



Réussir la transition énergétique

Concilier croissance économique et
développement durable

Table des matières

À propos de l'auteur	1
A propos de l'Institut Sapiens	2
Synthèse	3
Introduction	8
I) La croissance économique source du développement	11
Une invention récente	11
Les trois leviers de la croissance économique	12
La première transition énergétique de l'histoire	14
Fonctionnement de la société de croissance	16
Vertus de la société de croissance	21
Les conséquences funestes de la « décroissance économique »	23
Croissance soutenable et développement durable	26
II) Une croissance 100% verte : réalité ou utopie ?	30
L'évolution récente du mix énergétique mondial	31
Les fossiles « destruction créatrice » des renouvelables	34
Pilotabilité et concentration	35
Facteur de charge	37
Conséquence : un effet d'échelle démesuré	38
Un argument coût très discutable	39
La dépendance envers les métaux rares	42
III) Un développement durable reposant sur une croissance soutenable	44
Vers un mix 2050 « arc-en-ciel »	44
Une re-nucléarisation massive à plus long terme	47
IV) Un urgent besoin de pédagogie	52
La montée des « passions tristes »	52
La pédagogie pilier du positivisme	56

À propos de l'auteur

Philippe Charlez



Ingénieur des Mines de l'École Polytechnique de Mons (Belgique) et Docteur en Physique de l'Institut de Physique du Globe de Paris, Philippe Charlez est un expert internationalement reconnu en énergie.

Il est l'auteur de très nombreux articles et tribunes sur la transition énergétique ainsi que de plusieurs ouvrages dont « Croissance, énergie, climat. Dépasser la quadrature du cercle » paru en Octobre 2017 aux Editions De Boek supérieur et « L'Utopie de la Croissance Verte. Les lois de la thermodynamique sociale » paru aux Editions JM Laffont en octobre 2021.

Philippe Charlez enseigne à Science Po, Dauphine, l'INSEAD, Mines ParisTech, l'ISSEP, l'Institut Galilée et le Centre International de Formation Européenne.

Il est l'expert en questions énergétiques de l'Institut Sapiens.

A propos de l'Institut Sapiens

L'Institut Sapiens est un laboratoire d'idées dont l'objectif est de peser sur le débat économique et social. Il se veut le premier représentant d'une think-tech modernisant radicalement l'approche des think tanks traditionnels. Il souhaite innover par ses méthodes, son ancrage territorial et la diversité des intervenants qu'il mobilise, afin de mieux penser les enjeux vertigineux du siècle.

Sa vocation est triple :

Décrypter — L'Association aide à la prise de recul face à l'actualité afin d'être capable d'en comprendre les grandes questions. L'Institut Sapiens sera un centre de réflexion de pointe sur les grands enjeux économiques contemporains.

Décloisonner et faire dialoguer — L'Association veut mettre en relation des mondes professionnels trop souvent séparés : universitaires, membres de la sphère publique, praticiens de l'entreprise ou simples citoyens, ils doivent pouvoir se rencontrer pour réfléchir et dialoguer. Afin d'être réellement représentatifs de toutes les compétences et expériences, les groupes de travail associent systématiquement des personnes d'horizons professionnels divers (de l'ouvrier au dirigeant de société cotée) et peu important leur lieu de vie (Métropole, Outre-mer).

Former — Le XXI^e siècle est le siècle de l'information ; il doit devenir pour l'individu celui du savoir. Comprendre le monde implique une capacité à faire un retour sur notre histoire, à connaître le mouvement millénaire des idées, à posséder ces Humanités dont l'importance est plus grande que jamais. Parce qu'il veut faire accéder à une compréhension du monde, l'Institut Sapiens se fixe aussi pour objectif de promouvoir cette culture générale sans laquelle demain plus personne ne pourra comprendre son environnement.

Plus d'informations sur institutsapiens.fr





Synthèse

Les années 2018 & 2019 se sont déroulées au rythme des « *Gilets jaunes* » et de « *Youth for climate* », les années 2020 & 2021 au rythme du « *COVID 19* ». Le premier s'inscrit dans le cadre de revendications économiques, le second se réfère à la nouvelle menace climatique. Quant au troisième, en dehors de son issue sanitaire, il représente une expérimentation inédite de la société de décroissance. Tous trois sont révélateurs d'une nouvelle querelle entre « *anciens et modernes* » et caractérisent la difficulté à accommoder des préoccupations économiques et sociétales avec celles liées au réchauffement climatique. Il s'agit aussi d'un conflit générationnel entre les jeunes inquiets pour leur avenir et les plus âgés soucieux de maintenir leur pouvoir d'achat.

Cette équation est d'autant plus difficile à résoudre que nous voulons y répondre dans l'instantané par la passion et l'émotion. L'un des fléaux de notre société actuelle est la désinformation : la formule chère à Descartes « *je pense donc je suis* » est devenue « *je crois donc je sais* »! Ainsi, certains mouvements écologistes surfent sur la montée des « *passions tristes* ». En prétendant que demain sera nécessairement moins bien qu'hier, ils se placent de facto en rupture avec l'idée même de progrès.

Pour lutter contre ce fléau, le citoyen mais surtout la jeunesse ont un urgent besoin de pédagogie. La réforme du lycée annoncée en Février 2018 accorde une place très importante aux problématiques climato-énergétiques avec la volonté d'un enseignement davantage transverse ce dont nous nous réjouissons. Malheureusement, les messages éducationnels sont encore trop souvent tronqués par un militantisme idéologique désolidarisé du discours scientifique rationnel qui devrait s'imposer sans biais.

L'énergie aliment du développement

C'est en combattant l'obscurantisme que les philosophes des lumières ont ouvert la voie de la croissance. Mais, si la liberté de penser est nécessaire au développement celui-ci requiert aussi un catalyseur (la technologie) et un aliment (l'énergie).

Jusqu'au début de la révolution industrielle, le bois était l'unique source d'énergie. Pour des raisons d'usage mais surtout de faible concentration énergétique il a rapidement été remplacé par le charbon puis par le pétrole et le gaz. C'est donc l'histoire de la croissance qui explique la dépendance endémique de notre société vis-à-vis des énergies fossiles. Elles règnent toujours aujourd'hui en maître absolu et représentent 83% du mix primaire mondial. Leur combustion émet 35 Gt_{CO2} responsables du réchauffement climatique. Pas surprenant dès lors que l'énergie apparaisse comme un discriminant du développement : pour atteindre une espérance de vie de 75 ans, il faut au moins disposer de 20 MWh/an. En dessous de ce seuil, l'espérance de vie chute très rapidement.

Du fonctionnement de notre société de croissance se dégagent deux paramètres fondamentaux : l'intensité énergétique (rapport énergie/PIB) qui définit son efficacité énergétique et l'intensité carbone (rapport émissions/énergie) qui définit son efficacité environnementale.

Depuis les années 1960, l'intensité énergétique mondiale a baissé de 33%. Toutefois, cette réduction est loin d'être homogène, tous les pays de l'OCDE se situant en dessous de la moyenne mondiale alors que tous les pays émergents sont largement au-dessus. Deux raisons expliquent cette forte différence : l'inefficacité énergétique relative du modèle socioéconomique des émergents (premier ordre) et la délocalisation de l'industrie lourde (second ordre). L'intensité énergétique apparaît donc comme un discriminant économique traduisant dans les faits que l'écologie est « *un sport de riches* ». Les grandes réserves quant à la réduction de l'intensité énergétique se trouvent donc dans les pays émergents

En revanche, l'intensité carbone a seulement été réduite de 20% sur la même période et il n'y a pas de corrélation nette entre contenu carbone et richesse. Seul un prix significatif du carbone pourra transformer dans l'avenir l'intensité carbone en un paramètre économique discriminant.

Les objectifs cachés de l'écologie politique : une décroissance mortifère

L'ultime dessein de l'écologie politique est de sortir de la société de croissance qu'elle considère comme le grand responsable du dérèglement climatique et de promouvoir une décroissance égalitariste comme principal levier de la transition écologique. La crise du COVID 19 nous a fourni des données inestimables quant à l'effet de la décroissance sur la réduction des GES : 5 % de récession ont provoqué une réduction de 5 % des GES. Trancher le débat est finalement aisé. 5 % de réduction des GES c'est seulement 0,15 ppm en moins rejeté dans l'atmosphère. Restreindre les émissions cumulées à 450 ppm à l'horizon 2050 en utilisant le seul levier de la décroissance économique demanderait un confinement 12 mois sur 12 jusqu'en 2050 ! Pas certain que nos citoyens confinés pour raisons pandémiques pendant un an acceptent un confinement climatique durant 30 ans. La décroissance économique ne peut donc être la solution à la transition écologique.

La croissance verte : un problème de taille et non un problème technologique

Depuis 2006, 4000 G\$ ont été investis dans les énergies renouvelables sans pour autant enrayer les émissions de GES qui, entre 2006 et 2019, se sont accrues de 17%. La croissance verte supposée conduire à un monde sans carbone éloigne au contraire notre société du chemin vertueux souhaité.

L'explication de ce paradoxe s'appelle pilotabilité. Alors que la croissance économique requiert de l'énergie « *où on veut* », « *quand on veut* » et « *combien on veut* » les énergies renouvelables ne fournissent de l'énergie que quand, où et combien « *Dame Nature* » veut. Pour être pilotable, une énergie doit être stockable, transportable et concentrée. Or seules les énergies fossiles ainsi que l'uranium disponibles sous forme de matière répondent à tous ces critères. En revanche, les énergies renouvelables qui nous sont directement fournies sous forme énergétique ne remplissent aucun des critères de pilotabilité.

La principale conséquence de cette non-pilotabilité se traduit par un effet d'échelle. Récupérer une quantité suffisante d'énergie requiert la mise en œuvre de capacités d'équipements disproportionnées : nombre d'éoliennes, surface de panneaux solaires, hectares de forêt ou de cultures, les chiffres ont de quoi effrayer.

Enfin, contrairement à une idée reçue, le vent et le soleil ne confèrent pas à un pays l'indépendance énergétique. La dépendance ne se situe plus au niveau des ressources mais au niveau des matériaux (lithium, cobalt, terres rares) nécessaires aux équipements de transformation (éoliennes, panneaux solaires, batteries, piles à combustible). Et malheureusement leur distribution géographique est encore plus critique que celle des hydrocarbures et de l'uranium.

3eme voie : un développement durables'appuyant sur une croissance soutenable

S'il est indispensable d'introduire dans le mix énergétique une proportion significative d'énergies renouvelables ces dernières ne pourront assurer seules la croissance. Elles auront besoin dans le futur du support du gaz et du nucléaire. La solution se trouve donc dans un mix arc-en-ciel hybride. Tous les scénarios sérieux prédisent d'ailleurs un mix énergétique mondial 2050 renfermant encore 40% à 50% de combustibles fossiles. Mais son contenu sera très différent : presque plus de charbon, moins de pétrole et davantage de gaz naturel.

La période pré-électorale est l'occasion pour la France de revoir sa politique énergétique. Pour accroître significativement sa production d'électricité elle devra lancer sans tarder le grand carénage des centrales existantes ainsi que la construction prévue des six EPRs. A l'horizon 2050, les transports et l'habitat pourraient être complètement décarbonés avec un mix 60% gaz/nucléaire, 30% renouvelables (avec un peu de biogaz en support) et 10% d'hydroélectricité. Seule l'industrie resterait carbonée. Aussi, pour atteindre la neutralité carbone, les fossiles résiduels devront être compensés soit par la bio-séquestration (plantation d'arbres) soit par le CCS (réinjection du CO₂ dans le sous-sol).

La décarbonation complète de la société de croissance nécessitera de la re-nucléariser dans un premier temps grâce à la surgénération (Plutonium puis peut être Thorium). A plus long terme, la véritable révolution réside dans la fusion nucléaire consistant à fusionner des isotopes de l'hydrogène sans générer de déchets radioactifs. Mais, il s'agit là d'un énorme défi technologique qui demandera au

moins une cinquantaine d'années pour être opérationnel à l'échelle industrielle.

En conclusion nous dégageons de cette étude les recommandations suivantes

- ◇ En termes d'acceptabilité, la transition énergétique a un urgent besoin de pédagogie. Pour ce faire, l'énergie ne doit pas seulement être présentée comme un problème climatique mais comme une solution au développement.
- ◇ Ni la décroissance ni la croissance verte ne sont des solutions crédibles au réchauffement climatique. Un développement durable reposant sur une croissance économique soutenable reste de loin la meilleure option.
- ◇ La transition énergétique n'est pas fondamentalement un problème technologique mais un effet d'échelle.
- ◇ S'il est indispensable d'introduire dans le mix énergétique une proportion significative d'énergies renouvelables, ces dernières auront besoin du support du gaz et du nucléaire. Accompagnées par le Carbon Capture Storage elles permettront d'accéder à la neutralité carbone à l'horizon 2050.





Introduction

Il y a dix ans, les français plaçaient le chômage en tête de leurs préoccupations. Si la crainte de perdre son emploi et le pouvoir d'achat qui en résulte restent des sujets majeurs d'inquiétude, l'immigration, le terrorisme mais surtout l'environnement et le climat sont aujourd'hui devenus les nouvelles menaces. Et, ce changement de paradigme est particulièrement marquant chez les moins de 30 ans. Ainsi, dans un sondage effectué début 2018 par le World Economic Forum¹, c'est le changement climatique qui inquiète le plus les jeunes générations bien devant les guerres, les inégalités ou la pauvreté.

Cette inquiétude s'était clairement traduite dans les urnes aux Européennes de 2019 avec une vague verte qui ne s'est pas arrêtée à la France puisque les écologistes ont aussi obtenu des résultats remarquables en Belgique et en Allemagne où ils ont fait presque jeu égal avec la CDU de M^{me} Merkel. Elle s'est confirmée aux municipales de 2020 où les Verts ont remporté de nombreuses grandes villes comme Lyon, Bordeaux, Marseille, Strasbourg et Poitiers.

1 http://www.shaperssurvey2017.org/static/data/WEF_GSC_Annual_Survey_2017.pdf

L'année 2019 s'est pourtant déroulée au rythme de deux mouvements sociétaux antinomiques quant à leur finalité : le mouvement des « *Gilets jaunes* » d'une part et le mouvement « *Youth for climate* » de l'autre. Le premier s'inscrit dans le cadre de revendications économiques principalement liées au pouvoir d'achat alors que le second se réfère à la nouvelle menace climatique

Né en Belgique, « *Youth for Climate* »²³, s'est créé en réponse à l'appel de la jeune suédoise Greta Thunberg qui, en novembre 2018, avait lancé l'idée d'une « *grève scolaire pour le climat* ». Le mouvement militant considère que « *nos vies et notre futur étant directement menacés par la crise climatique, les émissions de gaz à effet de serre doivent... atteindre la neutralité carbone d'ici le début des années 2030. Des taxes sur les gaz à effets de serre doivent être mises en place en accord avec les exigences de justice sociale et les conséquences que subiront les générations futures* ».

Un discours relayé par d'autres organisations dont le collectif Extinction Rebellion⁴. Créé à Londres fin 2018, XR considère que « *la race humaine est en danger imminent d'extinction* » à cause du réchauffement climatique. XR veut imposer la neutralité carbone en 2025. Le mix énergétique étant aujourd'hui composé de 83% d'énergies fossiles c'est « *par un changement radical de société qu'il faut donc sauver la planète* »⁵. Leur méthode consiste à défier le pouvoir de façon « *non-violente* » en utilisant « *la désobéissance civile* ». Une approche qui n'est pas sans rappeler la *Satyagraha*⁶ du Mahatma Gandhi pour conquérir l'indépendance de l'Inde.

Le mouvement des « *gilets jaunes* » s'est au contraire cristallisé contre l'augmentation du prix des carburants automobiles. Pour lutter contre l'effet de serre, le gouvernement d'Edouard Philippe avait annoncé en octobre 2018 son intention d'augmenter la TICPE (Taxe Intérieure de Consommation sur les Produits Energétiques) de 11,5%. Une décision qui va mettre le feu aux poudres et engendrer une déferlante de violence que la France n'avait plus connue depuis mai 1968. Cette taxe répondait pourtant aux aspirations de « *Youth for climate* ».

En réponse aux revendications des gilets jaunes, le président Macron annonçait début décembre 2018 sa décision d'annuler purement et simplement l'augmentation de la TICPE décidée deux mois plus tôt. Il créait dans la foulée sous l'autorité du premier ministre le Haut Conseil sur le Climat, une instance consultative chargée d'apporter un éclairage indépendant sur la politique du Gouvernement en matière

2 <https://youthforclimate.fr/>

3 https://youthforclimate.fr/wp-content/uploads/2019/09/Lausanne_Climate_Declaration_Final_FR_inclu.pdf

4 <https://extinctionrebellion.fr/>

5 <https://www.institutsapiens.fr/extinction-rebellion-veut-la-peau-de-la-societe-de-croissance/>

6 <https://www.mkgandhi.org/>

de climat et notamment sur les différentes politiques publiques à mettre en œuvre pour respecter les Accords de Paris. Enfin à la suite du grand débat, il mettait en place la « *convention citoyenne sur le climat* »⁷ une expérience inédite de démocratie participative réunissant à travers 150 citoyens « *une France en miniature* » invitée à débattre sur le réchauffement climatique.

