des personnes qui en sont les plus pourvues vers les personnes les plus dépourvues<sup>13</sup>. Cette redistribution pourrait faire en sorte que chacun puisse, tout d'abord, remplir ses besoins de base et, ensuite, atteindre un certain niveau de bien-être. La société ne serait pas pour autant égalitaire, car cela empêcherait les spécificités de chacun·e de s'exprimer (Kallis 2019).

Une piste de mise en pratique de ce principe de solidarité pourrait être une couverture universelle des besoins de base pour chacun (Kallis 2018) – plus adéquate qu'un revenu de base, qui placerait de nouveau la valeur monétaire au centre des préoccupations sociétales. Un plafond de l'argent et des biens et services accumulables par chaque individu pourrait également s'avérer pertinent.

---

13 Dans la suite et dans l'objectif de faciliter la lecture, le terme « flux de matière » sera parfois remplacé par « ressource », qui sera compris comme son synonyme.



## **Antiproduktivisme et anticonsumérisme**

Le système actuel est basé sur la croissance économique. En d'autres termes, il cherche à produire les plus grands surplus de production possible. Il vise donc à une production toujours plus élevée. Pour que cette production croissante se transforme en surplus économiques, il faut qu'elle puisse s'écouler. La consommation doit donc également être en croissance perpétuelle. Ce phénomène a mené à une production et une consommation de masse. Nous vivons dans des sociétés productivistes et consuméristes, où la production et la consommation sont devenues les objectifs tant au niveau de l'individu que de l'organisation humaine (Jackson 2017).

Pour autant, comme expliqué précédemment, cette utilisation inévitable de ressources supplémentaires n'est pas durable, tout en n'apportant pas nécessairement un niveau de vie supérieur. Pour endiguer cette course à la production, les sociétés pourraient décider d'allouer leurs ressources à d'autres domaines que ceux conduisant à la création de surplus de production (Kallis 2019). En d'autres termes, les ressources ne seraient plus allouées à l'augmentation de la production, de la productivité et de la consommation. En pratique, cela se traduirait par des restrictions en matière de recherche et développement, des diminutions d'achats de nouvelles machines augmentant la production ou encore la restriction des pratiques marketing et publicitaires poussant les individus à considérer la consommation de certains biens et services comme indispensable (Jackson 2017).

## **Économie en donut**

La réduction des flux de matière utilisable par l'humanité ne devrait cependant pas être trop importante. En effet, si c'était le cas, il est probable que le bien-être de l'humanité soit fortement impacté. Il existerait ainsi une taille minimale de l'économie qui permettrait à chacun·e de s'épanouir. Pour autant, elle ne devrait pas dépasser un certain seuil au-delà duquel l'environnement ne pourrait plus se régénérer durablement. Par conséquent, la taille de l'économie devrait se situer entre un minimum et un maximum<sup>14</sup>. Un tel système économique a été appelé une « économie en donut » (Raworth 2017) – cf. Figure 29. Une autre interprétation d'un tel système est celle de l'« économie en état stationnaire », où la taille de l'économie serait stabilisée, en équilibre entre un minimum et un maximum (Daly 1991).

---

<sup>14</sup> L'hypothèse de ces penseurs/euses est qu'il est possible que le minimum soit inférieur au maximum.

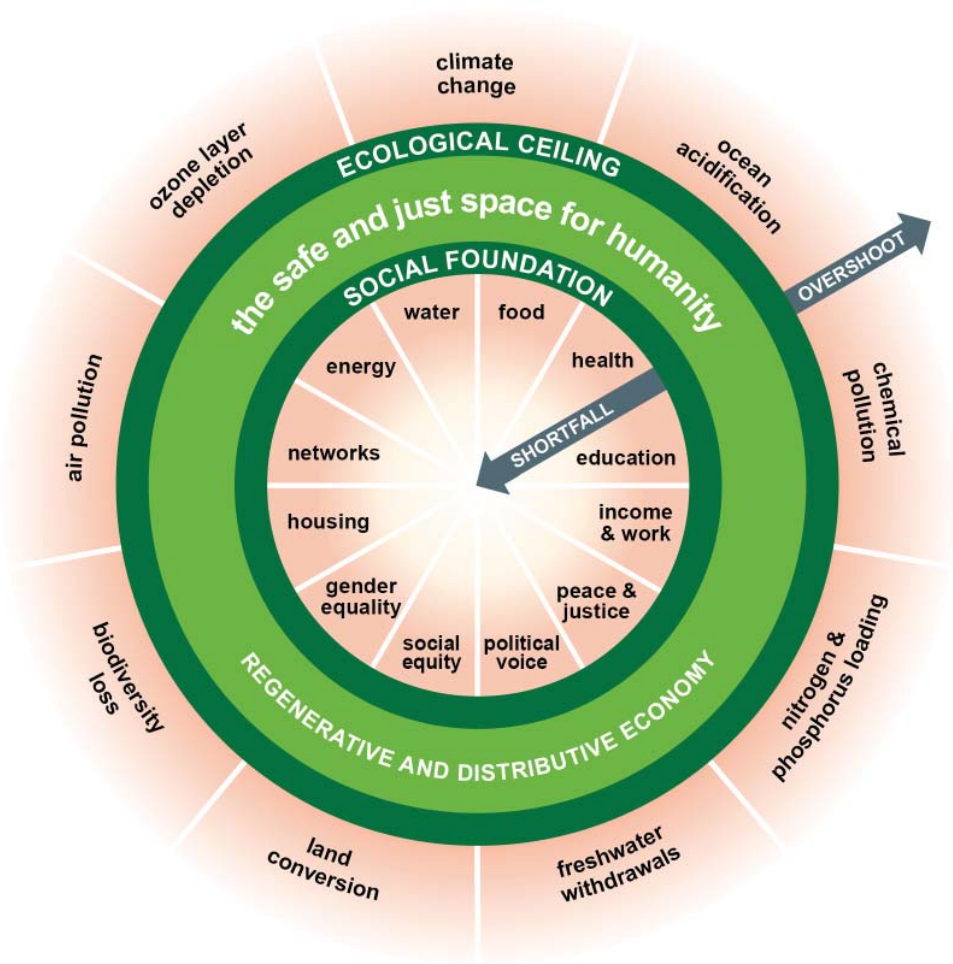


Figure 29. Illustration de l'« économie en donut » telle qu'envisagée par Kate Raworth. © DoughnutEconomics – CC BY-SA 4.0.

## Allocation des ressources

Comme expliqué plus haut, l'humanité pourrait utiliser moins de flux de matière. Certains secteurs de l'activité humaine pourraient encore se voir allouer une quantité importante de ressources si cela est jugé intéressant, tandis que d'autres verraient leurs activités diminuer drastiquement. Certaines pourraient même disparaître si elles sont jugées néfastes. Les domaines dans lesquels les ressources sont allouées pourraient être les suivants<sup>15</sup> :

<sup>15</sup> Cette partie s'inspire de Kallis (2019, p.123).

## 1. Soins des écosystèmes et des humains

Une société juste et durable ne peut se construire que dans un climat où les êtres humains et les écosystèmes bénéficient de l'attention (D'Alisa et al. 2015). Une partie des ressources pourrait donc être allouée au soin des individus, par exemple via les soins de santé, l'enseignement et d'autres pratiques favorisant le bien-être personnel et collectif. Du temps, et donc des ressources, pourrait par exemple être consacré au chérissenent de sa famille, de ses amis et de ses amours (Kallis 2019). Du temps et des ressources pourraient également être alloués à la préservation et la restauration des écosystèmes, notamment en cherchant à réduire l'empreinte écologique de l'humanité.

Dans ce contexte, certaines ressources pourraient être allouées à la création de nouvelles technologies permettant le soin des écosystèmes et des humains. Parmi elles, des investissements pourraient être effectués pour favoriser l'arrivée des technologies expliquées au Chapitre 2, sans toutefois présumer qu'elles pourraient à elles seules sauver l'humanité, mais sachant qu'elles ont un rôle crucial à jouer.

Le rythme global d'innovation technologique au sein de la société serait donc beaucoup moins élevé qu'actuellement, et des innovations ne se produiraient plus qu'au sein de certains secteurs. Cette politique d'innovation sélective n'est cependant pas sans risque. En effet, il est possible que si le rythme global d'innovation est faible, alors il ne soit pas possible de garder un rythme d'innovation plus élevé dans certains secteurs. Il est notamment probable que de nouvelles technologies désirables à la société dépendent de technologies à concevoir qui soient à première vue non désirables. Des recherches sont nécessaires pour déterminer le meilleur moyen de diminuer le rythme global d'innovation tout en maintenant un rythme élevé d'innovation dans certains secteurs.

## 2. Démocratie

Investir dans la démocratie pourrait être particulièrement utile. Nous vivons actuellement dans une société dépolitisée, où les citoyen·ne·s sont très peu intéressé·e·s par la politique (Swyngedouw 2015). Ils ou elles sont peu enclin·e·s à remettre en question le système, ainsi que les valeurs qui y sont associées. Or, la politique est extrêmement importante, car c'est par elle que des changements sociétaux, et pas seulement individuels, peuvent se produire. Pour repolitiser la société, il faudrait permettre à tou·te·s d'avoir le temps et les moyens de se renseigner sur les enjeux sociétaux ainsi que de débattre. Des ressources devraient donc être allouées à cette tâche.