Ces mouvements sont révélateurs d'une nouvelle querelle entre « *anciens et modernes* » issue de la difficulté récurrente à concilier les préoccupations économiques et sociétales portées par des gilets jaunes confrontés à des fins de mois difficiles de celles liées à la transition écologique portée par la jeune génération. Une difficulté résumée par l'ancien ministre Nicolas Hulot dans sa phrase un peu réductrice « *fin du mois contre fin du monde* ». Mais aussi une difficulté générationnelle entre des jeunes inquiets pour leur avenir et leurs aînés soucieux de maintenir leur pouvoir d'achat.

Ce début de XXI^e siècle a réveillé en un clic cette lutte des classes qui s'était quelque peu assoupie après la chute du mur de Berlin et l'effondrement du bloc communiste. Le libéralisme économique et son corollaire la mondialisation, en étaient sortis seuls vainqueurs et avaient un peu donné l'illusion d'un ciel sans nuage. L'horizon s'est quelque peu embrumé en 2008/2009 avec les crises des subprimes et des dettes souveraines puis davantage assombri depuis trois ans. Nous en prenons pour preuve la montée récurrente des nationalismes cristallisant les craintes.

En quelques années la croissance économique est ainsi devenue la responsable de tous les maux de l'humanité. Assimilée par ses détracteurs au mal absolu, elle serait responsable de toutes les souffrances d'une société dominée par les passions tristes : conflits, destruction de l'environnement et de la biodiversité, inégalités, pauvreté, racisme, homophobie, islamophobie, féminicides. C'est oublier un peu vite son histoire et sa contribution majeure au développement.

7 <https://www.conventioncitoyennepourleclimat.fr/>





I) La croissance économique source du développement

Une invention récente

Les historiens⁸ s'accordent sur le fait que le niveau de vie de l'humanité n'a que très peu évolué entre l'Antiquité et le début du XIX^e siècle. Entre l'an 0 et l'an 1000, l'économie mondiale aurait même décliné. La légère embellie des X^e, XII^e, XII^e et XIII^e siècles fut rapidement effacée par les épidémies et les famines des XIV^{ème} et XV^{ème} siècles puis par les guerres de religion du XVI^{ème} siècle.

A partir du milieu du XVII^{ème} siècle, les progrès dans les transports terrestres et maritimes ainsi que l'amorce de relations commerciales entre pays voisins sont associés à des périodes de croissance économique, éphémères et marginales. En moyenne, entre 1500 et 1800, la croissance ne dépassa pas 0.3% par an.

8 A. Maddison (2001) L'économie mondiale : une perspective millénaire, OCDE report

C'est la révolution industrielle d'abord en Grande-Bretagne (aux alentours de 1780), en France et en Allemagne (1810-1820), puis plus tardivement au Japon (1860) qui marqua le début de l'histoire de la croissance. Le phénomène s'est ensuite étendu à l'ensemble de la planète. Il s'est surtout accéléré depuis la fin du dernier conflit mondial. Depuis les années 1960 la richesse mondiale a ainsi été multipliée par un facteur 8,5 passant de 10000 G\$ en 1960 à plus de 85000 G\$ en 2018 (**Figure 1**).

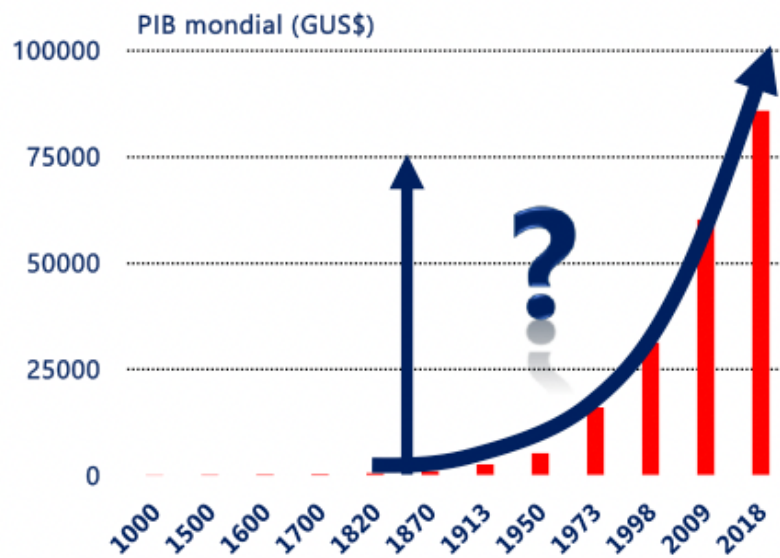


Figure 1 – Evolution du PIB mondial depuis l'an 1000
(Source Madison & World Bank)

La croissance économique est donc une invention récente qui a à peine fêté ses 200 bougies. A l'échelle des deux derniers millénaires elle apparaît clairement comme une anomalie historique. Quels en sont les principaux ingrédients ?

Les trois leviers de la croissance économique

La croissance économique est d'abord et avant tout issue de la révolution copernicienne, des « Lumières » et de l'émergence de la Démocratie Libérale en tant que système politico-économique. Cette dernière a permis à la pensée de se libérer du carcan religieux dans lequel l'humanité était enfermée depuis près de 15 siècles et de se présenter à l'opinion comme une possible source de développement humain. C'est en combattant l'irrationnel, l'arbitraire, l'obscurantisme et la superstition de leur époque que les

philosophes des lumières ont ouvert la voie de la croissance. Mais, si la liberté de penser est indispensable au développement elle n'est pas pour autant suffisante.

Il y a 500 000 ans, l'homme a inventé le feu. Rapidement, il en a imaginé des applications pratiques comme se chauffer ou cuire ses aliments. Ce n'est que bien plus tard qu'il appliqua le feu à la métallurgie du cuivre (-5000), du bronze (-3000) et du fer (-1000). 10000 ans avant JC il découvrit l'agriculture et devint sédentaire puis en -3000, une autre invention révolutionna l'humanité : la roue. Mais, après ces premières innovations, l'horloge technologique s'arrêta. Quand on compare le char de Ramsès II poursuivant Moïse à travers la Mer Rouge, celui de Ben Hur combattant Messala dans les arènes de Rome et la diligence du début du XIX^e siècle, on ne perçoit aucune rupture technologique (**Figure 2**) : il s'agit toujours d'un char équipé de roues et tiré par un attelage de chevaux.



**Figure 2 - Char de Ramsès II (1300 BC), char de Ben Hur (an 30) et diligence du début du XIX^e siècle :
On ne perçoit aucune rupture technologique**

Si le feu a été découvert il y a 500 000 ans, c'est seulement à la fin du XVIII^e siècle que l'écossais James Watt a inventé la machine à vapeur et transformé de la chaleur en énergie mécanique. Cinquante ans plus tard, le génial anglais Michel Faraday montra qu'en faisant tourner un disque dans l'entrefer d'un aimant on génère du courant électrique. Il fallut attendre une petite vingtaine d'années pour que le croate Nicolas Tesla inverse le processus en utilisant le courant électrique pour faire tourner le disque. Le moteur à induction était né et fermait la boucle : le feu des hommes des cavernes pouvait à souhait se transformer en énergie mécanique, l'énergie mécanique en électricité et l'électricité en énergie mécanique voire en chaleur (**Figure 3**). Plus besoin du labeur de l'homme et du travail du cheval pour produire ; la machine travaillait à leur place avec une efficacité démultipliée. Elle permit à l'homme de siffler le départ de la croissance économique. Le second levier de la croissance est donc l'innovation technologique.

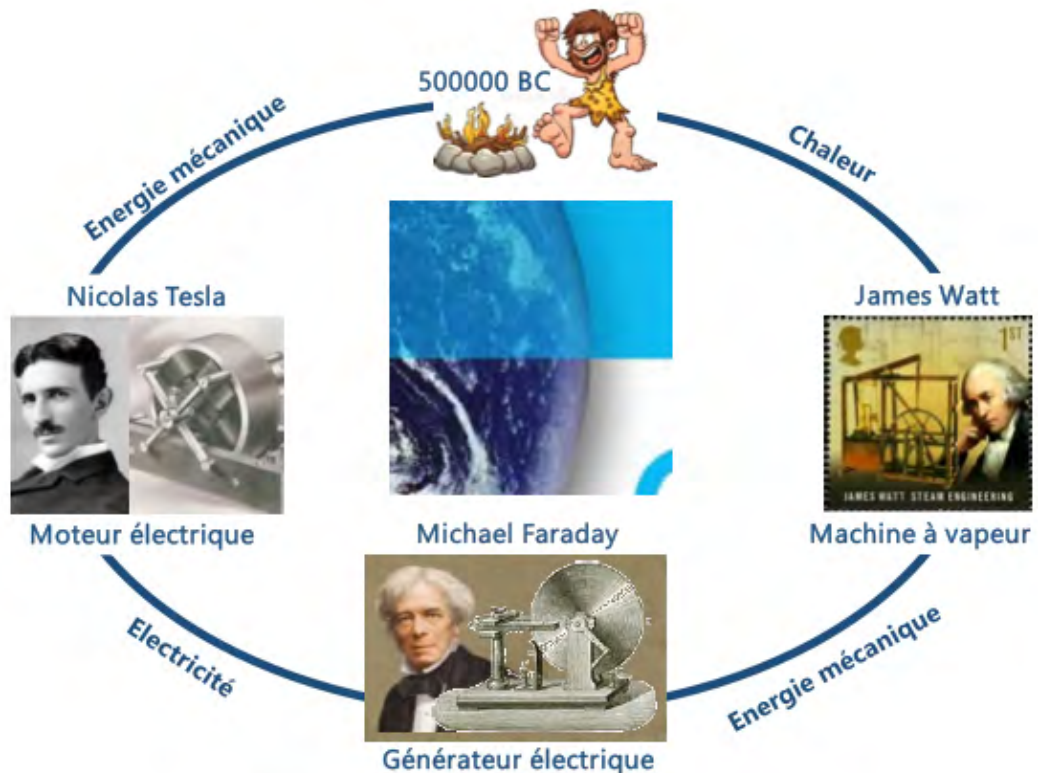


Figure 3 – La boucle technologique

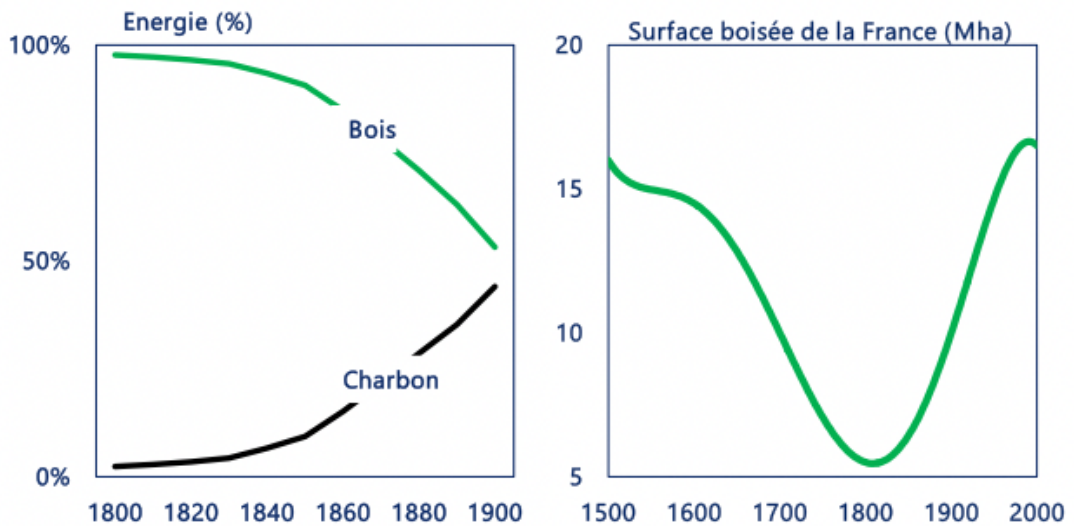
Malheureusement, si « *le feu des hommes des cavernes* » venait à faire défaut, les géniales inventions de Watt, Faraday et Tesla deviendraient instantanément de froides et immobiles pièces de musée. Si la technologie est le catalyseur endogène de la croissance, l'énergie en est l'aliment exogène⁹. Il n'est donc pas étonnant que depuis le début de la révolution industrielle, les machines se soient voracement nourries d'énergie.

La première transition énergétique de l'histoire

Depuis l'aube de la civilisation humaine jusqu'au début du XIX^e siècle, le bois est resté l'unique combustible utilisé pour produire du feu. Il aurait pu poursuivre sa vie énergétique en alimentant les machines à vapeur de la révolution industrielle. Cela aurait toutefois posé un problème économique car, en dehors du feu, le bois était aussi à l'époque le principal matériau de construction. Aussi, l'homme a progressivement abandonné le bois au profit du charbon. En résulte la première transition énergétique de l'Histoire avec un mix mondial passant de 100% bois au début du XIX^e siècle à 50% bois et 50% charbon au début du XX^e siècle (**Figure 4 - gauche**). A partir du début du XX^e siècle, le pétrole s'est massivement invité dans les transports

⁹ David I. Stern (2003) "Energy and Economic Growth" Department of Economics, Sage 3208, Rensselaer Polytechnic Institute

(notamment après que Sir Winston Churchill ait introduit l'or noir dans la Royal Navy). Après le dernier conflit mondial (notamment à la suite de la découverte de gisements géants en Mer du Nord) ce fût au tour du gaz naturel de réaliser une percée importante dans le chauffage et la génération électrique. Les trois énergies fossiles représentaient en 2020 83% de la consommation mondiale d'énergie primaire¹⁰.



**Figure 4 – Transition bois/charbon au cours du XIXe siècle.
Evolution de la surface boisée en France depuis le début du XVIe siècle**

C'est à ce niveau qu'il est indispensable d'expliquer la seconde raison pour laquelle le bois n'aurait pas pu être utilisé comme énergie de la révolution industrielle. Un puits moyen de pétrole produit durant une vingtaine d'année environ 4 millions de barils soit l'équivalent de 6 TWh d'énergie. Supposons que ce puits de pétrole occupe un hectare en surface. Converti en surface boisée, cet hectare fournira au plus 600 MWh d'énergie soit dix mille fois moins que le pétrole. Autrement dit l'équivalent bois énergétique d'un puits de pétrole est égal à dix mille hectares de forêt. Si le bois avait été utilisé comme principale source d'énergie pour nourrir les machines à vapeur de la révolution industrielle, il y a longtemps qu'il n'y aurait plus un arbre sur notre belle planète.

Ce calcul met en lumière **l'effet de taille** résultant du remplacement des énergies fossiles par de la biomasse ou des énergies renouvelables. Nous reviendrons en détails sur ce point dans la seconde partie.

Le bois ayant presque complètement disparu du mix énergétique (mais aussi de la construction) a permis de reboiser massivement certaines contrées. Ainsi la surface boisée française qui, entre le

10 BP Statistical Review 2021

XVI^e siècle et le début du XIX^e siècle était passée de 15 Mha à 5 Mha a retrouvé aujourd'hui son niveau médiéval (**Figure 4 - droite**). L'utilisation des énergies fossiles en lieu et place du bois a donc indirectement créé un puits de carbone en France.

Fonctionnement de la société de croissance

Des galaxies les plus primitives au cerveau humain, les structures inertes et vivantes fonctionnent sans exception de façon similaire. Toutes nécessitent un flux d'énergie entrant d'autant plus élevé que le système est complexe. Une partie de ce flux produit de l'énergie dite « libre » utilisée par le système pour fonctionner. Enfin en sortie, le système rejette dans le milieu extérieur des déchets fortement entropiques. Le corps humain n'échappe pas à la règle. La nourriture que nous avalons est le flux d'énergie rentrant, l'énergie libre nous permet de maintenir notre température à 37°C, de bouger et surtout de penser. Le CO₂ expiré et les excréments correspondent au flux de déchets entropiques.