Nos démocraties pourraient également être renouvelées. En effet, puisque les dirigeant·e·s ne semblent pas prêt·e·s à changer le système en place, il est bon

de se demander si la manière actuelle d'effectuer la politique est adéquate. En 2015, le philosophe Dominique Bourg déclarait à ce sujet :

*« On va devoir faire de la politique autrement. La politique, ça ne pourra plus être les petits intérêts des uns contre les autres. Si on voulait que nos structures politiques soient à même de répondre, il faudrait qu'elles soient capables d'imposer aux grandes multinationales, [...] comme nous le demande le GIEC, de laisser 80% des fossiles accessibles sous le sol. Du jour au lendemain, si on les laisse, c'est à peu près 30.000 milliards d'actifs qui disparaissent.*

*Cela fait pratiquement quatre décennies que nos systèmes politiques ont réduit la fonction de l'État à un facilitateur du commerce international. Comment voulez-vous qu'un facilitateur du commerce international prenne à bras le corps les questions climatiques ? »*

Dans son sens premier, « démocratie » signifie « pouvoir au peuple ». Or, nos démocraties ne permettent pas aux citoyen·ne·s d'avoir réellement leur mot à dire (Ruyssen 2018). Les décisions sont principalement prises par les dirigeant·e·s, influencé·e·s par les grandes entreprises et leurs armées de lobbyistes. L'instauration d'une démocratie directe, c'est-à-dire une organisation politique où les citoyen·ne·s exercent directement le pouvoir sans l'intermédiaire de représentant·e·s (Zografos 2015), pourrait être intéressante. Elle permettrait en effet aux citoyen·ne·s de réellement participer aux décisions politiques, et peut-être de mettre en place des politiques différentes pour répondre aux problèmes environnementaux. Les pratiques politiciennes frauduleuses et l'influence des lobbys pourraient également être réduites.

Les pistes d'alternatives envisagées dans ce chapitre pourraient être modifiées par la population elle-même. Par exemple, elle pourrait décider quels biens et services sont souhaitables individuellement et collectivement, et lesquels ne sont pas nécessaires (Keucheyan 2017).

Kallis (2019, p.119) envisage des assemblées délibératives où des citoyen·ne·s seraient tiré·e·s au sort pour réfléchir sur un ou plusieurs sujets, et prendre des décisions. La Convention Citoyenne pour le Climat (2019a) actuellement en cours en France est un exemple de telle pratique. 150 citoyen·ne·s ont été tiré·e·s au sort pour réfléchir aux politiques à mettre en place pour que la France respecte ses engagements en matière d'émissions de GES. La Convention va remettre des propositions législatives et réglementaires dont le Président de la République française Emmanuel Macron s'est engagé à soumettre sans filtre soit à référendum, soit au vote du parlement, soit à l'application réglementaire directe (Convention Citoyenne pour le Climat 2019a).

### 3. Dépenses

Pour avoir une société où le bien-être individuel et collectif est élevé, il ne suffit pas de couvrir les besoins de base de chacun·e. Il faut qu'ils ou elles trouvent des raisons de se lever le matin et de faire société. Par le passé, la religion a essentiellement joué ce rôle dans nos régions. Par exemple, les actions de chacun·e étaient dictées par l'envie d'aller au paradis, et les réponses aux injustices et incompréhensions étaient apportées par la religion. Au cours des dernières décennies, la consommation a partiellement repris ce rôle (Jackson et Pepper 2011 ; Jackson 2017). En 2015, Dominique Bourg déclarait :

*« Le fondement du contrat social, c'est que chacun puisse : produire, tranquillement et le plus possible; et ensuite, jouir, tranquillement et le plus possible, des fruits de sa production. On s'est mis à penser que le seul moyen d'accomplir son humanité, de la développer, c'était de consommer. Et ça a, très, très bien marché. »*

Puisque nos sociétés ne pourraient plus être basées sur le consumérisme, il serait nécessaire de trouver d'autres raisons de vivre et de faire société. Une telle raison pourrait être trouvée dans la réalisation d'activités qui sont à première vue inutiles, mais qui permettent en réalité à chacun·e de montrer qui il ou elle est réellement et d'être créatif/ve (Kallis 2019). Ces activités pourraient être, pêle-mêle, l'art, la philosophie, l'humour, le luxe, l'érotisme ou encore faire du sport pour le plaisir. En réalité, la plupart des activités s'apparentant aux loisirs pourraient entrer dans cette catégorie (Kallis 2019). Ces activités sont regroupées sous l'appellation « dépenses » par la décroissance, car elles ne sont à première vue pas utiles à la société (Romano 2015)<sup>16</sup>. Elles pourraient toutefois se révéler très utiles si elles fournissent un objectif de vie aux individus et si elles permettent de faire société. Les activités prônées devraient toutefois être en accord avec les valeurs sociétales et les limites environnementales.

### Diminution de l'effet rebond

Ce nouveau système à concevoir pourrait faire en sorte de diminuer le phénomène d'effet rebond – pour rappel, ce phénomène se produit lorsque l'arrivée d'une nouvelle technologie bénéfique pour l'environnement provoque une augmentation globale de la consommation, compensant les bienfaits envisagés. Si le nouveau système s'attaque au consumérisme, il est possible qu'il limite le phénomène d'effet rebond. L'apport des nouvelles technologies ayant pour

---

<sup>16</sup> La notion de dépense a été inventée par le philosophe Georges Bataille (1949). La décroissance l'a adaptée pour l'incorporer à sa pensée.

but de réduire l’empreinte écologique de l’humanité pourrait donc se révéler bien plus significatif qu’au sein du système actuel.

Des mesures plus spécifiques de réduction de l’effet rebond pourraient être instaurées. Selon les spécialistes de ces questions, celles-ci pourraient être, pêle-mêle, le ralentissement de la construction de nouvelles infrastructures comportant des risques d’effet rebond, la diminution des inégalités en termes de pouvoir entre les individus, la réduction de la compétition entre les États, les entreprises et les individus (Wallenborn 2018), l’instauration de limites de dégradation environnementale (Santarius et al. 2018), l’instauration de taxes limitant l’effet rebond (Freire-González et Puig-Ventosa 2015; Santarius et al. 2018) ou encore une consommation plus sobre et plus responsable (Gossart 2015; Hilty 2008, p.72). Ces mesures sont en adéquation avec la vision exprimée dans ce chapitre et, a contrario, assez différentes des politiques actuelles.

## **Changements de mentalité**

Ce nouveau système à concevoir, basé sur les limites planétaires, demanderait des changements importants de mentalité. La recherche de la consommation et de l’accumulation de richesses ne seraient plus des objectifs aussi importants. La sobriété pourrait par contre devenir une valeur hautement considérée<sup>17</sup>.

La mentalité actuelle est assez loin de la sobriété, même parmi les jeunes, pourtant conscient·e·s des enjeux environnementaux. Selon Jörg Muller (2019), qui a participé à la réalisation d’une étude sur les comportements des jeunes français·e·s de 18 à 24 ans :

*« On est face à des jeunes assez individualistes, extrêmement attachés à un paradigme libéral de consommation. Ce n’est pas que pour satisfaire leurs besoins qu’ils achètent aussi frénétiquement, cela leur procure une sensation de bien-être, c’est comme une addiction. »*

Les changements de mentalité à réaliser sont donc énormes. Serge Latouche (2004), penseur influent de la décroissance, dit que nous devons « décoloniser nos imaginaires », qui auraient été colonisés par de fausses idées. Parmi elles, « la consommation permet de réaliser son humanité », « l’argent fait le bonheur » ou encore « le travail est nécessaire » pourraient être remises en question. La pensée critique de manière générale ainsi qu’une prise de conscience de l’importance de la politique dans la société pourraient également être encouragées.

D’après Tim Jackson (2017), économiste anglais, la notion de prospérité de-

---

<sup>17</sup> Le mode de vie en accord avec ces valeurs est appelée la sobriété – ou la simplicité – volontaire (Ariès 2015). Il sera étudié plus en détail dans une prochaine étude de la Ligue de l’Enseignement.

vrait être réinventée. Elle est aujourd'hui principalement associée à la possession de richesses, alors qu'elle pourrait aussi être associée aux autres éléments contribuant au bien-être des personnes.

Sur ces différentes questions, l'école pourrait avoir un rôle important à jouer, dans le but de former les futur·e·s citoyen·ne·s à imaginer et à vivre dans une nouvelle société en accord avec les limites planétaires.

## CONCLUSION

Cette étude a montré que les solutions actuellement mises en œuvre pour répondre aux problèmes environnementaux risquent de ne pas suffire, et de conduire l'humanité à la catastrophe. D'une certaine manière, les solutions envisagées consistent à réappliquer et même à intensifier les recettes qui ont conduit aux problèmes actuels. Il est cependant difficile de croire que les problèmes du passé pourront devenir les solutions du futur. Le dernier chapitre a proposé une vision alternative de la manière selon laquelle l'humanité pourrait répondre aux problèmes environnementaux. Selon cette pensée alternative, il faudrait réduire le nombre de flux de matière utilisés à travers le monde, ce qui réduirait automatiquement la taille de l'économie. Un tel changement de paradigme demanderait une refonte complète du système sur lequel nos sociétés se sont basées au cours des derniers siècles. En parallèle, les mentalités devraient évoluer pour être en adéquation avec ce nouveau système.

Les choses commencent doucement à bouger. Ainsi, le Président de la République française Emmanuel Macron a cédé à la demande du cinéaste et environnementaliste Cyril Dion et d'un collectif de gilets jaunes d'organiser une assemblée délibérative tirée au sort afin de réfléchir aux enjeux climatiques. Le rôle de la croissance économique fut remis en question dès les premiers débats. Cette assemblée envisage des changements sociétaux ambitieux, en dehors des politiques habituelles (Convention Citoyenne pour le Climat 2019b). Il sera intéressant d'observer les propositions finales formulées par la Convention.

Les discours de la tête de proue des mouvements des jeunes pour le climat, Greta Thunberg (2019), vont également dans le sens de cette étude : les politiques actuelles sont inadéquates, notamment par la recherche de croissance économique et par le manque de remise en question du système de la part des dirigeant·e·s.

En Wallonie, il est à noter que la *Déclaration de politique régionale 2019-2024*, en plus de sembler encourageante d'un point de vue environnemental (Inter-Environnement Wallonie 2019), ne mentionne jamais les termes « croissance économique ». Un basculement au moins partiel dans la pensée des dirigeant·e·s du Sud du pays semble ainsi s'être opéré. D'autres mesures sont par contre à déplorer, notamment une promotion peu réfléchie du numérique. En effet, le numérique a un impact important et en forte croissance sur l'environnement, alors que certains de ces usages n'apportent pas nécessairement de bénéfices individuels et sociétaux. Une mise en place sans vision environnementale et sociétale de son usage ne peut donc être bénéfique. La Ligue de l'Enseignement travaille actuellement sur ces questions au sein d'un projet européen ap-



pelé « Conscience Numérique Durable ». Vous trouverez plus de détails sur : <https://ligue-enseignement.be>

Les crises environnementales à venir risquent de rendre inéluctables des changements sociétaux et de mentalité. Ces changements sont sans doute immenses. Comme le dit le scientifique et historien David Van Reybrouck (2018) – qui ne parlait d'ailleurs pas nécessairement des problèmes environnementaux pour évoquer les problèmes systémiques de nos sociétés :

*« La grande question qui se pose pour moi est de savoir si on va changer le système après ou avant le crash. [...] Il n'est pas facile de réparer une voiture avec laquelle on est en train de rouler. »*

La tâche à accomplir est donc colossale, mais également passionnante. L'école a un rôle primordial à jouer dans cette entreprise. Elle a la capacité de former les futur·e·s citoyen·ne·s à une pensée critique. Elle a également la possibilité d'expliquer les qualités et défauts des systèmes actuels. Elle peut enfin servir de laboratoire d'idées pour former les élèves à imaginer et à vivre dans une société en accord avec les limites environnementales de la planète. Les élèves, de plus en plus conscient·e·s des enjeux environnementaux, méritent un enseignement approfondi de ces sujets. Nous le leur devons, ainsi qu'aux générations futures.

## BIBLIOGRAPHIE

- AFP. 2019. *Les principales « extinctions de masse » sur la Terre* [En ligne]. Disponible à : [www.geo.fr/environnement/les-principales-extinctions-de-masse-sur-la-terre-195519](http://www.geo.fr/environnement/les-principales-extinctions-de-masse-sur-la-terre-195519) [Consulté le : 12 août 2019].
- Agence internationale de l'énergie atomique. 2017. *Energy, Electricity and Nuclear Power Estimates for the Period up to 2050*. 2017 Edition. Vienne. Disponible à : [www.pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/17-28911\\_RDS-1%202017\\_web.pdf](http://www.pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/17-28911_RDS-1%202017_web.pdf) [Consulté le : 25 novembre 2019].
- Agence internationale de l'énergie renouvelable. 2019. *Future of Solar Photovoltaic : Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects*. Abu Dhabi. Disponible à : [www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Nov/IRENA\\_Future\\_of\\_Solar\\_PV\\_2019.pdf](http://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Nov/IRENA_Future_of_Solar_PV_2019.pdf) [Consulté le : 25 novembre 2019].
- Agence internationale de l'énergie. 2018. *World Energy Outlook 2018 : Electricity* [En ligne]. Disponible à : [www.iea.org/weo2018/electricity/](http://www.iea.org/weo2018/electricity/) [Consulté le : 22 octobre 2019].
- Alexander, S. et McLeod, A. 2014. *Simple Livingin History : Pioneers of the Deep Future*. Melbourne : Simplicity Institute Publishing.
- Alexander, S. 2015. *Properous Descent : Crisis as Opportunity in an Age of Limits*. Melbourne : Simplicity Institute Publishing.
- Anderson, K. 2011. *Climate Change : Going Beyond Dangerous* [En ligne]. Londres : London School of Economics and Political Science. Disponible à : [www.youtube.com/watch?v=-T22A7mjoc](http://www.youtube.com/watch?v=-T22A7mjoc) [Consulté le : 19 août 2019].
- Anderson, K. 2016. *Going Beyond « Dangerous » Climate Change* [En ligne]. Disponible à : [www.slideshare.net/DFID/professor-kevin-anderson-climate-change-going-beyond-dangerous](http://www.slideshare.net/DFID/professor-kevin-anderson-climate-change-going-beyond-dangerous) [Consulté le : 19 août 2019].
- APED (Appel pour une école démocratique). 2019. *École, savoirs, climat : Enquête sur les connaissances et la conscientisation des élèves de fin d'enseignement secondaire, à propos du dérèglement climatique*. Bruxelles. Disponible à : [www.skolo.org/CM/wp-content/uploads/2019/10/Ecole-savoirs-climat-Aped-2019.pdf](http://www.skolo.org/CM/wp-content/uploads/2019/10/Ecole-savoirs-climat-Aped-2019.pdf) [Consulté le : 11 décembre 2019].
- Apple. 2019. *Environmental Responsibility Report* [En ligne]. Disponible à : [www.apple.com/euro/environment/pdf/a/generic/Apple\\_Environmental\\_Responsibility\\_Report\\_2019.pdf](http://www.apple.com/euro/environment/pdf/a/generic/Apple_Environmental_Responsibility_Report_2019.pdf) [Consulté le : 12 septembre 2019].
- Ariès, P. 2008. Leur récession n'est pas notre décroissance. *La décroissance* 53, pp.2-3.
- Ariès, P. 2015. Dans : Casariego, L. et Casariego, M. *La décroissance : du mythe de l'abondance à la simplicité volontaire*. Espagne : Cámara Libre.
- Arte. 2015. *Un monde sans CO<sub>2</sub>* [En ligne]. Future Mag. Disponible à : [www.youtube.com/watch?v=LwIFUnZGiW8](http://www.youtube.com/watch?v=LwIFUnZGiW8) [Consulté le : 22 octobre 2019].
- Banque Mondiale. 2012. *Turn Down the Heat : Why a 4 °C Warmer World Must be Avoided*. Washington. Disponible à : <http://documents.worldbank.org/curated/en/865571468149107611/pdf/NonAsciiFileName0.pdf> [Consulté le : 19 août 2019].
- Banque Mondiale. 2017. *The Growing Role of Minerals and Metals for a Low Car-*