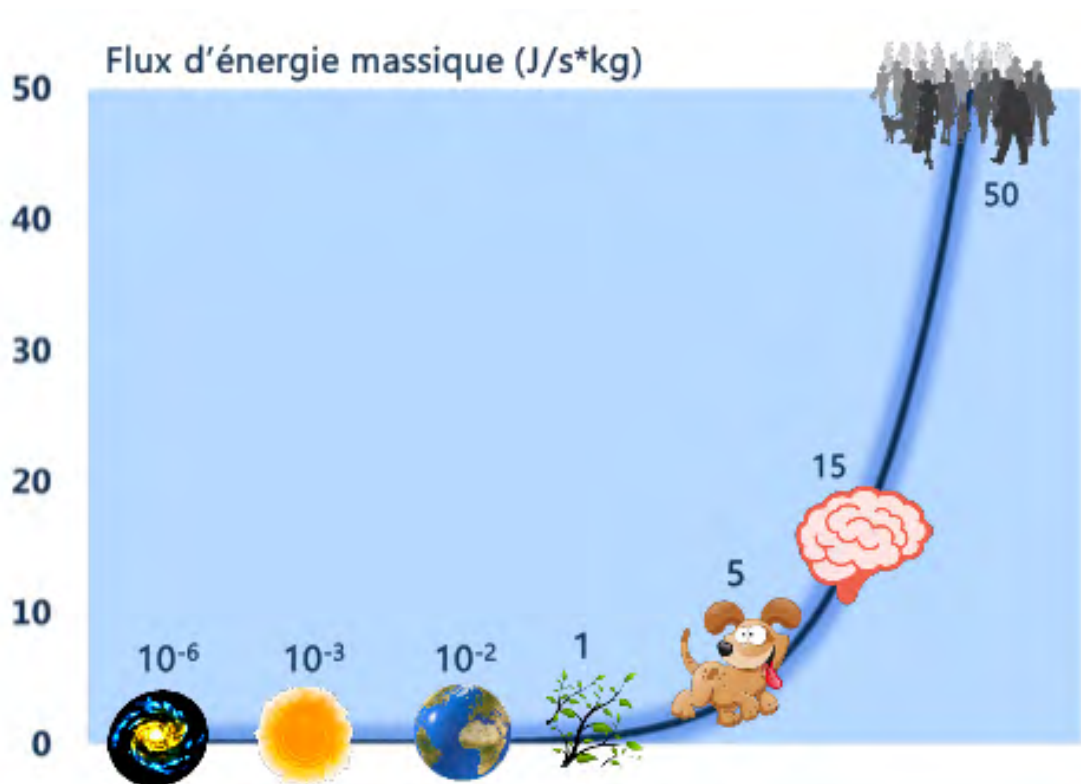


Figure 5 – Flux d'énergie rentrant correspondant aux principaux systèmes présents dans l'univers

En analysant les principaux systèmes présents dans l'univers, le cybernéticien américain Eric Cheisson¹¹ a montré que plus un système était complexe plus son flux massique d'énergie entrant était élevé (*Figure 5*).

Ainsi une planète comme la terre consomme par unité de masse dix mille fois plus d'énergie qu'une galaxie, un animal 5 millions de fois plus et le cerveau humain 15 millions de fois plus.

Notre société de croissance n'échappe pas à cette règle. Pour produire les 85T\$ de PIB mondial 2018¹² (somme des biens -richesse matérielle- et des services -richesse informative- produits, il correspond à l'énergie libre), le système a consommé 160 PWh¹³ d'énergie primaire. Composés grosso modo de 85% d'énergies fossiles, de 5% de nucléaire, de 5% d'hydroélectricité et de 7% de renouvelables¹⁴, ils ont émis vers le milieu extérieur (c'est-à-dire l'environnement) un flux de déchets fortement entropiques dont 35 milliards de tonnes de CO₂ responsables en grande partie du réchauffement climatique (*Figure 6*).

Une telle structure s'appelle en thermodynamique une « *structure dissipative* ». Ses principaux paramètres de performance sont (1) l'ouverture (libre échange) (2) l'ordre (l'autorité) et les inégalités sans lesquelles les flux matériels, informatifs et financiers ne pourraient plus s'échanger¹⁵.

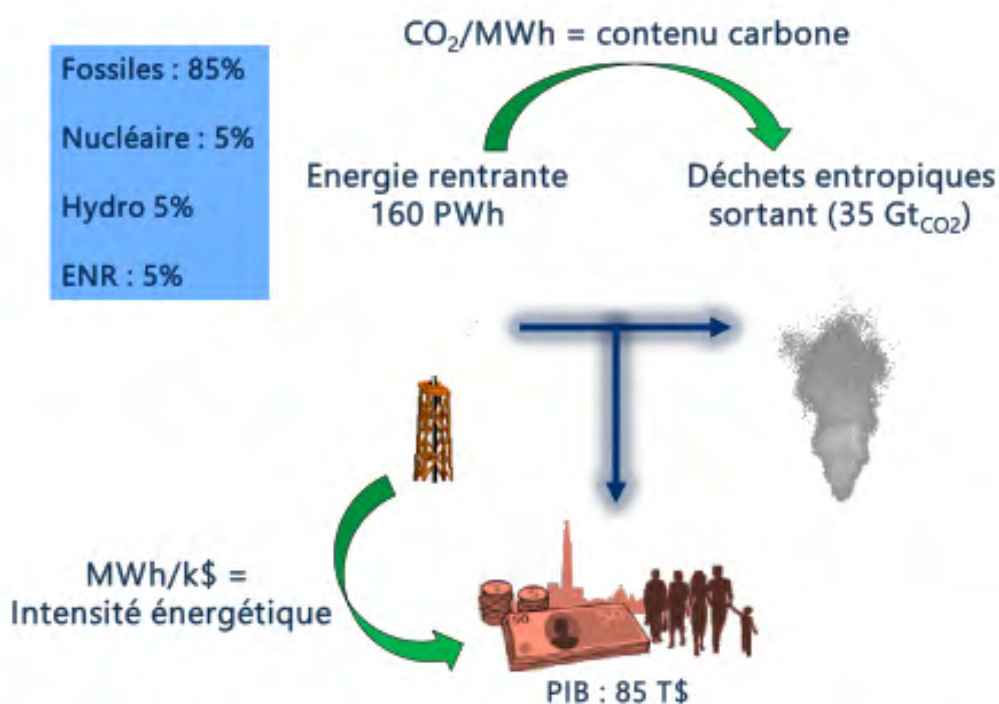


Figure 6 – Fonctionnement de la société de croissance

11 <https://www.hindawi.com/journals/tswj/2014/384912/>
 12 Source World Bank
 13 Un PetaWatheure est égal à un milliard de MegaWatheures.
 14 BP Statistical Review 2019
 15 Ph. Charlez (2021 "L'utopie de la croissance verte" Editions JM Laffont

Ce modèle dégage deux paramètres fondamentaux caractérisant l'efficacité du système :

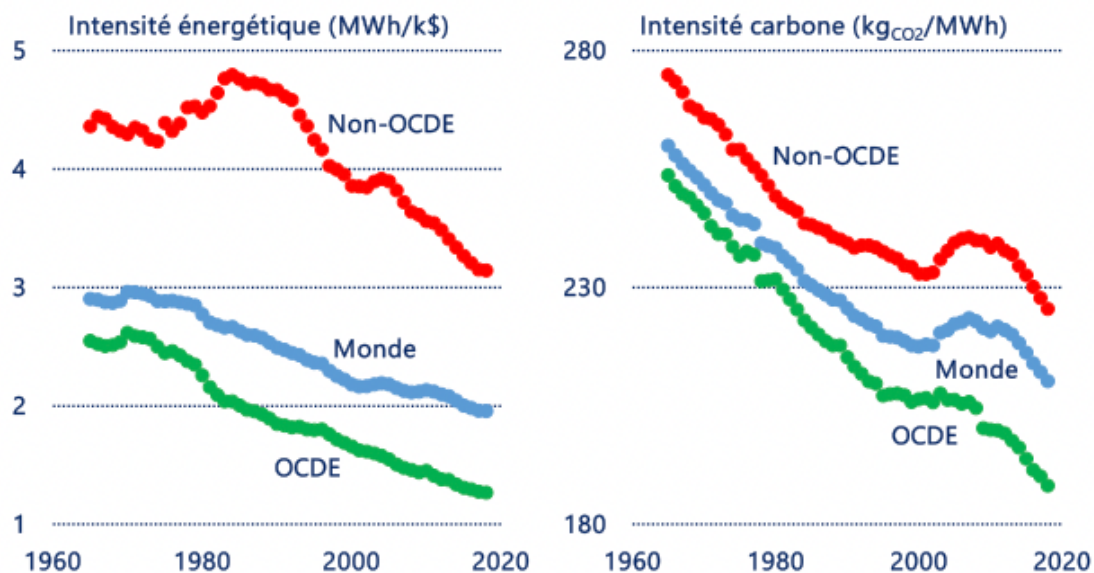
1. l'intensité énergétique calcule la quantité d'énergie entrante par unité d'énergie libre produite (c'est-à-dire par unité de PIB). Elle définit l'**efficacité énergétique** du système. Elle s'exprime en MWh/k\$ (ou en kWh/\$). Réduire l'intensité énergétique relève à la fois de mesures technologiques dans les transports, l'habitat, l'industrie et la génération électrique mais aussi de mesures comportementales,
2. l'intensité carbone calcule la quantité de déchets générés par unité d'énergie entrante. Elle définit l'**efficacité environnementale** du système. Il s'exprime en $\text{kg}_{\text{CO}_2}/\text{MWh}$ (ou en $\text{g}_{\text{CO}_2}/\text{kWh}$). La réduction de l'intensité se fait par déplacement des énergies fossiles très carbonées (charbon, pétrole) vers des énergies moins carbonées (gaz naturel) ou décarbonées (nucléaire, hydroélectricité, renouvelables).

Les historiques depuis 1965 pour le Monde, les pays OCDE et non-OCDE (**Figure 7 - haut gauche**) montrent que l'intensité énergétique mondiale a baissé de 33% passant grosso modo de 3 MWh/k\$ à moins de 2 MWh/k\$. Dans l'absolu la baisse est particulièrement spectaculaire dans les pays de l'OCDE (50%) contre seulement 28% dans les pays non-OCDE. Il en résulte une différence très significative d'intensité énergétique : tous les pays de l'OCDE se situent bien en dessous de la moyenne mondiale alors que tous les pays émergents se situent nettement au-dessus.

Si les tendances sont assez semblables pour l'intensité carbone, cette dernière n'a été réduite que de 20% depuis le milieu des années 1960 passant en moyenne de $260 \text{ kg}_{\text{CO}_2}/\text{MWh}$ en 1965 à $210 \text{ kg}_{\text{CO}_2}/\text{MWh}$ en 2018. La réduction des pays OCDE (26%) est légèrement supérieure à celle des pays non OCDE (19%). Ceci s'explique par un mix énergétique non-OCDE nettement plus carboné que la moyenne mondiale dû principalement au charbon : les pays non-OCDE ont consommé en 2018 77% du charbon, 52% du pétrole et 54% du gaz¹⁶.

La comparaison entre différents pays et différentes régions du monde (**Figure 7 - bas**) montre qu'au sein de l'OCDE, les principaux pays européens (France, Allemagne, Grande Bretagne) ont tous des intensités énergétiques inférieures à 1 MWh/k\$ soit 50% moindre que celles des Etats-Unis (1,5 MWh/k\$). En revanche, comparée à l'énergie américaine, l'énergie européenne n'est que 8% moins carbonée. Grâce à sa génération électrique nucléaire, la France a l'une des intensités carbone les plus faibles du monde; elle est de 40% inférieure à la moyenne européenne.

16 BP statistical review 2019



Région	Int Energ MWh/k\$	Int carb kgCO ₂ /MWh
France	0,96	110
Allemagne	0,96	193
Grande Bretagne	0,78	176
Union Européenne	1,02	177
Etats Unis	1,50	192
OCDE	1,27	188
Monde	1,96	210
Chine	3,53	248
Inde	3,31	263
Russie	4,87	185
Non OCDE	3,14	225

Figure 7 – Evolution mondiale de l'intensité énergétique (gauche) et de l'intensité carbone (droite) depuis 1965.
Intensité énergétique et intensité carbone de pays et régions du monde
Source des données : BP Statistical Review & World Bank

Les principaux pays non-OCDE (Chine, Inde, Fédération de Russie) ont des intensités énergétiques bien supérieures à la moyenne mondiale (**Figure 7 - bas**). Ainsi, pour produire la même quantité de richesses, l'Indien et le Chinois consomment 3,5 fois plus d'énergie que l'europpéen et le Russe près de 5 fois plus.

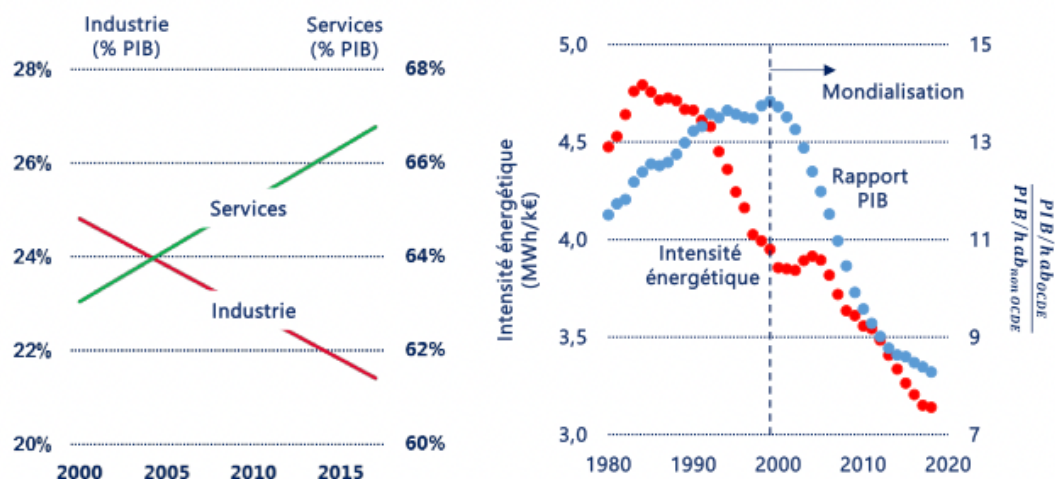


Figure 8 – Evolution de la part d'industrie et des services en Europe
Evolution du rapport de revenu par habitant OCDE/non OCDE
et intensité énergétique non-OCDE
 (Source des données : BP statistical review 2019 et World Bank)

Deux raisons expliquent cette forte différence. La première est l'inefficacité énergétique relative du modèle économique des pays non-OCDE : parc de véhicules mal entretenu, habitat mal isolé et outil industriel obsolète. La seconde est la délocalisation d'une partie de l'industrie lourde, par essence très énergétivore, des pays de l'OCDE vers les pays émergents depuis le début des années 2000. La mondialisation de l'économie s'est notamment matérialisée par une réduction du PIB industriel des pays de l'OCDE et un transfert vers les services. Ainsi, depuis le début du siècle, la part du PIB industriel européen s'est contractée de 3,5% (**Figure 8 - gauche**) au profit des services. L'industrie représentant environ 25% de la consommation énergétique européenne, la délocalisation ne justifie en fait qu'une faible partie de la différence d'intensité énergétique entre les pays de l'OCDE et ceux non-OCDE. Elle s'explique surtout par l'écart substantiel de modèle énergétique. Si la mondialisation de l'économie a déplacé une fraction de l'industrie des pays OCDE vers les pays émergents, les historiques (**Figure 8 - droite**) montrent clairement que l'intensité énergétique des pays non-OCDE n'a été impactée qu'au début du XXIe siècle, années durant lesquelles on observe effectivement une légère augmentation de l'intensité énergétique dans les pays non-OCDE. On observera aussi que la mondialisation a été un outil exceptionnel de réduction des inégalités : en 2000 le revenu moyen OCDE était égal à 14 fois le revenu moyen non-OCDE. En 2018 ce chiffre était tombé à 8.

Les grandes réserves de réduction de l'intensité énergétique se trouvent donc aujourd'hui dans les pays émergents et non plus dans les pays de l'OCDE qui sur ce point ont en relatif pratiquement terminé leur transition énergétique. Ce constat n'est pas sans poser un problème de ressources dans la mesure où les pays de l'OCDE ont produit en 2018 63% de la richesse mondiale.

L'analyse de ces données historiques montre aussi de façon très claire que la réduction de l'intensité énergétique est un levier nettement plus efficace (et techniquement plus simple) que celui du déplacement des énergies fossiles (qui restent très présentes dans tous les mix énergétiques qu'il s'agisse des pays OCDE ou non OCDE) vers les énergies décarbonées.

Vertus de la société de croissance

La société de croissance a d'incontestables vertus. Elle a clairement permis à l'humanité d'accéder au développement dans les pays de l'OCDE (seconde moitié du XIX^e siècle et XX^e siècle) puis dans les pays émergents (depuis le début du XXI^e siècle).

Les indicateurs élémentaires (augmentation de l'espérance de vie, baisse de la mortalité infantile) en témoignent. Ainsi, pour atteindre une espérance de vie technique moyenne de 75 ans, il faut au moins un PIB/hab compris entre 13k\$/hab et 15 k\$ (**Figure 9 - gauche**). En dessous de cette valeur, l'espérance de vie décroît très rapidement, le revenu moyen ne permettant pas au citoyen d'accéder aux biens basiques du développement : nourriture, logement, hygiène, transports, éducation, santé. Ce seuil annuel de 15 k\$ sépare donc clairement une zone d'espérance de vie économique d'une zone d'espérance de vie technique.

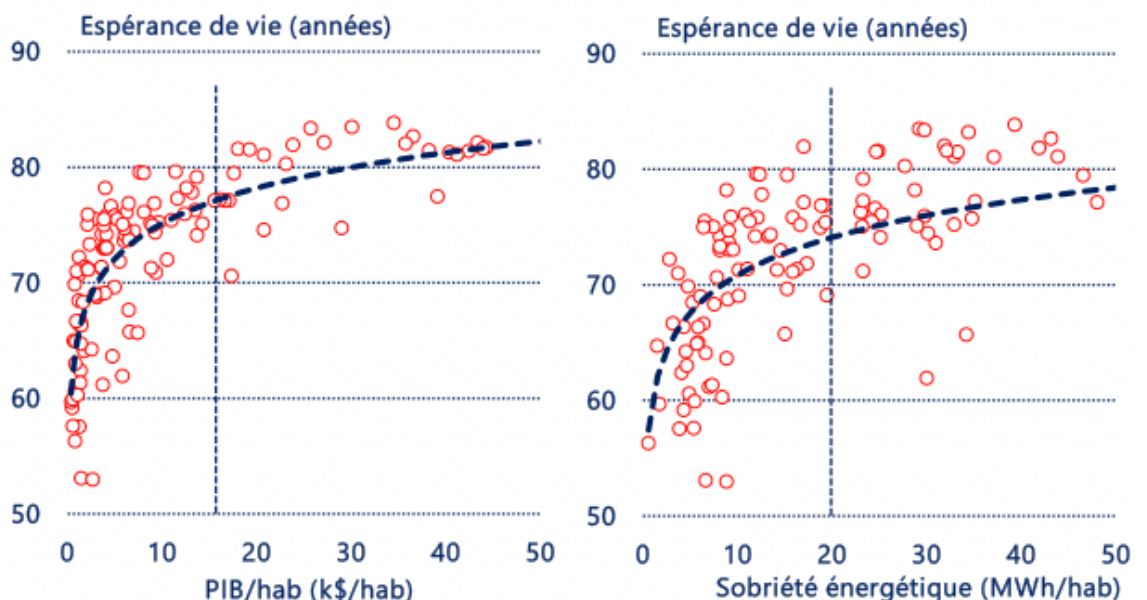


Figure 9 – Impact de la croissance économie sur l'espérance de vie
Source des données : World bank and BP statistical review 2017

L'espérance de vie peut aussi se regarder en fonction de l'indice de sobriété énergétique exprimant la quantité d'énergie primaire consommée annuellement par le citoyen d'un pays. Cet indice couvre l'ensemble de sa consommation énergétique annuelle (électricité, chauffage, transport, industrie). La courbe a une forme similaire à la précédente et montre que parallèlement au seuil économique de 15 k\$, il existe un seuil énergétique de l'ordre de 20 MWh (**Figure 9 - droite**). En dessous de ce seuil, l'espérance de vie chute très rapidement.

En revanche, qu'il s'agisse du revenu par habitant ou de la consommation énergétique, au-delà du seuil critique, l'indice de développement croit de façon incrémentale : ce sont cette fois les frontières des connaissances scientifiques et non plus les limites économiques ou énergétiques qui limitent l'espérance de vie. Ainsi, malgré sa gloutonnerie énergétique (81 MWh/hab) l'américain n'a pas une espérance de vie supérieure au français alors que ce dernier consomme pourtant deux fois moins d'énergie (42 MWh/hab).

Il faut également noter la forte corrélation entre richesse et efficacité énergétique. Sans surprise, l'intensité énergétique est une fonction décroissante du revenu par habitant (**Figure 10 - gauche**). En revanche, il n'y a pas de corrélation entre intensité carbone et richesse (**Figure 10 - droite**). Ce n'est pas vraiment surprenant dans la mesure où c'est l'efficacité énergétique qui intervient au sens large comme discriminant économique au sein d'un mix indifférencié. Aujourd'hui, la décarbonation du mix énergétique n'est pas un élément économique discriminant. Une situation qui changerait du tout au tout si une taxe carbone était introduite : elle interviendrait alors comme discriminant économique au sein du mix.

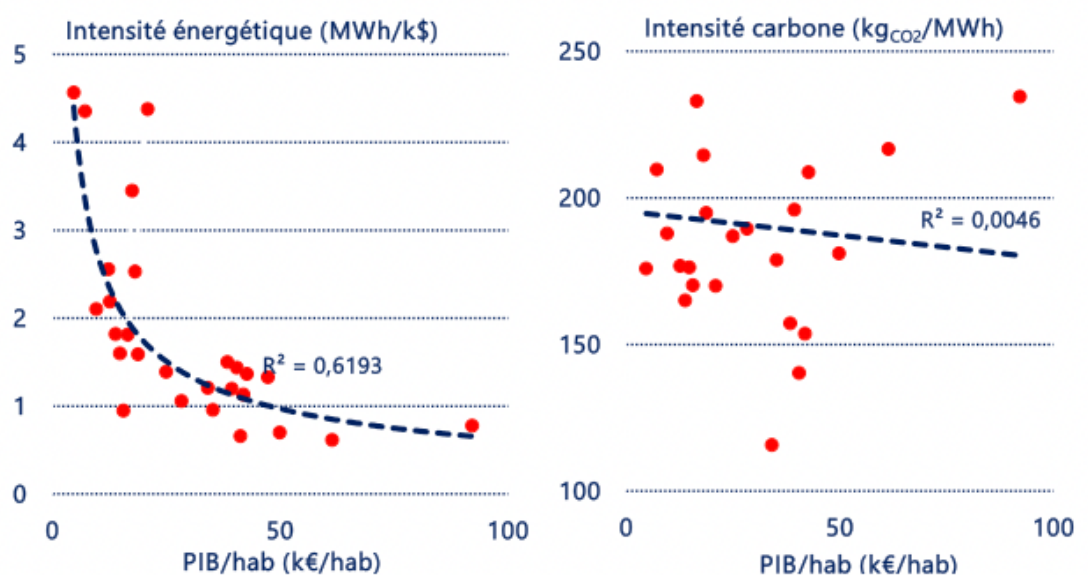


Figure 10 – Intensité énergétique et intensité carbone des pays Européens en fonction de leur PIB
(Source des données : World Bank et BP Statistical Review 2021)

Les conséquences funestes de la « décroissance économique »

Le rapport « *The limits to Growth* »¹⁷ publié au début des années 70 par le célèbre Club de Rome est souvent considéré comme le texte fondateur de l'écologie politique. Soulignant l'impact des croissances démographiques mais surtout économiques sur l'épuisement des ressources naturelles notamment énergétiques, ce texte se transforma progressivement en un mouvement politique structuré.

Dès le départ, l'écologie politique s'est positionnée à la gauche de la gauche. Pour l'écologie politique, protéger la nature et le climat ne représente que la partie immergée de l'iceberg. Son dessein est surtout de converger vers une société égalitaire en obtenant la « *peau de la société de croissance* » principale responsable du dérèglement climatique. En instrumentalisant la nature, les écologistes ont ainsi développé une forme nouvelle de lutte des classes.

Ce positionnement apparaît clairement en filigrane de Youth for Climate (**Figure 13**) mais aussi du discours de Greta Thunberg¹⁸. Le marqueur politique n'est plus la lutte sociale entre riches et pauvres mais bien une lutte climatique entre « *société de croissance et fin du monde* ». Selon la jeune suédoise « *les solutions sont introuvables à l'intérieur du système, alors il faut changer de système* ». Entendez par là remplacer notre société de croissance actuelle par une dictature collectiviste verte imposant, au nom du climat, une restriction massive de libertés. Avec son obsession égalitariste et la haine du riche, l'écologie politique est une nouvelle forme de marxisme à une différence fondamentale près. Le marxisme classique était hyperproductiviste et promettait l'égalité dans l'abondance. Le « *marxisme écologique* »¹⁹ que nous appelons plutôt « *climato-gauchisme* » est au contraire anti-productiviste et promeut l'égalité dans la pauvreté. Productiviste ou pas, l'égalitarisme ne peut de toute façon conduire à terme qu'à un état de pauvreté absolue.

Ce discours décroissantiste se double d'un conflit générationnel entre les jeunes et leurs aînés. Le militantisme climatique considère qu'en profitant de la société de croissance, les « *baby boomer* » des pays développés portent une écrasante responsabilité sur le réchauffement climatique. Un positionnement culpabilisateur que l'on retrouve dans le discours de Greta²⁰ : « *vous dites que vous aimez vos enfants par-dessus tout et pourtant vous volez leur futur devant*

17 <https://www.clubofrome.org/report/the-limits-to-growth/>

18 <https://www.youtube.com/watch?v=VFkQSGyeCWg>

19 <http://harribey.u-bordeaux4.fr/travaux/soutenabilite/marxisme-ecologique.pdf>

20 <https://www.youtube.com/watch?v=Bypt4H8K5dl>

leurs yeux ». La contestation en miroir des Gilets Jaunes et de Youth for Climate est l'expression pratique de cette nouvelle querelle entre anciens et modernes mentionnée dans l'Introduction de ce rapport.



**Figure 11 - Selon Youth for Climate France
« Il n'y a pas d'avenir sans décroissance »²¹**

Une stratégie que les verts avaient clairement traduit dans leur programme aux européennes de 2019²² : « *il faut faire de l'écologie une norme juridique supérieure et subordonner les critères économiques aux critères environnementaux, sortir les investissements écologiques de la règle de calcul des déficits, remplacer les indicateurs de richesse*

²¹ <https://youthforclimate.fr/>

²² <https://www.lesechos.fr/elections/europeennes/europeennes-jadot-tente-de-relancer-la-campagne-des-ecologistes-1003462>

par des indicateurs du bien-vivre, créer un tribunal international de justice climatique afin de poursuivre les États et les multinationales qui ne diminuent pas leur empreinte carbone ». Les accusés du nouveau tribunal révolutionnaire écologiste sont d'ores et déjà choisis et présumés coupables : ils s'appellent TotalEnergies, Air France, Engie ou Société Générale.

Pourtant, les quelques exemples de récession économique observés au cours des 70 dernières années sur le plan mondial (premier choc pétrolier, première guerre du Golfe, crises des subprimes) ou dans quelques pays ciblés (Union Soviétique avant son effondrement, Grèce après la crise des subprimes, Venezuela depuis 2014) prouvent combien l'absence de croissance peut être dévastatrice.

Depuis les Trente Glorieuses, la France n'avait connu que trois petites années de récession conjoncturelle : 1974 (premier choc pétrolier), 1991 (première guerre du Golfe) et 2009 (crise des subprimes). Sur le plan social, ces années furent à court terme synonymes de faillites d'entreprises, d'inflation, de recrudescence du chômage, d'accroissement de la dette souveraine et de baisse du pouvoir d'achat. Toutefois, dans les trois cas, la reprise presque immédiate qui s'ensuivit permit de retrouver notre niveau de développement.

Suivant leur sensibilité, la crise du COVID 19 est venue conforter les arguments des uns et des autres. Pour les uns la récession mondiale de 5% est une catastrophe humanitaire, synonyme de faillites d'entreprises et de pertes d'emplois et donc de plus de pauvreté. Elle a été un peu occultée pour l'instant par le « *quoi qu'il en coûte* ». Pour d'autres, elle signifie une réduction de 5% des GES et moins de pollution atmosphérique. Pourtant, 5% de réduction des GES c'est seulement...0,15ppm en moins rejeté dans l'atmosphère.

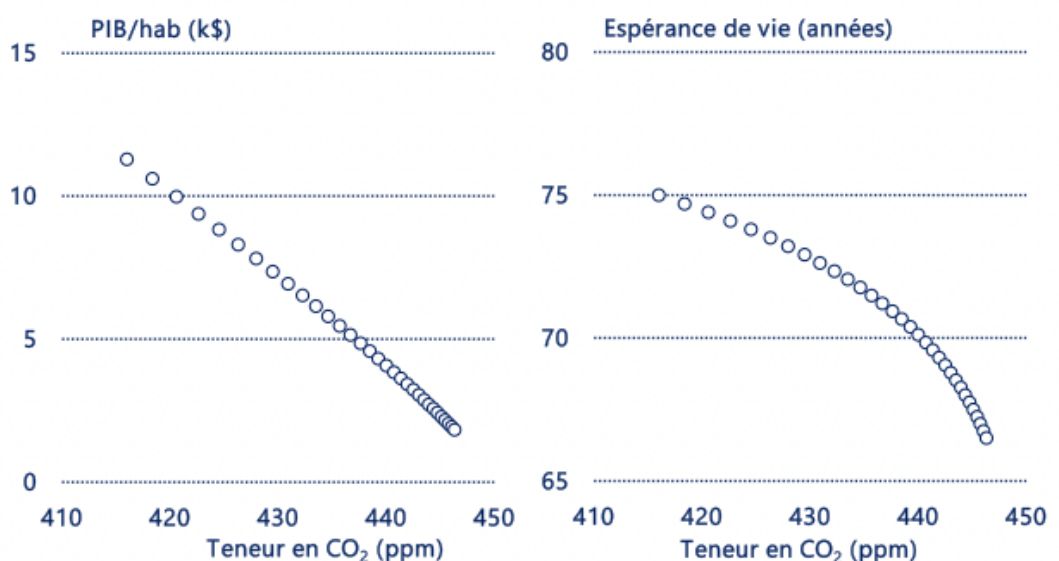


Figure 12 - Réduction des GES via la décroissance économique
Gauche – Effet sur le PIB/hab
Droite – Effet sur l'espérance de vie

Le citoyen serait-il prêt dans l'avenir à se confiner de nouveau non plus pour raisons pandémiques mais pour raisons... climatiques ? Si l'on souhaitait atteindre les objectifs de Paris via la seule décroissance économique (c'est-à-dire maintenir la teneur en CO₂ dans l'atmosphère en dessous de 450 ppm à l'horizon 2050) il faudrait reproduire systématiquement jusqu'à cet horizon « *l'année horribilis 2020* » 12 mois sur 12 (**Figure 12**). Compte tenu de la croissance démographique attendue, le PIB moyen par habitant s'effondrerait alors de 11,3 k\$/habitant en 2019 à 1,82 k\$ en 2050. Prenant en compte la relation entre l'espérance de vie et le PIB/hab, la tentation décroissantiste réduirait mécaniquement l'espérance de vie moyenne du terrien de 75 ans à 66 ans soit un recul de près de 40 ans en termes de développement.

Une récession structurelle pourrait donc rapidement nous renvoyer des décennies voire des siècles en arrière²³ et s'avérer bien plus dévastatrice que les conséquences du réchauffement climatique. A court terme elle réduirait à néant le tissu économique puis à moyen terme elle détériorerait très fortement les indicateurs élémentaires de développement tels que l'espérance de vie ou la mortalité infantile.

La décroissance n'apparaît donc pas comme un levier sérieux pour solutionner la problématique climatique.

Croissance soutenable et développement durable

Depuis les trente glorieuses, notre société de croissance a quadruplé sa consommation d'énergie passant de 43 PWh²⁴ en 1965 à 160 PWh en 2018²⁵. En cumulé elle a « brûlé » sur la même période 5400 PWh d'énergie primaire dont 85% de combustibles fossiles.

Si la société de croissance est l'incontestable pilier du développement, son fonctionnement présente deux grandes externalités négatives. D'une part, elle s'alimente en ressources naturelles en particulier en énergies fossiles finies et non renouvelables. Au rythme de la consommation actuelle, leur durée de vie est estimée à moins d'un siècle. D'autre part, les déchets anthropiques produits par le système ont des conséquences négatives sur l'environnement en général, le climat en particulier. La « *croissance brune* »²⁶ n'est donc pas durable et ne peut être contrainte par la seule sphère économique.

23 <https://www.valeursactuelles.com/clubvaleurs/politique/comment-lecologie-politique-saborde-la-civilisation-occidentale-107951>

24 Rappelons qu'un PétaWatheure est égal à mille TéraWatheure et un million de GigaWatheure.

25 BP statistical Review 2019

26 Brune fait référence aux fossiles en opposition à vert qui fait référence aux renouvelables

Le concept de développement durable issu du rapport « *Notre Avenir à tous* » et proposé en 1987 par la commission Brundtland²⁷ repose sur la gestion simultanée de trois piliers complémentaires mais non substituables : l'environnemental, le sociétal et l'économique. La transition énergétique s'inscrit dans ce concept et s'appuie sur trois piliers en parfaite bijection avec ceux du développement durable (**Figure 13**).

Le premier est bien entendu la problématique climatique. Il demande une réduction impérative et rapide de notre consommation d'énergie en général et des énergies fossiles en particulier. L'énergie se doit d'être « *propre* ».

Le second est sociétal. Il se réfère à la sécurité énergétique et plus particulièrement à l'équité énergétique. 1,3 milliards d'individus n'ont pas aujourd'hui accès à l'électricité dont la moitié en Afrique²⁸. L'énergie se doit d'être « *disponible* ».

Le troisième est économique et concerne la compétitivité des entreprises. Selon les secteurs d'activité, elle est largement conditionnée par les prix de l'énergie. Des prix à la fois mondiaux (pétrole), régionaux (charbon, gaz) et nationaux (électricité). L'énergie se doit d'être « *abordable* ».