- bon Future*. Washington. Disponible à : <http://documents.worldbank.org/curated/en/207371500386458722/pdf/117581-WP-P159838-PUBLIC-ClimateSmartMiningJuly.pdf> [Consulté le : 11 septembre 2019].
- Bastin, J.-F. et al. 2019a. *Cities of the future : visualising climate change to inspire action* [En ligne]. Zürich. Disponible à : <https://crowtherlab.pageflow.io/cities-of-the-future-visualizing-climate-change-to-inspire-action#210424> [Consulté le : 6 août 2019].
  - Bastin, J.-F. et al. 2019b. The global tree restoration potential. *Science* 365(6448), pp.76-79. Disponible à : <https://science.sciencemag.org/content/365/6448/76.full?ijkey=OxoPV/TclAo&keytype=ref&siteid=sci> [Consulté le : 2 octobre 2019].
  - Bataille, G. 1949. *La Part maudite*. Paris : Les Éditions de Minuit.
  - Belga. 2018. *COP24 : en Belgique, des effets du réchauffement climatique déjà perceptibles* [En ligne]. Disponible à : [www.rtf.be/info/societe/detail\\_cop24-en-belgique-les-effets-du-rechauffement-climatique-sont-deja-perceptibles?id=10086278](http://www.rtf.be/info/societe/detail_cop24-en-belgique-les-effets-du-rechauffement-climatique-sont-deja-perceptibles?id=10086278) [Consulté le : 6 août 2019].
  - Belga. 2019. *L'été 2019 a enregistré trois périodes de surmortalité* [En ligne]. Disponible à : [www.rtf.be/info/societe/detail\\_l-ete-2019-a-enregistre-trois-periodes-de-surmortalite?id=10331534](http://www.rtf.be/info/societe/detail_l-ete-2019-a-enregistre-trois-periodes-de-surmortalite?id=10331534) [Consulté le : 11 octobre 2019].
  - Bhattacharyya, K. 2019. *Degrowing the population ?* [En ligne]. Disponible à : [www.de-growth.info/en/2019/02/degrowing-the-population/](http://www.de-growth.info/en/2019/02/degrowing-the-population/) [Consulté le : 6 décembre 2019].
  - Bihouix, P. 2015. *Les métaux dans les TICs. 10 ans EcolInfo : "Vers une informatique éco-responsable ?"*. Paris. Disponible à : [https://ecoinfo.cnrs.fr/wp-content/uploads/2015/04/avril\\_2015\\_conference\\_ecoinfo\\_cnrs\\_métaux\\_dans\\_les\\_tic-img800q90.pdf](https://ecoinfo.cnrs.fr/wp-content/uploads/2015/04/avril_2015_conference_ecoinfo_cnrs_métaux_dans_les_tic-img800q90.pdf) [Consulté le : 11 septembre 2019].
  - Bihouix, P. et Mauvilly, K. 2016. *Le Désastre de l'école numérique : Plaidoyer pour une école sans écrans*. Paris : Seuil.
  - Bihouix, P. 2018. *Le mensonge de la croissance verte ?* [En ligne]. Thinkerview. Disponible à : [www.youtube.com/watch?v=Bx9S8gvNkK4](http://www.youtube.com/watch?v=Bx9S8gvNkK4) [Consulté le : 11 septembre 2019].
  - Bloomberg. 2018. *New Energy Outlook 2018* [En ligne]. Disponible à : <https://bnef.turtl.co/story/neo2018?teaser=true> [Consulté le : 3 novembre 2019].
  - Bloomberg. 2019. *Electric Vehicle Outlook 2019* [En ligne]. Disponible à : <https://about.bnef.com/electric-vehicle-outlook/#toc-viewreport> [Consulté le : 4 novembre 2019].
  - Böhm, S. et al. 2012. The atmosphere business. *Ephemera* 12(1). Disponible à : [www.ephemerajournal.org/issue/atmosphere-business](http://www.ephemerajournal.org/issue/atmosphere-business) [Consulté le : 14 novembre 2019].
  - Bourg, D. 2015. *Climat : le thermomètre et le philosophe – Spécial « 2° avant la fin du monde »* [En ligne]. Data Gueule. Disponible à : [www.youtube.com/watch?v=v4Z9sjVm7c](http://www.youtube.com/watch?v=v4Z9sjVm7c) [Consulté le : 20 décembre 2019].
  - BP. 2019. *BP Statistical Review of World Energy : 2019, 68th edition*. Disponible à : [www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2019-full-report.pdf](http://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2019-full-report.pdf) [Consulté le : 22 octobre 2019].
  - Brabant, F. et Jardon, Q. 2018. Charles Michel : « Je ne me contente pas d'être un

philosophe » [En ligne]. Wilfried. Disponible à : <https://wilfriedmag.be/bonus/entretien-avec-charles-michel/> [Consulté le : 6 janvier 2019].

- Brand, U. 2016. Green Economy, Green Capitalism and the Imperial Mode of Living : Limits to a Prominent Strategy, Contours of a Possible New Capitalist Formation. *Fudan Journal of the Humanities and Social Sciences* 9(1), pp.107-121.
- Brooks, J. 2013. Avoiding the limits to growth : gross national happiness in Bhutan as a model for sustainable development. *Sustainability* 5(9), pp.3640-3664.
- Bui, M. et al. 2018. Carbon capture and storage (CCS) : the way forward. *Energy & Environmental science* 11(5), pp.1062-1176.
- Caney, S. et Hepburn, C. 2011. *Carbon trading : unethical, unjust and ineffective ?* Disponible à : [https://web.archive.org/web/20130606021458/http://www.cccep.ac.uk/Publications/Working-papers/Papers/50-59/WP59\\_carbon-trading-caney-hepburn.pdf](https://web.archive.org/web/20130606021458/http://www.cccep.ac.uk/Publications/Working-papers/Papers/50-59/WP59_carbon-trading-caney-hepburn.pdf) [Consulté le : 25 novembre 2019].
- Carbon Engineering. 2019. *Carbon Engineering expanding capacity of its commercial Direct Air Capture plant to provide negative emissions to customers* [En ligne]. Disponible à : <https://carbonengineering.com/carbon-engineering-expanding-capacity-of-commercial-dac-plant/> [Consulté le : 21 octobre 2019].
- Ceballos, G. et al. 2015. Accelerated modern human-induced species losses : Entering the sixth mass extinction. *Science Advances* 1(5), e1400253-e1400253.
- Chancel, L. et Piketty, T. 2015. *Carbon and inequality : from Kyoto to Paris*. Paris : École d'économie de Paris. Disponible à : <http://piketty.pse.ens.fr/files/ChancelPiketty2015.pdf> [Consulté le : 2 décembre 2019].
- Chitnis, M. et Sorrell, S. 2015. Living up to expectations : estimating direct and indirect rebound effects UK households. *Energy Economics* 52, pp.S100-S116.
- Cho, R. 2018. *Why Thawing Permafrost Matters* [En ligne]. Disponible à : <https://blogs.ei.columbia.edu/2018/01/11/thawing-permafrost-matters/> [Consulté le : 9 août 2019].
- Chory, J. 2019. *How supercharged plants could slow climate change* [En ligne]. TED. Disponible à : [www.youtube.com/watch?v=pyFcr2WcOyo](http://www.youtube.com/watch?v=pyFcr2WcOyo) [Consulté le : 16 octobre 2019].
- Clapp, J. and Dauvergne, P. 2011. *Paths to a Green World. The Political Economy of the Global Environment*. 2nd ed. Londres : MIT Press.
- ClimateWatch. 2019. *Historical GHG Emissions* [En ligne]. Disponible à : [www.climatewatchdata.org/ghg-emissions?chartType=area&source=43](http://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions?chartType=area&source=43) [Consulté le : 9 décembre 2019].
- Climeworks. 2019. *Climeworks launches DAC-3 plant in Italy* [En ligne]. Disponible à : [www.climeworks.com/climeworks-launches-dac-3-plant-in-italy/](http://www.climeworks.com/climeworks-launches-dac-3-plant-in-italy/) [Consulté le : 29 octobre 2019].
- Cohen, J. 2008. Make secondary education universal. *Nature* 456, pp.572-573.
- Commission européenne. 2018. *Une planète propre pour tous. Une vision européenne stratégique à long terme pour une économie prospère, moderne, compétitive et neutre pour le climat*. Bruxelles. Disponible à : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:52018DC0773&from=EN> [Consulté le : 23 octobre 2019].

- Commission européenne. 2019. *EU Emissions Trading System (EU ETS)* [En ligne]. Disponible à : [https://ec.europa.eu/clima/policies/ets\\_en](https://ec.europa.eu/clima/policies/ets_en) [Consulté le : 24 octobre 2019].
- Convention Citoyenne pour le Climat. 2019a. *La Convention Citoyenne pour le Climat, c'est quoi ?* [En ligne]. Paris. Disponible à : [www.conventioncitoyennepourleclimat.fr/](http://www.conventioncitoyennepourleclimat.fr/) [Consulté le : 11 décembre 2019].
- Convention Citoyenne pour le Climat. 2019b. *Synthèse des contributions de la première phase sur la plateforme contribuez.conventioncitoyennepourleclimat.fr* [En ligne]. Paris. Disponible à : [www.conventioncitoyennepourleclimat.fr/wp-content/uploads/2019/11/Rapport\\_de\\_synthe%CC%80se\\_CCC\\_phase\\_1\\_1\\_.pdf](http://www.conventioncitoyennepourleclimat.fr/wp-content/uploads/2019/11/Rapport_de_synthe%CC%80se_CCC_phase_1_1_.pdf) [Consulté le : 20 décembre 2019].
- Courteau, R. 2013. *Les perspectives d'évolution de l'aviation civile à l'horizon 2040 : préserver l'avance de la France et de l'Europe*. Paris : Sénat français. Disponible à : [www.senat.fr/rap/r12-658/r12-6581.pdf](http://www.senat.fr/rap/r12-658/r12-6581.pdf) [Consulté le : 15 octobre 2019].
- Cowen, T. 2011. *The great stagnation : how America ate all the low-hanging fruit of modern history, got sick, and will (eventually) feel better*. New York : Dutton.
- Crutzen, P. 2006. Albedo Enhancement by Stratospheric Sulfur Injections : A Contribution to Resolve a Policy Dilemma ? *Climatic Change* 77 (3-4), pp.211-220.
- Cuéllar-Franca, R. et Azapagic, A. 2015. Carbon capture, storage and utilisation technologies : A critical analysis and comparison of their life cycle environmental impacts. *Journal of CO<sub>2</sub> Utilization* 9, pp.82-102.
- D'Alisa, G. et al. 2015b. Care. Dans : D'Alisa, G. et al. (eds). *Décroissance : Vocabulaire pour une nouvelle ère*. Neuvy-en-Champagne : Le passager clandestin, pp.153-158. Disponible à : <https://vocabulary.degrowth.org/foreign-editions/> [Consulté le : 2 décembre 2019].
- Daly, H. 1991. *Steady-State Economics*. 2<sup>e</sup> édition. Washington : Island Press.
- Delestrac, D. 2013. *Le sable – Enquête sur une disparition*. Arte.
- de Salle, C. et Zacharie, A. 2019. CQFD – *Faut-il empêcher les riches de devenir encore plus riches ?* [En ligne]. Bruxelles : La Première. Disponible à : [www.rtbef.be/auvio/detail\\_cqfd-faut-il-empêcher-les-riches-de-devenir-encore-plus-riches?id=2450280](http://www.rtbef.be/auvio/detail_cqfd-faut-il-empêcher-les-riches-de-devenir-encore-plus-riches?id=2450280) [Consulté le : 21 décembre 2019].
- De Wever, B. 2019. Dans : Stefens, E. *Bart De Wever : « Les jeunes ne doivent pas croire aux prédictions d'apocalypse »* [En ligne]. VRT. Disponible à : [www.vrt.be/vrtnws/fr/2019/01/26/bart-de-wever-les-jeunes-ne-doivent-pas-croire-aux-prediction/](http://www.vrt.be/vrtnws/fr/2019/01/26/bart-de-wever-les-jeunes-ne-doivent-pas-croire-aux-prediction/) [Consulté le : 23 octobre 2019].
- Diamond, J. 2006. *Effondrement : Comment les sociétés décident de leur disparition ou de leur survie*. Paris : Gallimard.
- Dunlop, I. et Spratt, D. 2017. *Disaster alley : Climate change conflict & risk*. Melbourne : Breakthrough – National Centre for Climate Restoration. Disponible à : [https://docs.wixstatic.com/ugd/148cb0\\_8c0b021047fe406dbfa2851ea131a146.pdf](https://docs.wixstatic.com/ugd/148cb0_8c0b021047fe406dbfa2851ea131a146.pdf) [Consulté le : 19 août 2019].
- Dunlop, I. et Spratt, D. 2018. *What lies beneath : The understatement of existential climate risks*. Melbourne : Breakthrough – National Centre for Climate Restoration. Disponible

à : [https://docs.wixstatic.com/ugd/148cb0\\_a0d7c18a1bf64e698a9c8c8f18a42889.pdf](https://docs.wixstatic.com/ugd/148cb0_a0d7c18a1bf64e698a9c8c8f18a42889.pdf)  
[Consulté le : 9 août 2019].

- Earth Overshoot Day. 2019. *The carbon Footprint makes up 60% of humanity's Ecological Footprint* [En ligne]. Disponible à : [www.overshootday.org/solutions/energy/](http://www.overshootday.org/solutions/energy/) [Consulté le : 23 septembre 2019].
- Ellabban, O. et al. 2014. Renewable energy resources : Current status, future prospects and their enabling technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 39, pp.748-764.
- Ernst, D. 2019. *Éléments pour une vision techno-optimiste de l'écologie* [En ligne]. Disponible à : [www.youtube.com/watch?time\\_continue=2&v=C15np651ZBs](http://www.youtube.com/watch?time_continue=2&v=C15np651ZBs) [Consulté le : 27 octobre 2019].
- Fajardy, M. et al. 2019. *BECCS deployment : a reality check*. Londres : Grantham Institute. Disponible à : [www.imperial.ac.uk/media/imperial-college/grantham-institute/public/publications/briefing-papers/BECCS-deployment---a-reality-check.pdf](http://www.imperial.ac.uk/media/imperial-college/grantham-institute/public/publications/briefing-papers/BECCS-deployment---a-reality-check.pdf) [Consulté le : 16 octobre 2019].
- FAO (Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture). 2018. *FAO's work on climate change*. Rome. Disponible à : [www.fao.org/3/CA2607EN/ca2607en.pdf](http://www.fao.org/3/CA2607EN/ca2607en.pdf) [Consulté le : 19 août 2019].
- Financial Times. 2019. *How capturing CO2 from air can combat climate change* [En ligne]. Disponible à : [www.youtube.com/watch?v=mU91nD2jEo](http://www.youtube.com/watch?v=mU91nD2jEo) [Consulté le : 29 octobre 2019].
- Freire-González, J. and Puig-Ventosa, I. 2015. Energy Efficiency Policies and the Jevons Paradox. *International Journal of Energy Economics and Policy* 5(1), pp. 69-79.
- Gagnon, L. et al. 2002. Life-cycle assessment of electricity generation options : The status of research in year 2001. *Energy Policy* 30(14), pp.1267-1278.
- Geissdoerfer, M. et al. 2017. The Circular Economy – A new sustainability paradigm ? *Journal of Cleaner Production* 143, pp.757-768.
- Geldron, A. 2018. *Sobriété et lutte contre l'obsolescence des biens : une impérative nécessité pour l'humanité ?* Grenoble. Disponible à : <https://ecoinfo.cnrs.fr/wp-content/uploads/2018/10/2018-11-26-Alain-Geldron.pdf> [Consulté le : 2 septembre 2019].
- Geoengineering Monitor. *Carbone capture use and storage (technology factsheet)* [En ligne]. Disponible à : [www.geoengineeringmonitor.org/2018/05/carbon-capture-use-and-storage/](http://www.geoengineeringmonitor.org/2018/05/carbon-capture-use-and-storage/) [Consulté le : 25 novembre 2019].
- Georgescu-Roegen, N. 1971. *The Entropy Law and the Economic Process*. Cambridge, MA : Harvard University Press.
- GeSI (Global e-Sustainability Initiative) et Accenture. 2017. *#SystemTransformation : How digital solutions will drive progress towards the sustainable development goals*. Bruxelles. Disponible à : [http://systemtransformation-sdg.gesi.org/160608\\_GeSI\\_SystemTransformation.pdf](http://systemtransformation-sdg.gesi.org/160608_GeSI_SystemTransformation.pdf) [Consulté le : 5 septembre 2019].
- GIEC. 2005. *IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage : Summary for Policymakers*. Disponible à : [www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/srccs\\_summaryforpoli-](http://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/srccs_summaryforpoli-)

- cymakers-1.pdf [Consulté le : 16 octobre 2019].
- GIEC. 2014. *Climate Change 2014 : Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. États-Unis : Cambridge University Press. Disponible à : [www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc\\_wg3\\_ar5\\_full.pdf](http://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_full.pdf) [Consulté le : 15 octobre 2019].
  - GIEC. 2018. *Global warming of 1.5°C*. Disponible à : [www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SRI5\\_Full\\_Report\\_High\\_Res.pdf](http://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SRI5_Full_Report_High_Res.pdf) [Consulté le : 19 août 2019].
  - GIEC. 2019. *The Ocean and Cryosphere in a Changing Climate : Summary for Policymakers*. Monaco. Disponible à : [https://report.ipcc.ch/srocc/pdf/SROCC\\_SPM\\_Approved.pdf](https://report.ipcc.ch/srocc/pdf/SROCC_SPM_Approved.pdf) [Consulté le : 11 octobre 2019].
  - Giraud, G. 2016. *Le point de vue de Gaël Giraud, Chef économiste de l'AFD* [En ligne]. Paris : Agence française de développement. Disponible à : [www.youtube.com/watch?v=49BMrVaV-ol](http://www.youtube.com/watch?v=49BMrVaV-ol) [Consulté le : 27 décembre 2019].
  - Giraud, G. 2019. *Tsunami financier, désastre humanitaire ?* [En ligne]. Thinkerview. Disponible à : [www.youtube.com/watch?v=2oFARgqG0NA](http://www.youtube.com/watch?v=2oFARgqG0NA) [Consulté le : 12 août 2019].
  - GISTEMP Team, 2019. *GISS Surface Temperature Analysis (GISTEMP)* [En ligne]. NASA Goddard Institute for Space Studies. Disponible à : [data.giss.nasa.gov/gistemp/](http://data.giss.nasa.gov/gistemp/) [Consulté le : 28 décembre 2019].
  - Global Footprint Network. 2019a. *Country Trends* [En ligne]. Disponible à : <http://data.footprintnetwork.org/#/countryTrends?cn=255&type=earth> [Consulté le : 10 août 2019].
  - Global Footprint Network. 2019b. *Country Trends* [En ligne]. Disponible à : [http://data.footprintnetwork.org/?\\_ga=2.15245744.742075653.1575884033-1122668701.1570097522#/countryTrends?cn=5001&type=earth](http://data.footprintnetwork.org/?_ga=2.15245744.742075653.1575884033-1122668701.1570097522#/countryTrends?cn=5001&type=earth) [Consulté le : 9 décembre 2019].
  - Gossart, C. 2015. Rebound Effects and ICT : A Review of the Literature. Dans : Hilty, L. et Aebischer, B. (eds). *ICT Innovations for Sustainability*. Zurich : Springer, pp.435-448.
  - Graeber, D. 2009. *Debt : The First 5,000 Years*. Brooklyn, NY : Melville House.
  - Grasset, L. 2019. *Les (bonnes ?) surprises du changement climatique* [En ligne]. DirtyBiology. Disponible à : [www.youtube.com/watch?v=rI3KKmIHskk](http://www.youtube.com/watch?v=rI3KKmIHskk) [Consulté le : 19 août 2019].
  - Guilyardi, E. et al. 2019. *Rapport spécial du GIEC « réchauffement à 1.5°C » – Résumé à destination des enseignants*. Paris : Office for Climate Education. Disponible à : [www.oce.global/fr/resources/climate-science/STI\\_1.5-FR](http://www.oce.global/fr/resources/climate-science/STI_1.5-FR) [Consulté le : 6 août 2019].
  - Guterres, A. 2018. *Secretary-General's remarks on Climate Change [as delivered]* [En ligne]. Disponible à : [www.un.org/sg/en/content/sg/statement/2018-09-10/secretary-generals-remarks-climate-change-delivered](http://www.un.org/sg/en/content/sg/statement/2018-09-10/secretary-generals-remarks-climate-change-delivered) [Consulté le : 22 août 2019].
  - Hallmann, C. et al. 2017. More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. *PLoS ONE* 12(10) : e0185809. Disponible à : <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0185809> [Consulté le : 9 août 2019].
  - Halloy, J. 2018. More than an energy issue, we have a problem of materials. *4th Science and Energy Seminar à l'École de Physique des Houches*. Les Houches. Disponible à : <http://>

science-and-energy.org/wp-content/uploads/2018/03/JH-Les-Houches-2018.pdf [Consulté le : 11 septembre 2019].