De prime abord, le développement durable apparaît un peu comme le mariage de raison entre le « *pessimisme Malthusien* »²⁹ supposant que l'accroissement démographique et la disponibilité des ressources naturelles sont un frein au développement et l'« *optimisme Schumpétérien* »³⁰ considérant que l'innovation technologique autorise une croissance illimitée

27 https://fr.wikipedia.org/wiki/Rapport_Brundtland
28 EUROGROUP (2015) "L'énergie en Afrique à l'horizon 2050"
29 <https://www.cairn.info/revue-population-2007-2-page-253.htm>
30 <https://www.economie.gouv.fr/facileco/joseph-schumpeter>

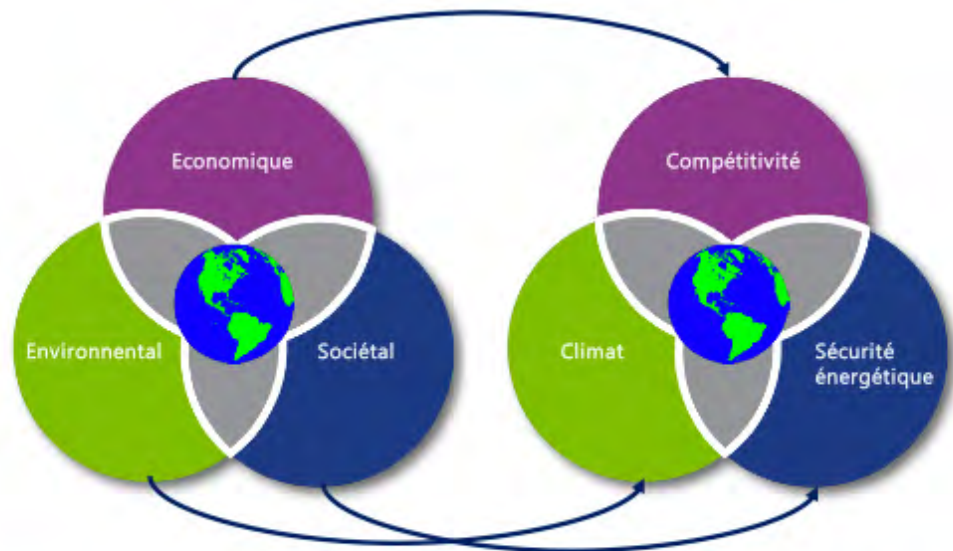


Figure 13 – Bijection entre les piliers du développement durable et ceux de la transition énergétique.

La stabilité d'un tel modèle, réclame une forme de stationnarité économique. À l'échelle planétaire elle vise notamment à limiter la croissance économique des pays jouissant d'un niveau de vie élevé pour laisser davantage d'espace aux pays émergents. Une sorte de « *lissage* » de la richesse mondiale auquel la mondialisation a largement contribué.

Ne confondons pas pour autant stationnarité économique relative avec l'état d'équilibre égalitariste promu par le climato gauchisme. Un système naturel ne peut subsister qu'en restant « *hors équilibre* » dans un espace inégalitaire. L'analogie la plus simple pour s'en convaincre est celle du château de sable face à la marée montante³¹. Pour maintenir la structure face à la marée destructrice, il faut sans cesse rajouter du sable. En revanche si on laisse la marée agir sans addition de sable, le château se détruit et les grains de sable sont à terme uniformément répartis sur la plage. Cette dernière configuration n'évoluera plus. Le système est alors à l'équilibre. Pour le corps humain, l'état d'équilibre correspond à la mort clinique : votre température s'équilibre avec celle de la pièce (égalitarisme), votre corps se disperse dans le sol (désordre) et vous perdez à la fois votre richesse matérielle (mouvement) et informative (information accumulée durant votre vie dans votre cerveau).

Un tel état d'équilibre correspondrait à un partage égalitaire de la richesse mondiale entre ses 7,5 milliards d'individus. Il conduirait à un revenu universel par habitant de 12 k\$ et à une consommation

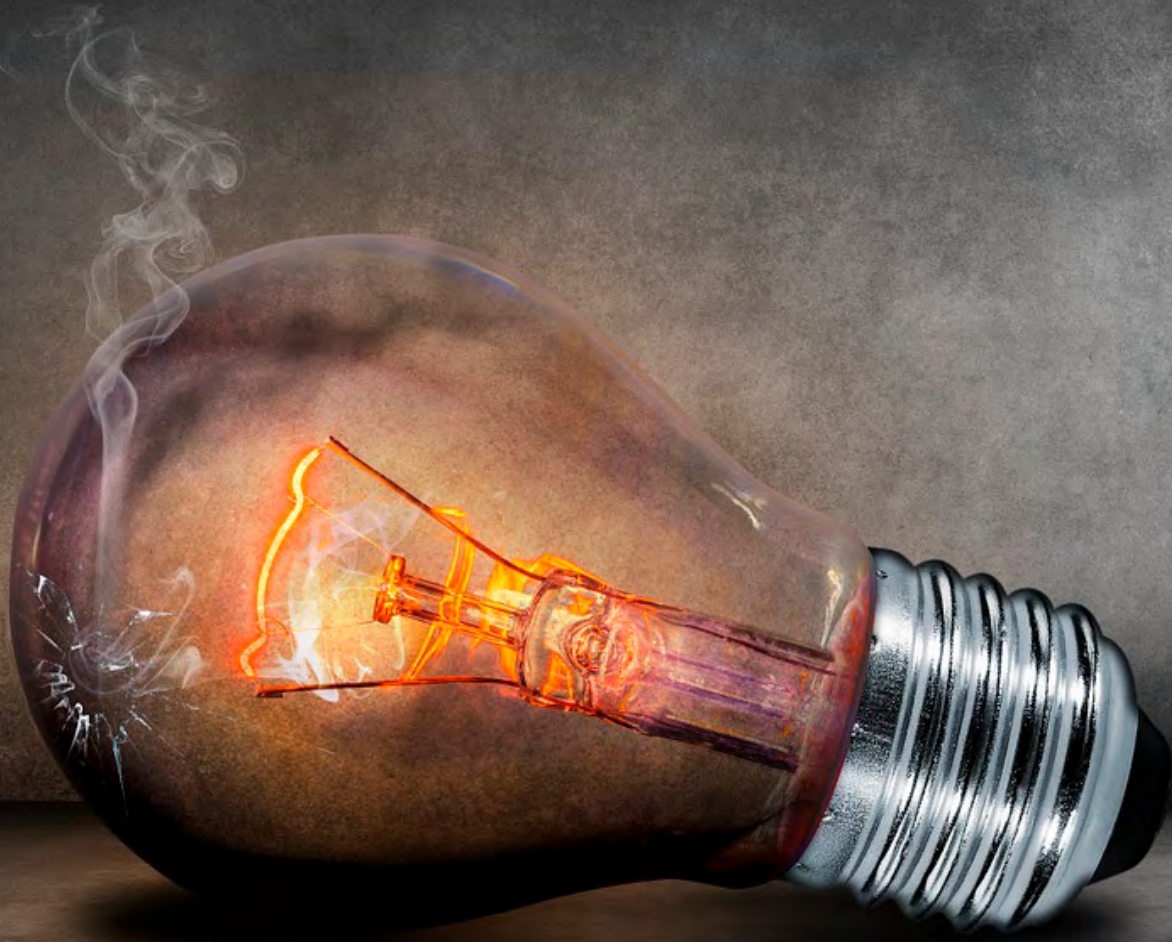
31 F. Rodier (2016) « Thermodynamique de l'évolution. Un essai thermo-bio-sociologique » Editions Parole

moyenne de 21 MWh. Des valeurs étonnement proches des seuils critiques de la **Figure 9**. L'accroissement de revenu donnerait certes aux plus pauvres accès à un minimum vital (nourriture, logement, santé, éducation) dont ils ne peuvent jouir aujourd'hui dans la mesure où beaucoup se situent en dessous de ces seuils. Mais, ces seuils ne leur permettraient pas pour autant d'accéder aux biens de consommation usuels (voiture, loisirs, réseaux sociaux, vacances, électroménager, électronique, télécoms). Inversement, les plus riches verraient leur revenu s'effondrer. A court terme, ils conserveraient leur minimum vital mais se verraient privés des biens de consommation usuels dont ils jouissent largement. Tous les pans de l'économie correspondant à la fabrication et à la distribution des biens de consommation disparaîtraient entraînant dans un premier temps une réduction massive du PIB. Dans un second temps, le revenu moyen repasserait sous le seuil critique et détériorerait mécaniquement les indicateurs de développement. Imposer l'égalitarisme conduirait donc à la pauvreté absolue...pour tous. De façon impitoyable la nature nous enseigne que la richesse se crée qu'à partir d'un système hors équilibre inégalitaire et que seule la pauvreté...peut se partager.

La véritable chaîne de valeur n'est donc en rien égalité = réduction de pauvreté mais égalité = pauvreté (équilibre thermodynamique) mais inégalités = richesse = réduction de la pauvreté = réduction des inégalités (sans pour autant les supprimer).

Contrairement à ce qu'il proclame, le climato gauchisme n'est en rien compatible avec le concept de développement durable dans la mesure où il hypertrophie le pilier environnemental aux dépens des piliers économique et sociétal : la protection de la nature l'emporte sur le développement humain.





II) Une croissance 100% verte : réalité ou utopie ?

L'une des alternatives à la décroissance s'appelle « *croissance verte* ». Elle consiste à remplacer les énergies fossiles par des énergies décarbonées de préférence renouvelables (c'est-à-dire non nucléaire) : un peu d'hydroélectricité et de biomasse mais surtout du solaire et de l'éolien pour la production électrique plus de l'hydrogène vert (produit par électrolyse de l'eau) pour les transports (**Figure 14**). Une solution qui selon ses adeptes maintiendrait la croissance économique tout en supprimant le flux sortant de CO₂. Elle résoudrait conjointement la problématique des ressources dans la mesure où le solaire, l'éolien et la biomasse sont à l'échelle de la vie humaine inépuisables. Mais, ce modèle dit « *100% renouvelables* » est-il pour autant crédible ?

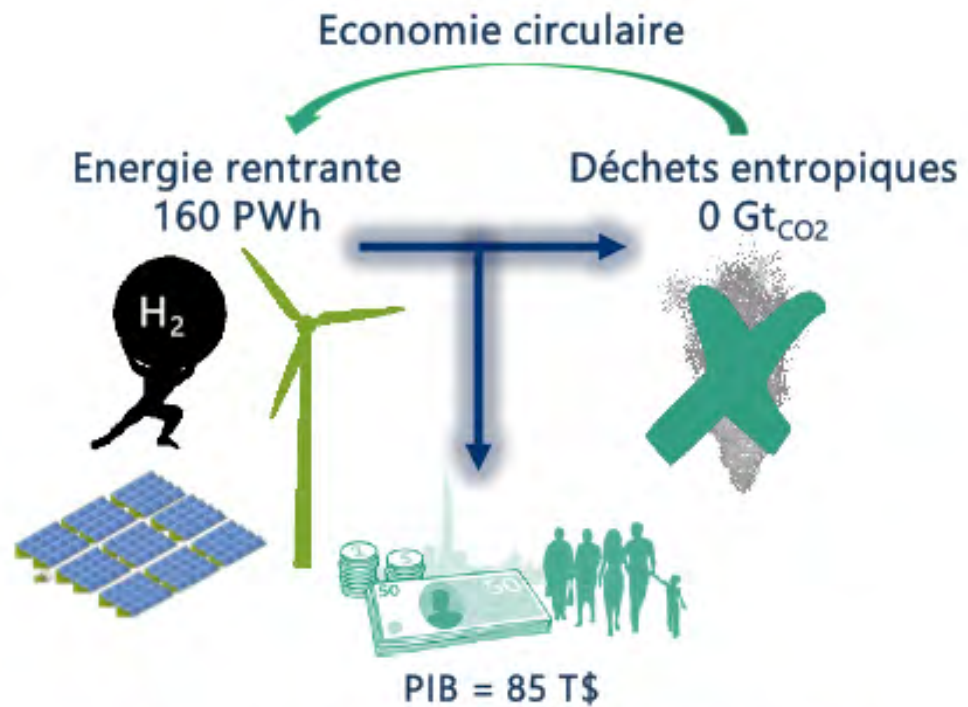


Figure 14 – Le modèle de croissance verte

L'évolution récente du mix énergétique mondial

Depuis 2006, le monde a englouti près de 5000 milliards de dollars dans les énergies renouvelables (**Figure 15**). Ces investissements massifs ont notamment permis d'installer 1,5 TW de puissance éolienne et solaire soit 25 fois le parc nucléaire français. Ils se sont exclusivement concentrés sur trois régions du monde qui représentent à elles seules 50% des émissions mondiales : la Chine, les Etats-Unis et l'Europe.

Et pourtant, ce financement massif des énergies renouvelables n'a en rien permis d'enrayer l'augmentation des émissions de GES. Entre 2006 et 2019 elles se sont accrues de 17%. Les seules réductions notables observées en 2009 et 2020 sont liées à la récession économique faisant suite à la crise des subprimes et à la pandémie du COVID19. Si l'Europe - dont la croissance des dernières années est restée atone - a réduit ses émissions de 26%, la Chine malgré la mise en œuvre de 530 GW de solaire et d'éolien a vu les siennes augmenter de 48%. Quant aux Etats-Unis, la réduction de 30% de ses GES est surtout liée au déplacement de sa génération électrique charbonnière vers le gaz faisant suite à la révolution des gaz de schistes et non à la mise en œuvre de 180 GW de solaire et d'éolien.

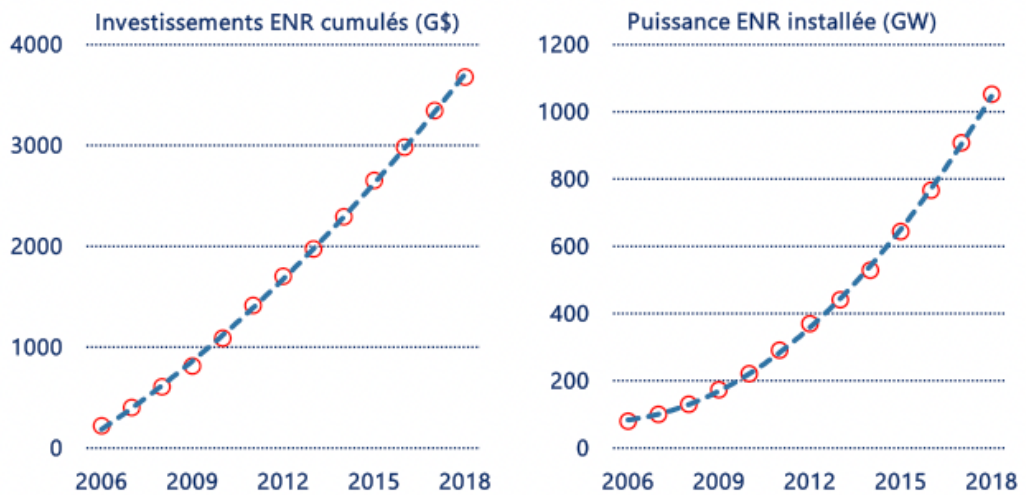


Figure 15 – Investissement cumulés dans les ENR
 (Source : Bloomberg³²)
Puissance ENR installée et émissions de GES
 (Source : BP Statistical Review 2019)

Les résultats incrémentaux énergétiques entre 2017 et 2018 viennent confirmer ces observations de façon limpide. Dans un contexte économique favorable (+3,1% de croissance économique mondiale) surtout tirée par les pays émergents (+4,6% en moyenne), la consommation mondiale d'énergie primaire a augmenté de 2,9%. Excepté le charbon dans les pays de l'OCDE, toutes les sources d'énergie ont progressé : la production d'ENR a augmenté de 15,5% contre 5,3% pour le gaz, 3,1% pour l'hydroélectricité, 2,4% pour le nucléaire, 1.4% pour le charbon et 1.2% pour le pétrole.

Mais, ce qu'il faut surtout analyser est la façon dont cette augmentation absolue de consommation (+4,5 PWh entre 2017 et 2018) s'est répartie entre les différentes sources. Malgré la mise en œuvre de 145 GW de puissance renouvelable supplémentaire pour un coût de 332 G\$, la production d'ENR n'a couvert que 18% de cet accroissement alors que les énergies fossiles y ont contribué à hauteur de 71% (57% pour les pays OCDE et 74% pour les pays émergents - **Figure 16**). Dans les pays de l'OCDE, c'est principalement le gaz qui a appuyé les renouvelables alors que dans les pays émergents, le charbon est resté le principal ingrédient de l'accroissement. En conséquence, les émissions de GES se sont accrues en 2018 de 2% (+ 700 millions de tonnes), le rythme le plus élevé depuis 7 ans.

32 <https://www.connaissancedesenergies.org/energies-renouvelables-une-baisse-des-investissements-mondiaux-en-2018-mais-190117>

	Croissance	PIB 2018
	%	T\$
US	2,10%	19,9
Europe	2,00%	17,7
Chine	6,50%	12,8
Monde	3,10%	82,6
OCDE	2,00%	49,3
Non-OCDE	4,60%	33,3

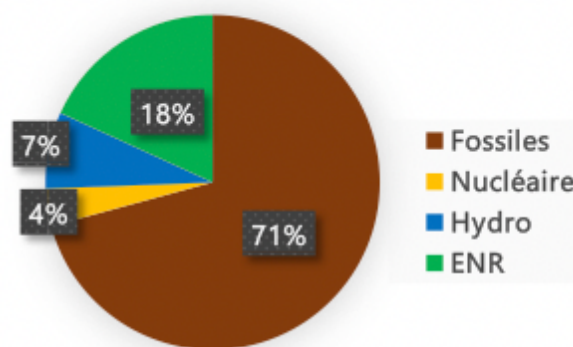


Figure 16 - Croissance économique 2018

(Source : Banque Mondiale)

Répartition de l'augmentation de consommation d'énergie 2017/2018

(Source : BP Statistical Review 2019)

La situation apparaît toutefois très différente quand on compare les situations de l'Union Européenne avec celle d'un grand pays émergent comme la Chine.

Alors qu'en Europe la croissance économique 2018 a été en moyenne de 2%, celle de la Chine a atteint 6,5% (**Figure 16**). En conséquence, la consommation européenne d'énergie primaire a légèrement diminué pendant que celle de la Chine bondissait de 4,3%.

En Europe, toutes les sources d'énergies hors hydro-électricité (+15,7%) et renouvelables (+4,8%) se sont contractées (nucléaire -0,3%, pétrole -0,4%, gaz -1,6% et surtout de charbon -5,1%).

En Chine, si toutes les sources d'énergie se sont accrues (ENR +28,8%, nucléaire +18,6%, gaz +17,7%, pétrole +5%, hydroélectricité +3,2% et charbon +0,9%) la croissance de la consommation est restée largement dominée par les fossiles : malgré la mise en œuvre de 65 GW de solaire et d'éolien ainsi que de la première centrale EPR au monde (1,7 GW), les énergies fossiles ont contribué pour 62% de l'accroissement de la demande énergétique chinoise entre 2017 et 2018.

En conséquence, alors que les émissions européennes se sont contractées de 2% notamment, celles de la Chine ont bondi de 2% par rapport à 2017.

Malgré des investissements massifs, les ENR semblent donc incapables de décarboner une société dont la croissance économique continue de reposer presque exclusivement sur les énergies fossiles. Rappelons qu'en 2018 elles représentaient 85% du mix (contre 91% en 1970).

La croissance verte serait-elle une dangereuse utopie éloignant un peu plus chaque année notre société du chemin vertueux envisagé lors de la COP21 ?

Les fossiles « destruction créatrice » des renouvelables

En dehors de la force musculaire de l'homme, la société pré-industrielle reposait exclusivement sur les énergies renouvelables³³ : le bois pour le chauffage et la cuisson des aliments, l'avoine (biocarburant !) pour les chevaux³⁴, le vent pour les bateaux et les moulins, la force de l'eau pour activer les pompes. Les renouvelables de nos ancêtres furent incapables de leur donner accès à la croissance économique. Mais, reconnaissons qu'il s'agissait de renouvelables sans aucun contenu technologique.

Aussi, bien avant de penser énergies fossiles, les scientifiques du début du XIX^e siècle ont essayé, sans le vouloir vraiment, de « *techniciser* » les énergies renouvelables. Ainsi, Volta conçut la pile électrique (première batterie) en 1800, Nicholson et Carlisle découvrirent l'électrolyse de l'eau (production d'hydrogène vert) en 1801, Stratingh inventa la première voiture électrique en 1835 et Schönbein la pile à combustible (production d'électricité à partir d'hydrogène) en 1839. Rudolphe Diesel fit tourner son premier moteur à l'huile d'arachide et Henri Ford alimenta sa célèbre Ford T à l'alcool. Enfin, Hertz découvrit l'effet photoélectrique à la fin du XIX^e siècle. Quant au moulin à vent ancêtre de l'éolienne, il date de...2000 ans avant JC.

Mais, rapidement nos ancêtres s'aperçurent que le charbon (pour la génération électrique) et le pétrole (pour les transports) étaient bien plus performants que les énergies vertes de leurs ancêtres. Aussi, les énergies fossiles furent durant la seconde moitié du XIX^e et le début du XX^e, la destruction créatrice (au sens de Schumpeter³⁵) des renouvelables. Peut-on réellement croire aujourd'hui au phénomène inverse?

33 <https://www.linkedin.com/pulse/lenergie-au-moyen-age-de-robert-philippe-1923-1998-%C3%A0-michel-lepetit/?published=t>

34 Les surfaces cultivées d'avoine représentaient dans la société pré-industrielle plus du tiers des surfaces cultivées

35 <https://lecercledeseconomistes.fr/joseph-schumpeter-la-destruction-creatrice/>

Pilotabilité et concentration

L'histoire nous enseigne donc que le départ de la croissance économique correspond au basculement d'une « *économie verte* » vers une « *économie brune* ». Deux caractéristiques fondamentales expliquent ce succès des énergies fossiles : leur **pilotabilité** et leur **concentration**.

La pilotabilité d'une source d'énergie repose sur un double concept d'espace et de temps. Une énergie sera pilotable si on peut l'utiliser sans contrainte d'espace « *là où on veut* » et sans contrainte de temps « *quand on veut* ». Le charbon, le pétrole, le gaz, la biomasse et le nucléaire répondent clairement à ces deux conditions. Par ailleurs, une énergie pilotable est en grande partie conditionnée par sa capacité à pouvoir se transporter et se stocker ce qui permet de l'acheminer lieu de consommation en temps voulu. Ainsi le pétrole dont le stockage est aisé se transporte très facilement d'un point à l'autre de la planète par terre ou par mer. En revanche, le gaz qui est volatile est déjà beaucoup plus complexe à transporter et à stocker d'où son utilisation davantage locale voire régionale.

Notons au passage que parler de stockage d'énergie est un abus de langage. Ce n'est pas de l'énergie que l'on stocke mais bien de la matière (charbon, pétrole, gaz naturel, bois, uranium ou eau pour l'hydroélectricité) capable de fournir de l'énergie à travers une réaction chimique (combustion, fission nucléaire) ou physique (chute d'eau). Une fois la réaction terminée, si l'énergie dégagée n'est pas utilisée, elle se dissipera dans l'atmosphère principalement sous forme de chaleur et sera irrémédiablement perdue. On différencie pour cette raison les énergies de stock (disponibles sous forme matérielle comme les fossiles, la biomasse ou l'uranium) des énergies de flux (directement fournies sous forme énergétique comme le solaire ou l'éolien).

En dehors de leur pilotabilité, les combustibles fossiles sont aussi de fantastiques concentrés énergétiques. Ainsi un petit litre de pétrole contient 10 kWh d'énergie et permet de rouler en moyenne 17 km avec sa voiture.

En dehors des énergies fossiles, le nucléaire répond également en grande partie aux critères de pilotabilité et de concentration : on peut produire de l'énergie nucléaire quand on veut et presque partout où on veut (la seule contrainte spatiale est de disposer d'une rivière à proximité pour refroidir le réacteur). Stockable et aisément transportable, c'est une forme d'énergie hyper concentrée : un petit gramme d'uranium est ainsi capable de fournir annuellement

l'électricité à deux ménages français ! Le « où » de l'uranium n'est conditionné que par la proximité d'une rivière permettant de refroidir en permanence le réacteur.

Si la biomasse coche les cases de la pilotabilité (notamment le stockage et le transport), sa concentration énergétique (massique mais surtout surfacique) est en revanche médiocre : une tonne de bois contient trois fois moins d'énergie qu'une tonne de pétrole et deux fois moins qu'une tonne de charbon. Rappelons qu'un puits moyen de pétrole (4 millions de barils sur 20 ans) occupant moins d'un hectare en surface produira l'équivalent énergétique de...dix mille hectares de forêt.

Au contraire, l'hydroélectricité coche la case de la concentration mais seulement partiellement celle de la pilotabilité. Le « où » requiert des sites particuliers (montagnes) permettant de stocker de gigantesques quantités d'eau sous forme d'énergie potentielle. Par ailleurs elle peut aussi parfois ne pas cocher le « quand » par exemple en cas de sécheresse prolongée.

La croissance économique apparaît donc indissociable d'énergies pilotables et concentrées. Il n'est donc pas surprenant que les énergies fossiles, le nucléaire et l'hydroélectricité aient été les principaux aliments énergétiques de la croissance économique depuis le début de la révolution industrielle.

Contrairement aux fossiles, au nucléaire et dans une moindre mesure à l'hydroélectricité, l'éolien et le solaire photovoltaïque ne sont pas pilotables. Il s'agit de flux énergétiques intermittents et localisés qui ne fournissent de l'énergie que « *quand dame nature le veut* » et « *où dame nature le veut* ». Dématérialisées³⁶, elles ne sont ni stockables ni transportables exceptées sous forme d'électricité. Enfin dispersées dans l'atmosphère, elles sont très faiblement concentrées. Ne cochant aucune des cases on comprend aisément pourquoi elles ont les plus grandes difficultés à supplanter les fossiles et à participer à la croissance économique. Difficile pour un investisseur de faire confiance à une activité faiblement quantitative dont ne sait ni où ni quand elle se produira !

36 La source de matière à l'origine du solaire et de l'éolien est l'hydrogène du soleil.

Facteur de charge

La pilotabilité d'une source d'électricité se quantifie par le facteur de charge. Il représente la fraction annuelle de temps durant laquelle un équipement donné produit de l'électricité à pleine puissance. Ce facteur de charge qui est de l'ordre de 90% pour les énergies pilotables³⁷ vaut en moyenne en France 12% pour le solaire et 22% pour l'éolien à terre (soit une moyenne de 20% pour le parc éolien & solaire aujourd'hui installé - **Figure 17**). Cette valeur ne dépend aucunement de la technologie utilisée mais seulement de la disponibilité de l'énergie considérée.

Le facteur de charge peut aussi s'exprimer en termes de rapport production puissance. Alors qu'un GW nucléaire produira annuellement entre 7 TWh et 8 TWh d'électricité en moyenne, un GW éolien en produira moins de deux et un GW solaire à peine plus d'un. Autrement dit en lissage annuel, un GW nucléaire supprimé devra être remplacé au choix par 4 GW d'éolien ou 7 GW de solaire photovoltaïque. Pour fournir annuellement la même quantité d'électricité, 1 GW de nucléaire devra être remplacé par 2000 éoliennes de 2 MW.

Avec un facteur de charge de seulement 18%, l'« *Energiwiederde* » allemand a dû mettre en œuvre 115 GW d'éolien et de solaire (soit 2 fois la puissance du parc nucléaire français) pour produire seulement 181 TWh annuels³⁸. De surcroît les principaux gisements de vent se situent le long de la mer Baltique alors que les principaux besoins énergétiques sont en Bavière et dans la Ruhr. Aux 60 000 éoliennes « *équivalentes* » de 2 MW, il a fallu rajouter 10 000 km de câble pour un coût exorbitant de 40 G€. Un choix que le citoyen allemand finance à travers le prix du kWh qui est deux fois plus élevé qu'en France.

37 Les 10% restant correspondent soit à des arrêts programmés (maintenance) soit à des arrêts non programmés (pannes)

38 Les 60 GW de nucléaire français peuvent produire près de 500 TWh d'électricité.

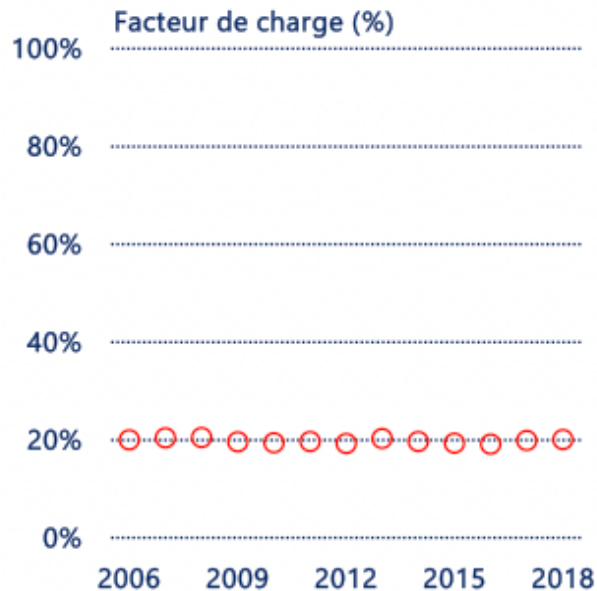


Figure 17 – Facteur de charge ENRi (éolien + solaire photovoltaïque) mondial
 (Source des données : BP statistical Review 2019)

Conséquence : un effet d'échelle démesuré

Déplacer massivement les énergies fossiles vers les renouvelables n'est donc pas fondamentalement un défi technologique. **C'est un problème d'échelle.**

Compte tenu de la faible concentration énergétique du solaire et de l'éolien, pour récupérer une quantité suffisante d'énergie et continuer d'alimenter la croissance économique il est nécessaire de mettre en œuvre une capacité souvent démesurée d'équipements. Cet effet d'échelle se lit en filigrane de nombreux exemples. Ainsi pour faire voler à l'énergie solaire un airbus A380 (50 MW de puissance) il lui faudrait des ailes dont la surface occuperait... 90 terrains de football (**Figure 18**).

Plus sérieusement, à production électrique annuelle équivalente, le remplacement du parc nucléaire français (56 GW) par des ENRi nécessiterait au choix 112 000 éoliennes de 2MW ou une surface de 5000 km² (l'équivalent du département de la Haute Loire!) de panneaux photovoltaïques. Au rythme actuel de 600 éoliennes par an, leur mise en œuvre prendrait...200 ans. Cet effet taille se traduit évidemment par des surconsommations de matériaux comme l'acier ou le béton. Ainsi, une éolienne off-shore flottante de 10 MW nécessite en moyenne 2500 tonnes d'acier alors que le réacteur EPR de Flamanville (1700 MW) en contient 42 000 tonnes. En supposant un facteur charge de 50% pour l'éolien off-shore, un MWh éolien demandera 18 fois plus d'acier qu'un MWh EPR.

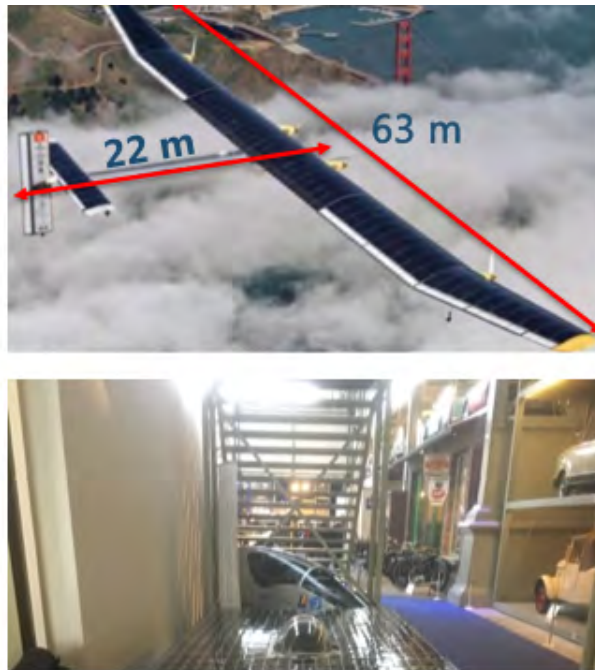


Figure 18 – Exemple d'effet de taille
L'avion Solar Impulse (1 personne à 70 km/h) possède des ailes de 63m
La voiture solaire présentée au musée Auto-World de Bruxelles

L'effet d'échelle ne s'arrête pas à la production électrique et se retrouve également dans la mise en œuvre de la mobilité verte. Ainsi, remplacer le diesel et l'essence consommés en France en 2018 (environ 50 milliards de litres) par de l'hydrogène produit à partir de l'électrolyse de l'eau demanderait à kilométrage constant environ 500 TWh d'électricité soient 130 000 éoliennes de 2MW ou une soixantaine de réacteurs nucléaires supplémentaires de 1 GW. Si, en dehors de toute considération sociétale, la mise en œuvre de 60 réacteurs nucléaires supplémentaires n'a rien d'impossible, produire massivement de l'hydrogène à l'aide de renouvelables ne paraît pas raisonnable.

Séduisante sur le papier, une société 100% renouvelables débouche donc systématiquement sur un effet d'échelle difficilement gérable. Les renouvelables pourront au mieux à moyenne échéance compter pour 30% de la production électrique mondiale.

Un argument coût très discutable

L'argument principal plaidant aujourd'hui en faveur des renouvelables est la baisse spectaculaire de ses coûts. Selon l'ADEME, les MWh éoliens et solaires seraient ainsi devenus aussi compétitifs que ceux

produits par le nucléaire existant³⁹ (**Figure 19**). Selon ses supporters, les ENR seraient donc en train de supplanter économiquement l'atome devenu peu compétitif. Et que dire des EPR⁴⁰ ! La tête de série de Flamanville fournira des MWh à 120 euros et, il y a peu de chances que son prix soit à terme inférieur à 90 €/MWh.