- Hilty, L. 2008. *Information technology and sustainability : Essays on the relationships between information technology and sustainable development*. Norderstedt : Books on Demand.
- Hofste, R. et al. 2019. *17 Countries, Home to One-Quarter of the World's Population, Face Extremely High Water Stress* [En ligne]. Washington : World Resource Institute. Disponible à : [www.wri.org/blog/2019/08/17-countries-home-one-quarter-world-population-face-extremely-high-water-stress](http://www.wri.org/blog/2019/08/17-countries-home-one-quarter-world-population-face-extremely-high-water-stress) [Consulté le : 19 août 2019].
- ICAP (Partenariat international d'action sur le carbone). 2019a. *MRV & Enforcement* [En ligne]. Lisbonne. Disponible à : <https://icapcarbonaction.com/en/mvr-and-enforcement> [Consulté le : 6 novembre 2019].
- ICAP (Partenariat international d'action sur le carbone). 2019b. *Allowance Price Explorer* [En ligne]. Lisbonne. Disponible à : <https://icapcarbonaction.com/en/ets-prices> [Consulté le : 6 novembre 2019].
- ICAP (Partenariat international d'action sur le carbone). 2019c. *ETS Map* [En ligne]. Lisbonne. Disponible à : <https://icapcarbonaction.com/en/ets-map> [Consulté le : 6 novembre 2019].
- Inter-Environnement Wallonie. 2019. *Analyse : Spécial Déclaration de Politique Régionale* [En ligne]. Disponible à : [www.iew.be/special-declaration-de-politique-regionale/](http://www.iew.be/special-declaration-de-politique-regionale/) [Consulté le : 11 décembre 2019].
- Institut Salk. 2019. *Harnessing Plants Initiative* [En ligne]. Disponible à : [www.salk.edu/science/power-of-plants/](http://www.salk.edu/science/power-of-plants/) [Consulté le : 16 octobre 2019].
- IPBES (Plateforme intergouvernementale sur la biodiversité et les services écosystémiques). 2019. *Summary for policymakers of the global assessment report*. Bonn : IPBES secrétariat.
- ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor). 2019a. Disponible à : [www.iter.org/fr/accueil](http://www.iter.org/fr/accueil) [Consulté le : 15 octobre 2019].
- ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor). 2019b. *L'après-ITER* [En ligne]. Disponible à : [www.iter.org/fr/sci/iterandbeyond](http://www.iter.org/fr/sci/iterandbeyond) [Consulté le : 4 novembre 2019].
- Jackson, T. et Pepper, M. 2011. Consumerism as Theodicy : Religious and Secular Meaning Functions in Modern Society. Dans : Thomas, L. eds. *Religion, Consumerism and Sustainability : Paradise Lost ?* Basingstoke : Palgrave Macmillan, pp.17-36.
- Jackson, T. 2017. *Prosperité sans croissance : Les fondations pour l'économie de demain*. 2<sup>e</sup> ed. Bruxelles : De Boeck.
- Jancovici, J.-M. 2007. *Ne suffit-il pas de planter des arbres pour compenser les émissions ?* [En ligne]. Disponible à : <https://jancovici.com/changement-climatique/gaz-a-effet-de-serre-et-cycle-du-carbone/ne-suffit-il-pas-de-planter-des-arbres-pour-compenser-les-emissions/> [Consulté le : 2 octobre 2019].
- Kallis, G. 2018. *In defense of degrowth*. Aaron Vansintjan.
- Kallis, G. 2019. *degrowth*. Agenda Publishing.
- Keucheyan, R. 2017. *Ce dont nous avons (vraiment) besoin*. Le Monde Diplomatique. Dis-



- ponible à : [www.monde-diplomatique.fr/2017/02/KEUCHEYAN/57134](http://www.monde-diplomatique.fr/2017/02/KEUCHEYAN/57134) [Consulté le : 2 décembre 2019].
- Koomey, J. et al. 2011. Implications of historical trends in the electrical efficiency of computing. *IEEE Annals of the History of Computing* 33(3), pp.46-54.
  - Kulp, S. et Strauss, B. 2019. New elevation data triple estimates of global vulnerability to sea-level rise and coastal flooding. *Nature Communications* 10 (4844). Disponible à : [www.nature.com/articles/s41467-019-12808-z](http://www.nature.com/articles/s41467-019-12808-z) [Consulté le : 2 novembre 2019].
  - Latouche, S. 2004. *Survivre au développement : De la décolonisation de l'imaginaire économique à la construction d'une société alternative*. Paris : Mille et une nuits.
  - Lévy, P. 2015. *Les apprentis sorciers du climat*. Arte.
  - Magee, C. et Devezas, T. 2017. A simple extension of dematerialization theory : Incorporation of technical progress and the rebound effect. *Technological Forecasting and Social Change* 117, pp.196-205. Disponible à : [www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040162516308022#f0025](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040162516308022#f0025) [Consulté le : 10 septembre 2019].
  - Malm, A. 2013. The Origins of Fossil Capital : From Water to Steam in the British Cotton Industry. *Historical Materialism* 21(1), pp.15-68.
  - Meadows, D. et al. 1972. *Halte à la croissance ?* Paris : Fayard.
  - Météo France. 2019a. *Arctique et Groenland : fonte précoce de la glace* [En ligne]. Paris. Disponible à : [www.meteofrance.fr/actualites/73569698-arctiqueet-groenland-fonte-precoce-de-la-glace](http://www.meteofrance.fr/actualites/73569698-arctiqueet-groenland-fonte-precoce-de-la-glace) [Consulté le : 9 août 2019].
  - Météo France. 2019b. *Groenland : la fonte de la calotte a fait monter de 0,5 mm le niveau de la mer* [En ligne]. Paris. Disponible à : [www.meteofrance.fr/actualites/74602294-groenland-la-fonte-de-la-calotte-a-fait-monter-de-0-5-mm-le-niveau-de-la-mer](http://www.meteofrance.fr/actualites/74602294-groenland-la-fonte-de-la-calotte-a-fait-monter-de-0-5-mm-le-niveau-de-la-mer) [Consulté le : 9 août 2019].
  - Monbiot, G. 2015. *False Promise* [En ligne]. Disponible à : [www.monbiot.com/2015/11/24/false-promise/](http://www.monbiot.com/2015/11/24/false-promise/) [Consulté le : 14 novembre 2019].
  - Mora, C. et al. 2017. Global risk of deadly heat. *Nature Climate Change* 7, pp. 501-506.
  - Muller, J. 2019. Dans : Mugnier, R. *Les 18-24 ans en plein paradoxe : écolos mais consuméristes* [En ligne]. Paris : Usbek & Rica. Disponible à : <https://usbeketrica.com/article/les-18-24-ans-en-plein-paradoxe-ecolos-mais-consumeristes> [Consulté le : 21 décembre 2019].
  - National Snow and Ice Data Center. 2019. *Arctic Sea Ice News & Analysis* [En ligne]. Boulder, Colorado. Disponible à : <https://nsidc.org/arcticseaicenews/> [Consulté le : 11 octobre 2019].
  - Notre Dame University. 2019. *Notre Dame Global Adaptation Initiative : Country Index* [En ligne]. Notre Dame, Indiana. Disponible à : <https://gain.nd.edu/our-work/country-index/> [Consulté le : 11 octobre 2019].
  - Nyquist, S. 2016. *Energy 2050 : Insights from the ground up* [En ligne]. McKinsey & Company. Disponible à : [www.mckinsey.com/industries/oil-and-gas/our-insights/energy-2050-insights-from-the-ground-up](http://www.mckinsey.com/industries/oil-and-gas/our-insights/energy-2050-insights-from-the-ground-up) [Consulté le : 3 novembre 2019].
  - Oliva, M. et Owren, C. 2015. *Roots for a more equal and sustainable future : An Introduction*

to climate change—and the value of a gender-responsive approach to tackling it. Dans : Aguilar, L. et al. eds. *Roots for the Future : The Landscape and Way Forward on Gender and Climate Change*. Washington : IUCN et GGCA, pp. 14-45. Disponible à : <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2015-039.pdf?fbclid=IwAR1xT1CUKtObyqQltAQ3rO-3dfEYzj6ISQt3nngInjK-ZxXaazykwomu8LbM> [Consulté le : 27 décembre 2019].