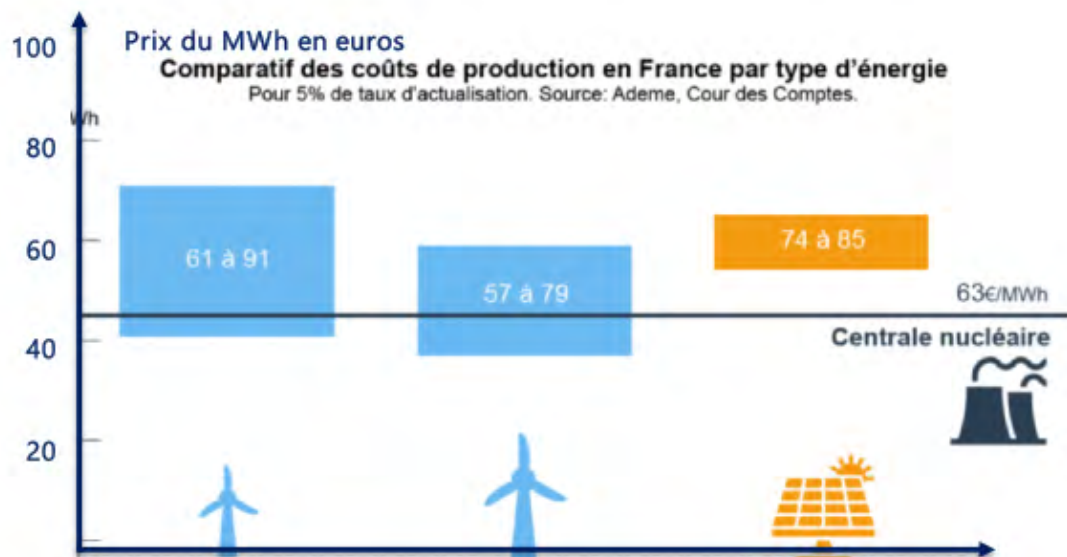


Figure 19 – Comparatif des coûts de production en France par type de source électrique
 (Source : ADEME, cour des comptes)

Si ces estimations prennent en compte les facteurs de charge réels (2000 heures en pleine puissance pour l'éolien terrestre et un peu plus de 1000 heures pour le solaire photovoltaïque), elles n'incluent pas le coût des installations de support (gaz notamment) qu'il faudra construire pour pallier les intermittences en cas de sortie partielle ou totale du nucléaire. Le coût de ces installations de support pourraient renchérir de 30% voire davantage le coût du MWh ENR surtout en cas de flambée des prix du gaz. Mais, surtout ne prendre en compte que le coût du MWh sans en scruter la valeur conduit à des conclusions aberrantes⁴¹.

Dans un marché ouvert de l'électricité, la valeur du MWh est fonction de la demande. Celle-ci évolue de façon quotidienne mais aussi saisonnière. Ainsi, les fortes demandes quotidiennes se situent-elles surtout en matinée et en soirée tandis que la demande saisonnière est toujours beaucoup plus élevée l'hiver que l'été. Au contraire, entre 11h et 16h et surtout en été, la demande est plutôt faible (**Figure 20**).

³⁹ Le coût actuel du MWh nucléaire est de 42€/MWh. La figure 19 inclut le coût du grand carénage estimé à 21 €/MWh ce qui paraît élevé. Nos calculs conduisent à un coût (50 milliards d'euros pour l'ensemble du parc) de 50€/MWh

⁴⁰ Le MWh de l'EPR de Flamanville est estimé à 120€/MWh. Il s'agit d'une « tête de série ».

⁴¹ <https://theconversation.com/debat-pour-une-juste-estimation-du-cout-du-tout-renouvelable-114723>

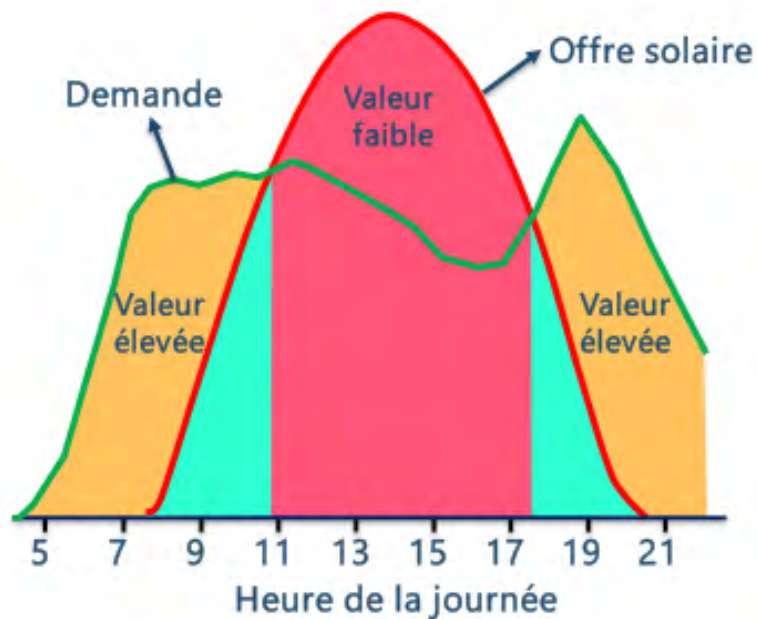


Figure 20 – Comparaison offre demande (solaire photovoltaïque)

La valeur du MWh peut ainsi varier d'un facteur 10 au cours d'une même journée. Or la production d'ENR variant en fonction des conditions météorologiques est rarement en phase avec les pics de demande. Ainsi par exemple, le solaire photovoltaïque ne fournit que peu d'électricité le matin et le soir quand la demande est forte et que la valeur est élevée. Au contraire entre 12h et 16h lorsque la demande et la valeur sont faibles, la production est maximale.

Autrement dit, à cause de leur non-pilotabilité, les renouvelables produisent dans bien des cas des MWh de faible valeur et dans bien des cas, cette valeur peut être inférieure au coût. En cas d'offre très excessive, la valeur du MWh peut même devenir négative dans la mesure où il sera nécessaire « *payer le voisin* » pour délester le réseau des MWh superflus non consommés. Une situation que connaissent bien les danois payant parfois aux norvégiens les MWh qu'ils sont obligés de délester en cas d'excès de vent et que ces derniers utilisent pour remplir quasi gratuitement leurs barrages hydroélectriques. En revanche en cas de pénurie de vent, les danois payeront au prix fort l'énergie hydroélectrique importée de Norvège.

Au contraire, les énergies pilotables comme le gaz ou le nucléaire peuvent adapter leur offre au marché comme elles le souhaitent en produisant des MWh à haute valeur ajoutée en période de forte demande mais en réduisant l'offre lorsque la demande baisse.

Il n'est donc pas pertinent de comparer les coûts de sources pilotables et non pilotables. Quel que soit leur coût, les ENR parviendront difficilement dans un marché ouvert à évincer les sources pilotables car la valeur économique du MWh qu'elles produisent sera toujours nettement inférieure à celui produit par des sources pilotables.

Cette situation pourrait toutefois s'atténuer à moyen terme en cas de stockage journalier à l'aide de batteries. Mais, comme pour les renouvelables, la mise en œuvre massive de stockage se confrontera inévitablement à un problème de taille.

La dépendance envers les métaux rares

Malgré la mise en œuvre, depuis le premier choc pétrolier, de sources alternatives d'énergie comme le nucléaire, le mix énergétique européen reste profondément dépendant des énergies fossiles. En 2020, elles représentaient toujours 73% du mix énergétique primaire. Un point de faiblesse majeur qui, à tout moment, peut fragiliser sa sécurité énergétique mais aussi la situation sociale notamment en cas de rupture offre demande et de flambée des prix. Mais, la dépendance énergétique de l'Europe ne s'arrête pas aux hydrocarbures.

Les défenseurs du nucléaire ont toujours clamé que l'atome avait donné aux européens l'indépendance énergétique et en partie sécurisé leur approvisionnement. Au contraire, ses détracteurs prétendent que le nucléaire représente une autre forme de dépendance puisqu'à l'instar des sources d'énergie fossiles, le combustible uranifère est importé. Il y a néanmoins une différence notable entre la dépendance fossile et la dépendance nucléaire. D'une part, l'uranium ne représente que 2% du coût global du MWh nucléaire contre plus de 60% pour le gaz. Une flambée des cours n'augmenterait donc que marginalement le prix de l'électricité. D'autre part, la durée de vie du combustible nucléaire chargé dans un réacteur est de plusieurs années⁴². Le combustible nucléaire ne s'achète donc pas comme le gaz ou le charbon sur des marchés spots et n'est pas sujet comme ses confrères fossiles à la volatilité des cours. La durabilité d'un réacteur et le poids du combustible dans le coût global du MWh confèrent donc au nucléaire une incontestable indépendance énergétique.

Quant aux énergies renouvelables, dans la mesure où le vent et le soleil appartiennent à tout le monde, donnent-elles pour autant à un pays une totale indépendance énergétique ? Hélas, la dépendance

42 https://fr.wikipedia.org/wiki/Arr%C3%AAt_de_tranche

ne se situe plus au niveau des ressources mais bien au niveau des matériaux (lithium, cobalt, terres rares) nécessaires aux équipements de transformation (éoliennes, panneaux solaires, batteries, piles à combustible). Et sur ce point, la distribution géographique est encore bien plus critique que celle des hydrocarbures et de l'uranium (**Figure 21**).

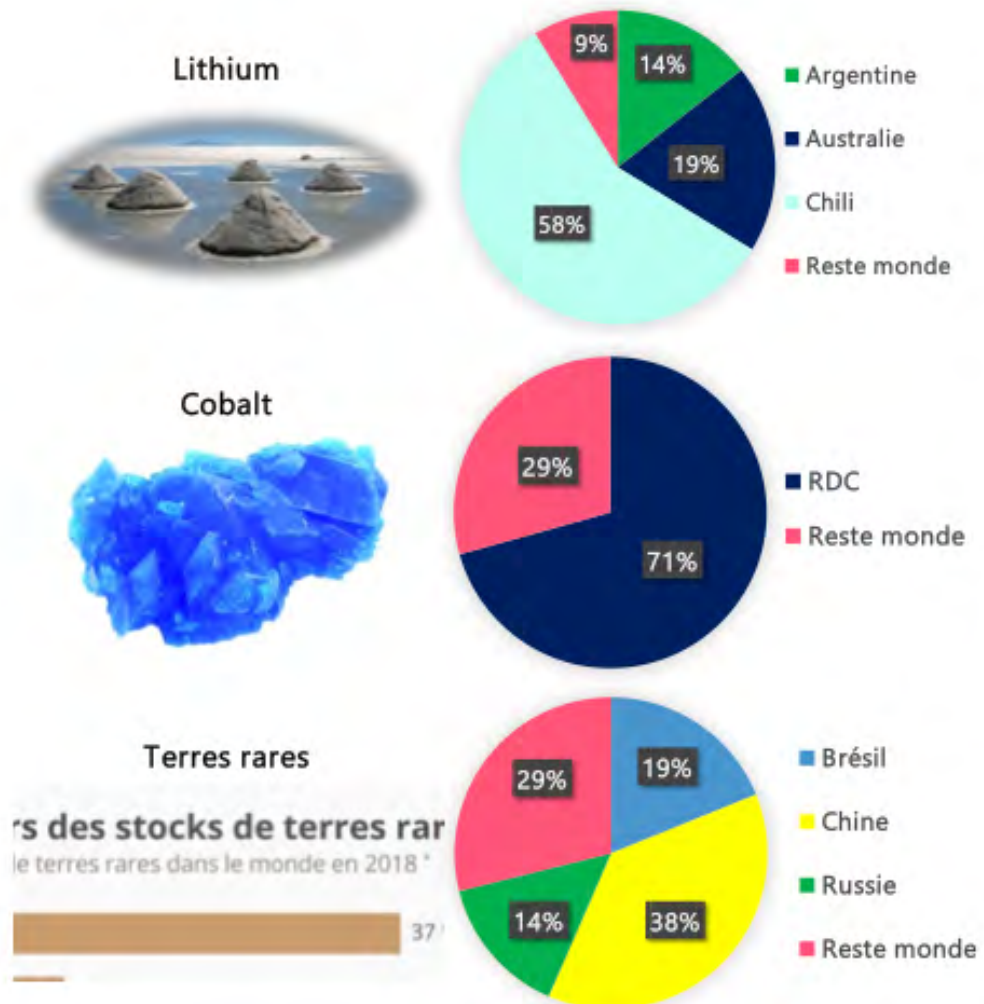


Figure 21 – Distribution des réserves mondiales de cobalt, lithium et terres rares
(Source des données : BP statistical review 2019)

Ainsi 70% des réserves mondiales de cobalt (électrodes des batteries) sont situées en République Démocratique du Congo et près des deux tiers des réserves de lithium (électrolyte des batteries) au Chili et en Argentine. Quant aux terres rares, la Chine recèle 38% des réserves mondiales, le Brésil 19% et la Fédération de Russie 14%. Comme pour les hydrocarbures ou l'atome, l'Europe des renouvelables sera donc dans l'avenir fortement dépendante de ses fournisseurs de métaux rares et semi rares. Contrairement à une idée reçue, les renouvelables ne résolvent donc en rien le problème d'indépendance énergétique de l'Union Européenne.



III) Un développement durable reposant sur une croissance soutenable

Vers un mix 2050 « arc-en-ciel »

La décroissance et la croissance verte correspondant à des impasses sociétales et techniques évidentes, c'est dans une troisième voie davantage équilibrée que se trouve la solution

Dans la mesure où la transition consacrera l'électricité comme vecteur énergétique majeur la consommation d'électricité devrait s'accroître significativement. S'il est indispensable d'introduire dans le mix énergétique une proportion significative de renouvelables celle-ci pourra difficilement excéder 30% du mix primaire. 30% c'est comme par hasard la somme des facteurs de charge de l'éolien et du solaire.

Non pilotables et peu concentrées, les énergies renouvelables doivent avant tout être envisagées comme des sources d'énergies locales. La solution consistant à produire massivement de l'électricité solaire dans le nord de l'Afrique pour la transporter sur de très longues distances est à la fois une hérésie technologique (pertes en ligne), de ressources (consommation massive de cuivre pour réduire les pertes en ligne) mais surtout géopolitique. Ainsi en est-il de ce méga projet⁴³ de 22 G\$ ambitionnant d'électrifier sept millions de foyers britanniques à partir de...soleil et de vent marocain. La société britannique Xlinks compte construire dans le sud marocain une centrale de 10,5 GW (soit la puissance équivalente à 11 réacteurs nucléaires !) occupant une surface de 1500 km² d'une zone désertique ensoleillée 3000 heures par an. La centrale serait reliée au sud de la Grande Bretagne par un câble sous-marin gigantesque posé au fond de l'Atlantique sur une distance de 3800 km. Sensé approvisionner en électricité près de 10% de la population britannique, ce projet en apparence « *plus vert que vert* » conduit à un coût de 55\$/MWh⁴⁴ assez voisin de celui du MWh nucléaire français après carénage (49€/MWh). Il personnifie pourtant le délire de la croissance verte. Même si le taux de charge exceptionnel est trois fois supérieur à celui de la France, le projet ne fournira pourtant de l'électricité que 35% du temps. Les intermittences devront donc être compensées soit par du nucléaire (le Royaume-Uni a pour l'instant conservé une grande partie de sa génération nucléaire) soit par du gaz voire par du charbon. Il mettra également la Grande-Bretagne sous inévitable tutelle énergétique marocaine.

Ne pouvant se suffire à elles-mêmes et assurer seules la croissance verte promise, les ENRi ont besoin d'un « *ami thermique* » qui si l'on veut rapidement sortir du charbon et du pétrole ne peut être que le gaz ou le nucléaire. Le gaz étant plus simple et plus économique à miniaturiser, que le nucléaire, le plan idéal consisterait en de petites centrales à gaz en support là où on peut capitaliser sur le solaire ou l'éolien et de grosses centrales nucléaires là où on ne peut pas. Une part de gaz vert issu soit de la méthanisation (biogaz) ou de la méthanation (gaz de synthèse fabriqué à partir d'hydrogène et de CO₂) pourra le cas échéant réduire la part de gaz naturel. Mais, des microcentrales nucléaires (les fameuses SMR- Small Modular Reactor) de quelques dizaines de MW à plusieurs centaines de MW que le Président Français a récemment décidé de subventionner dans son plan de relance à hauteur de 1 milliards d'euros⁴⁵. La construction de SMR n'est en rien un défi technologique (elles existent dans les

43 <https://www.agenceecofin.com/energies-renouvelables/2909-91940-maroc-xlinks-construira-sa-centrale-electrique-de-10-5-gw-dans-la-region-de-guelmim-oued-noun>

44 Calculé sur 20 ans avec un facteur de charge de 30%

45 <https://www.capital.fr/entreprises-marches/edf-veut-lancer-un-premier-chantier-de-petit-reacteur-nucleaire-smr-en-france-dici-2030-1417493>

sous-marins ou porte-avion nucléaires depuis des dizaines d'années et utilisent une technologie mature) mais un défi économique. Seule une fabrication de réacteurs à la chaîne à partir de procédures standardisées permettra d'en rendre les coûts économiques.

A moyen terme c'est donc dans l'hybridation du mix énergétique que se trouve la vraie solution de la transition énergétique. Tous les scénarios énergétiques sérieux prédisent d'ailleurs que le mix énergétique 2050 renfermera encore entre 40% et 50% de combustibles fossiles. Mais son contenu sera très différent de celui d'aujourd'hui : presque plus de charbon, beaucoup moins de pétrole mais davantage de gaz naturel.