- OMM (Organisation météorologique mondiale). 2017. *ICTs in Weather, Climate & Water : Contributions towards Advancing Global Development and the SDGs*. Dans : Biggs, P. ed. *Fast-forward progress Leveraging tech to achieve the global goals*. Genève : UIT, pp. 102-106. Disponible à : [www.itu.int/en/sustainable-world/Documents/Fast-forward\\_progress\\_report\\_414709%20FINAL.pdf](http://www.itu.int/en/sustainable-world/Documents/Fast-forward_progress_report_414709%20FINAL.pdf) [Consulté le : 7 octobre 2019].
- OMM (Organisation météorologique mondiale). 2019. *WMO Statement on the State of the Global Climate in 2018*. Genève. Disponible à : [https://gallery.mailchimp.com/daf3c1527c-528609c379f3c08/files/82234023-0318-408a-9905-5f84bbb04eee/Climate\\_Statement\\_2018.pdf](https://gallery.mailchimp.com/daf3c1527c-528609c379f3c08/files/82234023-0318-408a-9905-5f84bbb04eee/Climate_Statement_2018.pdf) [Consulté le : 7 août 2019].
- OMM (Organisation météorologique mondiale) et al. 2019. *United In Science : High-level synthesis report of latest climate science information convened by the Science Advisory Group of the UN Climate Action Summit 2019*. Disponible à : <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/30023/climsci.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [Consulté le : 11 octobre 2019].
- O'Neill, B. et al. 2004. Population, greenhouse gas emissions, and climate change. Dans : Lutz, W et al. (eds.). *The End of World Population Growth in the 21st Century : New Challenges for Human Capital Formation & Sustainable Development*. Londres : Earthscan, pp. 283-314.
- ONU. 2019a. *Climate Action Summit : Closing press release*. Disponible à : [www.un.org/en/climatechange/assets/pdf/CAS\\_closing\\_release.pdf](http://www.un.org/en/climatechange/assets/pdf/CAS_closing_release.pdf) [Consulté le : 25 septembre 2019].
- ONU. 2019b. *Objectif 9 : Bâtir une infrastructure résiliente, promouvoir une industrialisation durable qui profite à tous et encourager l'innovation* [En ligne]. Disponible à : [www.un.org/sustainabledevelopment/fr/infrastructure/](http://www.un.org/sustainabledevelopment/fr/infrastructure/) [Consulté le : 23 octobre 2019].
- ONU. 2019c. *World Population Prospects 2019* [En ligne]. New York : Département des affaires économiques et sociales, division population. Disponible à : <https://population.un.org/wpp/DataQuery/> [Consulté le : 4 novembre 2019].
- Oxfam. 2019. *Services publics ou fortunes privées ?* Oxford. Disponible à : [www.oxfamfrance.org/wp-content/uploads/2019/01/rapport-davos-2019-oxfam-services-publics-ou-fortunes-privées.pdf](http://www.oxfamfrance.org/wp-content/uploads/2019/01/rapport-davos-2019-oxfam-services-publics-ou-fortunes-privées.pdf) [Consulté le : 21 mai 2019].
- Pak, S. 2019. *Fin du monde : et si c'était sérieux ?* Complément d'enquête. Disponible à : [www.youtube.com/watch?v=YX\\_RW5iYjCQ](http://www.youtube.com/watch?v=YX_RW5iYjCQ) [Consulté le : 22 août 2019].
- Pal, J. et Eltahir, E. 2016. Future temperature in southwest Asia projected to exceed a threshold for human adaptability. *Nature Climate Change* 6, pp. 197-200.
- Parrique, T. 2019. *Degrowth : A realistic demand for the impossible*. Stockholm : Stockholm Resilience Centre. Disponible à : [www.youtube.com/watch?v=VQfv23a5ZnQ](http://www.youtube.com/watch?v=VQfv23a5ZnQ) [Consulté le : 20 novembre 2019].

- Parrique, T. et al. 2019. *Decoupling debunked : Evidence and arguments against green growth as a sole strategy for sustainability*. Bruxelles : Bureau européen de l'environnement. Disponible à : <https://mk00eborgiucyypctuf7e.kinstacdn.com/wp-content/uploads/2019/07/Decoupling-Debunked.pdf> [Consulté le : 10 septembre 2019].
- Pattyn, F. 2018. *Rapport GIEC 1.5 – Objectif 1,5°C : est-il déjà trop tard ? – Frank Pattyn – ULB* [En ligne]. Disponible à : [www.youtube.com/watch?v=6TKQXXSILLs](http://www.youtube.com/watch?v=6TKQXXSILLs) [Consulté le : 7 août 2019].
- Pickett, K. et Wilkinson, R. 2009. *The Spirit Level : Why More Equal Societies Almost Always Do Better*. Londres : Allen Lane.
- Piketty, T. 2013. *Le capital au XXI<sup>e</sup> siècle*. Paris : Seuil.
- Polanyi, K. 1944. *The Great Transformation : The Political and Economic Origins of Our Time*. Boston, MA : Beacon.
- Plomteux, A. et al. 2020. *Le numérique de A à Z : Rendre visible l'invisible*. Conscience Numérique Durable. Bruxelles. À paraître.
- PNUÉ (Programme des Nations unies pour l'environnement). 2019. *Emissions Gap Report 2019*. Nairobi. Disponible à : <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/30797/EGR2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [Consultée le : 17 décembre 2019].
- Raworth, K. 2017. *Doughnut Economics : Seven ways to think like a 21st-century economist*. Londres : Random House Business Books
- Régnier, C. et al. 2015. Mass extinction in poorly known taxa. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 112(25), pp.7761-7766.
- REN21 (Renewable Energy Policy Network for the 21st Century). 2019. Global Overview. Dans : Renewables 2019 : *Global Status Report*. Bonn. Disponible à : [www.ren21.net/gsr-2019/chapters/chapter\\_01/chapter\\_01/](http://www.ren21.net/gsr-2019/chapters/chapter_01/chapter_01/) [Consulté le : 15 novembre 2019].
- République française. 2019. *Taxes aéronautiques* [En ligne]. Ministère de la Transition écologique et solidaire. Paris. Disponible à : [www.ecologique-solidaire.gouv.fr/taxes-aeronautiques](http://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/taxes-aeronautiques) [Consulté le : 25 novembre 2019].
- Reuters. 2019. *Scientists shocked by Arctic permafrost thawing 70 years sooner than predicted* [En ligne]. Disponible à : [www.theguardian.com/environment/2019/jun/18/arctic-permafrost-canada-science-climate-crisis](http://www.theguardian.com/environment/2019/jun/18/arctic-permafrost-canada-science-climate-crisis) [Consulté le : 9 août 2019].
- Rifkin, J. 2019. *Le New Deal vert mondial*. Paris : Les Liens qui Libèrent.
- Ritchie, H. et Roser, M. 2019a. *CO<sub>2</sub> and Greenhouse Gas Emissions* [En ligne]. Oxford : Our World In Data. Disponible à : <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions> [Consulté le : 9 décembre 2019].
- Ritchie, H. et Roser, M. 2019b. *Energy Production & Changing Energy Sources* [En ligne]. Oxford : Our World In Data. Disponible à : <https://ourworldindata.org/energy-production-and-changing-energy-sources> [Consulté le : 9 décembre 2019].
- Robock, A. 2017. Could subsea methane hydrates be a warming “tipping point” ? *Eos* 98. Disponible à : <https://eos.org/editors-vox/could-subsea-methane-hydrates-be-a-warming->

tipping-point [Consulté le : 12 août 2019].

- Rockström, J. et al. 2017. A roadmap for rapid decarbonization. *Science* 355(6331).
- Romano, O. 2015. Dépense (notion de). Dans : D'Alisa, G. et al. (eds). *Décroissance : Vocabulaire pour une nouvelle ère*. Neuvy-en-Champagne : Le passager clandestin, pp.195-202. Disponible à : <https://vocabulary.degrowth.org/foreign-editions/> [Consulté le : 2 décembre 2019].
- Romer, P. 1986. Increasing Returns and Long Run Growth. *Journal of Political Economy* 94(5), pp.1002-1037.
- Rosenberg, N. 2006. Innovation and Economic Growth. Dans : *Innovation and Growth in Tourism*. Paris : OCDE, pp.43-52.
- Roser, M. 2019. *Economic Growth* [En ligne]. Oxford : Our World In Data. Disponible à : <https://ourworldindata.org/economic-growth> [Consulté le : 6 novembre 2019].
- Roser, M. et al. 2019. *World Population Growth* [En ligne]. Oxford : Our World In Data. Disponible à : <https://ourworldindata.org/world-population-growth> [Consulté le : 9 décembre 2019].
- Ruysen, A. 2018. *Démocratie en question(s) – Épisode 1 : Et si la démocratie était en train de faire faillite ?* [En ligne]. Bruxelles : La Première. Disponible à : [www.rtb.be/auvio/detail\\_democratie-en-question-s-episode-1?id=2371974](http://www.rtb.be/auvio/detail_democratie-en-question-s-episode-1?id=2371974) [Consulté le : 20 décembre 2019].
- Santarius, T. 2017. *Digitalization, Efficiency and the Rebound Effect* [En ligne]. Disponible à : [www.degrowth.info/en/2017/02/digitalization-efficiency-and-the-rebound-effect/](http://www.degrowth.info/en/2017/02/digitalization-efficiency-and-the-rebound-effect/) [Consulté le : 9 septembre 2019].
- Santarius, T. et al. 2018. From Unidisciplinary to Multidisciplinary Rebound Research : Lessons Learned for Comprehensive Climate and Energy Policies. *Frontiers in Energy Research* 6. Disponible à : [www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenrg.2018.00104/full](http://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenrg.2018.00104/full) [Consulté le : 10 septembre 2019].
- Saversi, A. 2016. The Paris Agreement : a new beginning ? *Journal of Energy and Natural Resource Law* 34(1), pp. 16-26.
- Schumpeter, J. 1942. *Capitalism, Socialism and Democracy*. New York : Harper & Brothers.
- Servigne, P. et Stevens, R. 2015. *Comment tout peut s'effondrer : petit manuel de collapsologie à l'usage des générations présentes*. Paris : Seuil.
- Servigne, P. et Chapelle, G. 2017. *L'entraide : l'autre loi de la jungle*. Paris : Les liens qui libèrent.
- Shove, E. 2003. *Comfort, Cleanliness and Convenience : The Social Organization of Normality*. Oxford : Berg.
- Smith, P. et al. 2015. Biophysical and economic limits to negative CO<sub>2</sub> emissions. *Nature Climate Change* 6, pp.42-50.
- Steffen, W. et al. 2015. The trajectory of the Anthropocene : The Great Acceleration. *The Anthropocene Review* 2(1), pp.81-98.
- Steffen, W. et al. 2018. Trajectories of the Earth System in the Anthropocene. *Science* 347(6223), 1259855. Disponible à : [www.pnas.org/content/115/33/8252](http://www.pnas.org/content/115/33/8252) [consulté le : 7

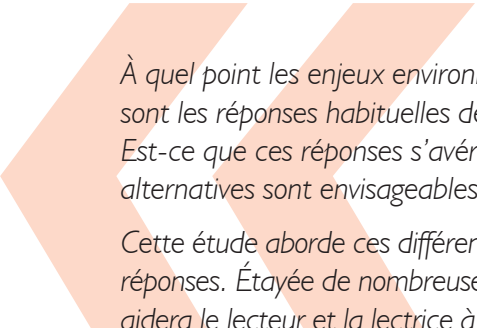
août 2019].

- Swyngedouw, E. 2015. Dépolitisation/Le politique. Dans : D'Alisa, G. et al. (eds). *Décroissance : Vocabulaire pour une nouvelle ère*. Neuvy-en-Champagne : Le passager clandestin, pp.203-210. Disponible à : <https://vocabulary.degrowth.org/foreign-editions/> [Consulté le : 2 décembre 2019].
- Tainter, J. 1988. *The Collapse of Complex Societies*. Cambridge : Cambridge University Press.
- The Economist. 2019. Ice and fire. Dans : *Deathwatch for the Amazon*, p.22. Londres.
- The Shift Project. 2019. *Historical Energy Production Statistics* [En ligne]. Paris. Disponible à : [www.tsp-data-portal.org/Energy-Production-Statistics#tspQvChart](http://www.tsp-data-portal.org/Energy-Production-Statistics#tspQvChart) [Consulté le : 9 septembre 2019].
- Thunberg, G. 2019. *Greta Thunberg to world leaders : 'How dare you ? You have stolen my dreams and my childhood'* [En ligne]. Guardian News. Disponible à : [www.youtube.com/watch?v=TMrtLsQbaok](http://www.youtube.com/watch?v=TMrtLsQbaok) [Consulté le : 11 décembre 2019].
- Turner, G. 2014. *Is global collapse imminent ?* Melbourne : Melbourne Sustainable Society Institute. Disponible à : [https://espas.secure.europarl.europa.eu/orbis/sites/default/files/generated/document/en/MSSI-ResearchPaper-4\\_Turner\\_2014.pdf#6](https://espas.secure.europarl.europa.eu/orbis/sites/default/files/generated/document/en/MSSI-ResearchPaper-4_Turner_2014.pdf#6) [Consulté le : 12 août 2019].
- USGS (U.S. Geological Survey). 2019. *Mineral commodity : summaries 2019* [En ligne]. Disponible à : [http://prd-wret.s3-us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/atoms/files/mcs2019\\_all.pdf](http://prd-wret.s3-us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/atoms/files/mcs2019_all.pdf) [Consulté le : 2 septembre 2019].
- Van Reybrouck, D. 2018. Dans : Ruysse, A. 2018. *Démocratie en question(s) – Épisode 1 : Et si la démocratie était en train de faire faillite ?* [En ligne]. Disponible à : [www.rtbef.be/auvio/detail\\_democratie-en-question-s-episode-1?id=2371974](http://www.rtbef.be/auvio/detail_democratie-en-question-s-episode-1?id=2371974) [Consulté le : 20 décembre 2019].
- Vautard, R. et al. 2019. *Human contribution to the record-breaking July 2019 heat wave in Western Europe*. World Weather Attribution. Disponible à : [www.worldweatherattribution.org/wp-content/uploads/July2019heatwave.pdf](http://www.worldweatherattribution.org/wp-content/uploads/July2019heatwave.pdf) [Consulté le : 7 août 2019].
- Veenhoven, R. 2012. Does happiness differ across cultures ? Dans : Selin, H. et Davey, G. eds. *Happiness Across Cultures : Views of Happiness and Quality of Life in Non-Western Cultures*. Dordrecht : Springer, pp.451-472.
- Viallet, J. 2019. *L'Homme, destructeur de la Terre* [En ligne]. Arte. Disponible à : [www.youtube.com/watch?v=4LT0xHsx\]so](http://www.youtube.com/watch?v=4LT0xHsx]so) [Consulté le : 12 août 2019].
- Von der Leyen, U. 2019. *Press remarks by President von der Leyen on the occasion of the adoption of the European Green Deal Communication*. Commission européenne. Disponible à : [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/speech\\_19\\_6749](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/speech_19_6749) [Consulté le : 17 décembre 2019].
- Wagner, G. et Weitzman, M. 2015. *Climate Shock : The Economic Consequences of a Hotter Planet*. Princeton University Press.
- Wallenborn, G. 2018. Rebounds Are Structural Effects of Infrastructures and Markets. *Frontiers in Energy Research* 6. Disponible à : [www.frontiersin.org/articles/10.3389/fen-](http://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fen-)

rg.2018.00099/full [Consulté le : 9 septembre 2019].

- Wallonie. 2019. *Déclaration de politique régionale pour la Wallonie 2019-2024*. Disponible à : [www.wallonie.be/sites/default/files/2019-09/declaration\\_politique\\_regionale\\_2019-2024.pdf](http://www.wallonie.be/sites/default/files/2019-09/declaration_politique_regionale_2019-2024.pdf) [Consulté le : 11 décembre 2019].
- WWF. 2018. *Rapport Planète Vivante 2018 : Soyons ambitieux*. Grooten, M. et Almond, R. Eds. Gland, Suisse : WWF International. Disponible à : [www.wwf.fr/sites/default/files/doc-2018-10/20181030\\_Rapport\\_Planete\\_Vivante\\_2018\\_synthese.pdf](http://www.wwf.fr/sites/default/files/doc-2018-10/20181030_Rapport_Planete_Vivante_2018_synthese.pdf) [Consulté le : 9 août 2019].
- Xavantina, N. et Santarém. 2019. On the brink. Dans : *Deathwatch for the Amazon*, pp. 16-18. Londres : The Economist.
- Zevin, A. 2012. « *The Economist* », le journal le plus influent du monde [En ligne]. Paris : Le Monde Diplomatique. Disponible à : [www.monde-diplomatique.fr/2012/08/ZEVIN/48061](http://www.monde-diplomatique.fr/2012/08/ZEVIN/48061) [Consulté le : 27 octobre 2019].





À quel point les enjeux environnementaux sont-ils importants ? Quelles sont les réponses habituelles de nos dirigeant·e·s pour y faire face ? Est-ce que ces réponses s'avéreront adéquates et suffisantes ? Quelles alternatives sont envisageables ?

Cette étude aborde ces différentes questions et tente d'y apporter des réponses. Étayée de nombreuses références académiques récentes, elle aidera le lecteur et la lectrice à mieux cerner les enjeux économiques, sociaux, politiques ou encore culturels qui se cachent derrière les challenges environnementaux. Une des spécificités de cette étude est de passer en revue les différentes technologies envisagées pour endiguer le changement climatique et, se basant sur les dernières études scientifiques à ce sujet, d'évaluer leurs réels potentiels, au-delà des slogans et du greenwashing.

Au vu de l'ampleur probable des dégâts que vont causer nos modes de vie actuels, d'importants changements, tant au niveau individuel que collectif, sont nécessaires. La dernière partie propose quelques alternatives qui transformeraient en profondeur nos sociétés. Loin d'être des solutions parfaites, elles ouvrent des pistes de réflexion dans le but de construire une société vivant en accord avec les limites de la planète. La tâche à accomplir est immense, mais cela ne la rend que plus passionnante.

Cette étude s'inscrit dans une volonté de la Ligue de l'Enseignement et de l'Éducation permanente de sensibiliser sur les enjeux environnementaux actuels. D'autres études sur ce thème seront rédigées à l'avenir. Le projet européen « Conscience Numérique Durable » est également dans cette lignée.