L'arrêt de la consommation des énergies fossiles n'est donc pas pour demain. Pour cette raison il faut malheureusement continuer d'explorer et de développer de nouveaux champs d'hydrocarbures surtout de gaz⁴⁶. En effet, même si les réserves actuelles (1700 Gbep de pétrole et 1200 Gbep de gaz naturel) peuvent paraître suffisantes pour couvrir la fin des hydrocarbures, cette vision véhiculée par de nombreuses ONG écologistes s'avère fautive et dangereuse. En effet, les champs constituant le socle existant voient leur production décliner de 4 à 6% par an, un déclin compensé depuis toujours par la mise en production de nouveaux champs. La stratégie consistant à arrêter toute exploration et tout développement de nouveaux champs pétroliers et gaziers se solderait rapidement par une rupture offre demande et conduirait à une explosion inédite des cours avec toutes les conséquences économiques et sociales que l'on peut imaginer.

La situation actuelle de prix élevés du pétrole et du gaz résulte d'ailleurs de ce double effet : accroissement de la demande de gaz pour pallier les intermittences des renouvelables et baisse de l'offre résultant d'un manque d'investissements dans le développement de nouveaux champs sous la pression de mouvements écologistes menaçant notamment les institutions bancaires de dégrader leur image. Quoi qu'il en soit la dépendance vis-à-vis des hydrocarbures (100% pour le pétrole et 90% pour le gaz) reste une préoccupation majeure pour l'indépendance énergétique européenne.

Si durant la pandémie, la France a manqué de masques, de gel hydro-alcoolique et de respirateurs, elle a au moins pu compter sur l'abondance de son électricité nucléaire. Si elle veut atteindre la neutralité carbone en 2050, la période post-pandémie sera l'occasion pour la France de revoir sa politique énergétique. Pour soutenir sa transition énergétique, la France aura besoin d'accroître significativement

46 <https://www.contrepoints.org/2020/11/18/384591-hydrocarbures-pourquoi-faut-il-continuer-leur-developpement>

sa production d'électricité afin de satisfaire la demande en voitures électriques, en pompes à chaleur mais aussi en hydrogène vert seul substitut crédible à moyen terme du pétrole dans les transports longues distances. La consommation actuelle d'électricité de 450 TWh/an pourrait doubler d'ici 2050.

Pour ce faire, il faut lancer sans tarder le grand plan de carénage des centrales existantes (50 milliards d'euros soit seulement 8€ de surcoût par MWh produit) ainsi que la construction prévue des six EPRs. Si les renouvelables intermittents feront partie intégrante du mix, leur part ne pourra excéder 30% à 35% de la production électrique. Pour atteindre en 2050 la neutralité carbone, les transports et l'habitat pourraient être complètement décarbonés avec un mix 60% nucléaire, 30% renouvelables (avec un peu de biogaz en support) et 10% d'hydroélectricité. Seuls certains secteurs industriels resteraient carbonés (sidérurgie, ciment, chaux, verre). Ces émissions résiduelles seraient alors captées et réinjectées par CCS (Carbon Capture & Storage). Gaz, nucléaire et CCS seront donc trois piliers de la future transition.

Une re-nucléarisation massive à plus long terme

La décarbonation massive et complète de la société de croissance ne pourra passer que par sa nucléarisation massive. Nucléarisation du mix électrique pour soutenir les renouvelables mais aussi nucléarisation pour produire massivement de l'hydrogène vert et remplacer le pétrole dans les transports non électrifiables : voitures sur longue distance, camions, bateaux et même avions.

Pourtant, depuis la catastrophe de Fukushima, le nucléaire est de plus en plus marginalisé. Alors qu'il pourrait impacter significativement la décarbonation du mix mondial, il n'a contribué qu'à hauteur de 4% à la croissance de la consommation mondiale 2018 et ses investissements ne représentaient que 3% des investissements énergétiques globaux autant dire zéro.

Pour ses détracteurs, il présenterait à la fois un risque ontologique frontal (risque d'accident majeur) mais aussi un risque ontologique diffus (stockage des déchets). Il est d'ailleurs intéressant de noter que de nombreuses innovations tentent de juguler ce point bloquant. Les travaux de Gérard Mouroux, Prix Nobel de Physique en 2018 pourraient en effet améliorer le processus de transmutation, mais

ce procédé ne s'appliquerait pas aux déchets déjà produits⁴⁷. Le laboratoire sous-terrain de Bures que l'Institut Sapiens a eu l'opportunité de visiter en octobre 2021 démontre tout le sérieux technique que la France et son agence de stockage l'ANDRA ont apporté à cette problématique de déchets nucléaires. La nature de la roche exceptionnellement imperméable confirme que ce stockage permettra de stocker sans aucun danger le combustible utilisé durant les centaines de milliers d'années nécessaires à sa dé-radiation.

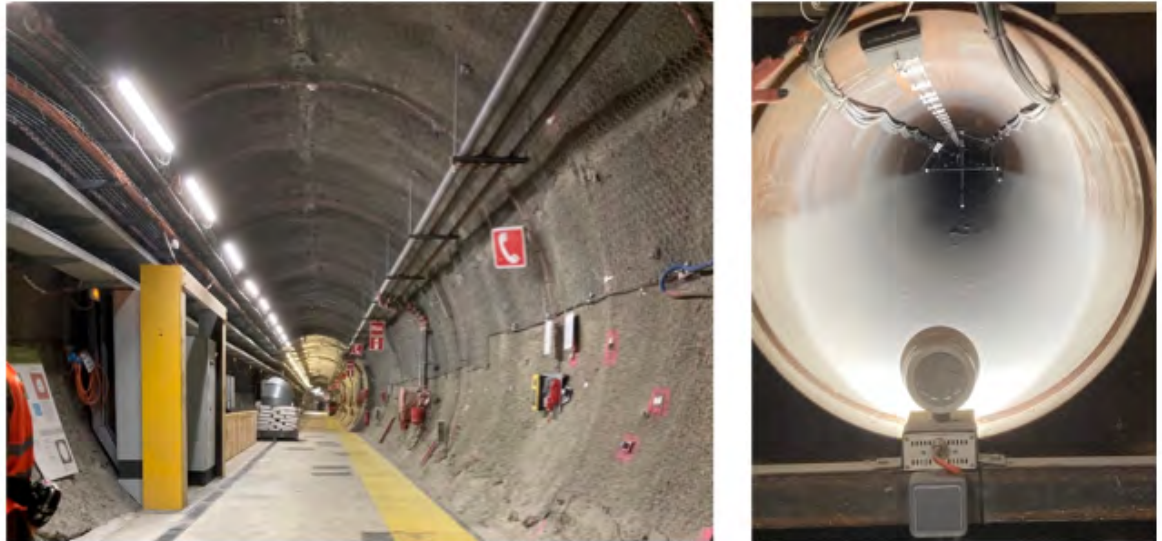


Figure 22 – Laboratoire souterrain de l'ANDRA (centre de Meuse /Haute-Marne)
Gauche – Galerie d'accès
Droite – Test de chemissage d'une alvéole de stockage de déchets de haute activité.

En ce qui concerne la sécurité, toutes les études statistiques sans exception effectuées depuis 30 ans montrent de façon récurrente que le nucléaire est l'énergie la plus sûre^{48, 49}. En comparaison le charbon est la source d'énergie la plus meurtrière (**Figure 23**). En dehors des accidents liés à l'extraction minière, la pollution de l'air issue des centrales électriques à charbon (mercure, dioxyde de soufre, oxydes d'azote et particules) tue chaque année de l'ordre de 2,5 millions de personnes dans le sud-est asiatique.

47 <https://www.andra.fr/la-transmutation-de-dechets-radioactifs-par-laser-de-haute-puissance-le-defi-de-gerard-mourou>

48 <https://ourworldindata.org/what-is-the-safest-form-of-energy>

49 <https://www.contrepoints.org/2017/08/04/296088-nucleaire-source-denergie-plus-sure>

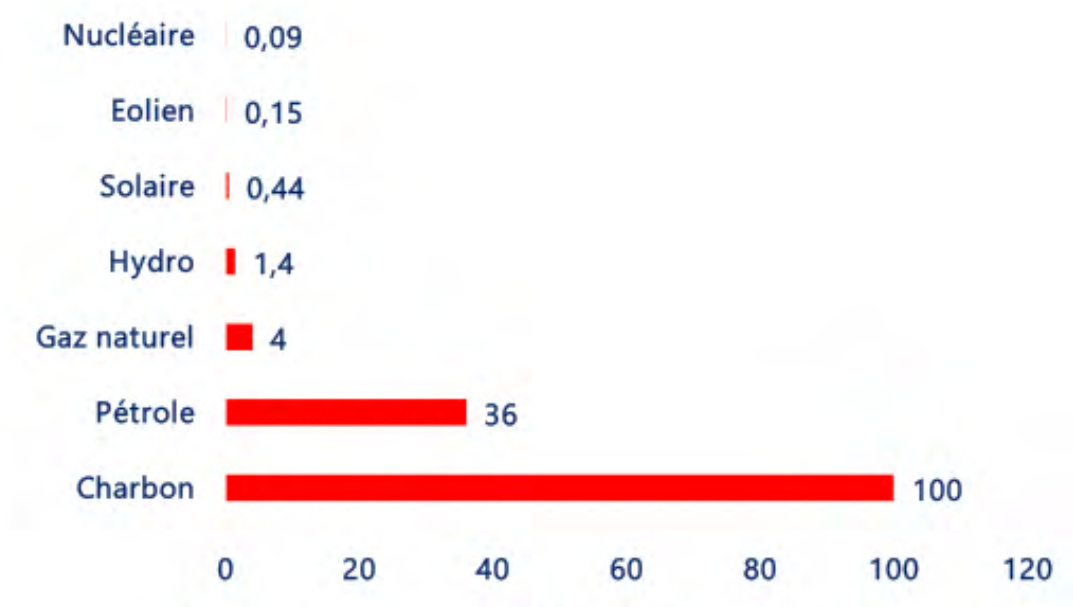


Figure 23 – Nombre de fatalités par TWh⁵⁰

Ce rejet du nucléaire européen n'est pas qu'idéologique. Il est aussi lié au questionnement économique lié à la construction des nouveaux réacteurs EPR européens de Flamanville en France, Hinkley Point en Grande Bretagne et Olkiluoto en Finlande montrés du doigt pour leur retard et leur surcoût considérables. Ainsi, l'EPR de Flamanville ne démarrera pas avant 2023 et son coût prévisionnel est désormais de 12,4 milliards d'euros⁵¹, presque quatre fois l'estimation initiale⁵². Au Royaume-Uni, le chantier de Hinkley Point, entamé fin 2018, accuse déjà dix-huit mois de retard et son coût final a augmenté 3,5 milliards d'euros.

En dehors du fait que les EPRs sont des têtes de séries, les déboires européens s'expliquent principalement par l'addition de nouvelles normes réglementaires imposées après la catastrophe de Fukushima en 2011 mais aussi par les pertes de compétences. Ainsi en France, les équipes ayant participé à la construction des 58 réacteurs français (56 aujourd'hui après la fermeture des deux réacteurs de Fessenheim) sont aujourd'hui à la retraite. Pour ne rien arranger, la filière nucléaire dont l'image dans l'opinion publique est très détériorée ne fait plus rêver les jeunes et n'arrive pas à recruter et à former le personnel qualifié.

⁵⁰ <https://www.statista.com/statistics/494425/death-rate-worldwide-by-energy-source/>

⁵¹ <https://www.lefigaro.fr/societes/nucleaire-la-cour-des-comptes-pointe-les-derives-du-programme-epr-20200709>

⁵² <https://www.capital.fr/economie-politique/epr-pourquoi-les-chinois-y-arrivent-et-pas-nous-1361531>

Au contraire de l'Europe, la Chine a mis en production le premier réacteur EPR de la centrale de Taishan fin 2018 et le second est opérationnel depuis septembre 2019 (1,75 GW chacun). Un projet qui est né de la collaboration entre EDF et CGN (China General Nuclear Power Group). Si sa livraison a subi quatre ans de retard et un surcoût de 60%, cet investissement reste néanmoins toutes proportions gardées, modeste par rapport aux projets européens.

Cette fructueuse coopération franco-chinoise s'est également poursuivie en Europe, où CGN a notamment participé à l'élaboration du site HINKLEY POINT C. Une association qui, espérons-le, aura un écho dans les prochaines années à travers la construction de réacteurs neufs de type EPR² en France⁵³.

Au-delà de la fission nucléaire classique, la véritable révolution technologique se cache derrière ITER, un projet international visant à reproduire la fusion nucléaire du soleil (**Figure 24**). Il ne s'agit plus de « *casser* » un gros atome d'uranium mais bien de fusionner des isotopes de l'hydrogène (deutérium et tritium) largement disponibles dans la nature.

La chaleur générée par la réaction permettrait de produire massivement de l'électricité verte car la fusion génère de l'hélium, un élément inerte et sans danger. Mais, réaliser la fusion est un énorme défi technologique : il faut atteindre des températures extrêmes de cent cinquante millions de degrés. La première production d'électricité à partir de la fusion est prévue entre 2035 et 2040 et sa version industrielle entre 2060 et 2070. L'échéance paraît lointaine mais à l'échelle de l'humanité c'est pour demain. Si l'expérience est concluante, la fusion pourrait nous libérer de notre geôle énergétique en nous apportant de l'énergie à profusion durant des millénaires et pérenniser ce qui nous est le plus cher : notre société de croissance.

53 <https://www.lesechos.fr/industrie-services/energie-environnement/le-gouvernement-fait-plan-cher-edf-sur-ses-futurs-epr-en-france-1139927>



Figure 24 – Le projet ITER





IV) Un urgent besoin de pédagogie

La montée des « passions tristes »

Pour imposer sa pensée unique et notamment son objectif souvent inavoué de décroissance économique, le climato-gauchisme a besoin de mystifier la jeunesse. En quête d'identité face à un avenir complexe et incertain, les jeunes représentent une population manipulable, peu expérimentée et donc très réceptive à la pensée binaire.

L'approche binaire de la société remonte à la philosophie grecque. Selon son « *principe du tiers exclu* »⁵⁴, Aristote considère qu'on ne peut attribuer à une affirmation que son état ou son contraire mais qu'il ne peut exister d'« *état intermédiaire* ». Tous les modes de pensée de l'histoire se sont largement nourris du principe du tiers exclu. La pensée judéo-chrétienne introduit le bien et le mal, le marxisme les riches et les pauvres. C'est la loi du tout ou rien. Une chose est parfaite ou ... nulle. Il n'y a pas de place pour la nuance.

54 <https://hexalto.com/coach/aristote-toujours-parmi-nous/>

Dans un monde perdant ses repères jour après jour, chacun s'improvise tantôt économiste, tantôt psychologue, tantôt scientifique. Progressivement, la perception remplace la réalité des faits et des données. Le monde n'est plus piloté par la réalité mais par l'impression et la rumeur. La raison fait place à l'émotion et à la passion.

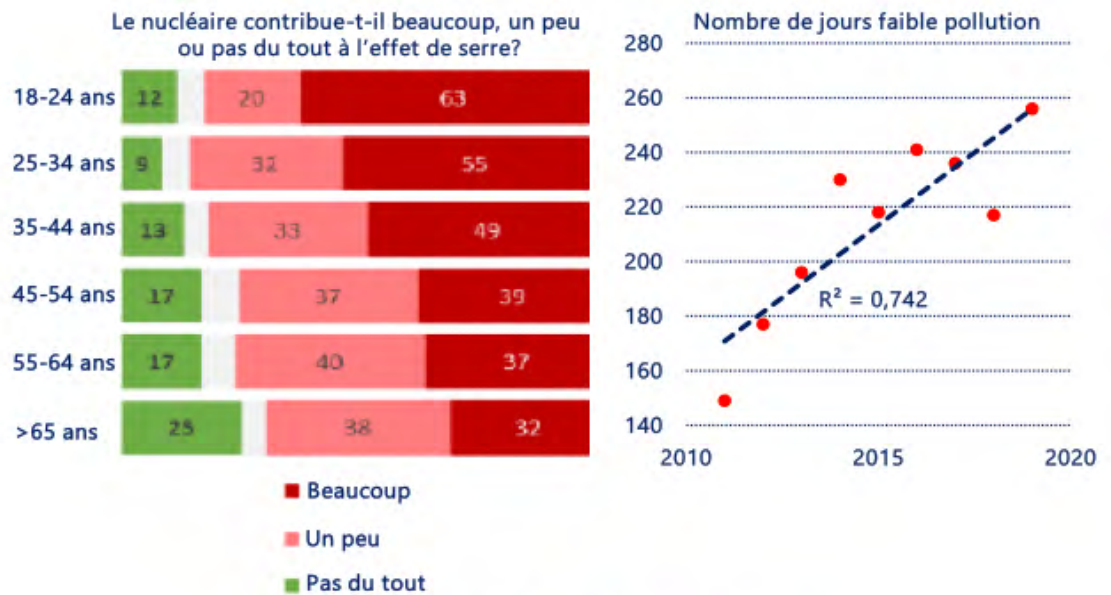


Figure 25 – Enquête IPSOS sur le nucléaire ⁵⁵
Amélioration de la qualité de l'air parisien ⁵⁶

Ainsi, selon une enquête 2017 effectuée par l'ISPOS en 2017 (**Figure 25 - gauche**), quand on pose aux Français la question « *quel impact a le nucléaire sur le dérèglement climatique* » 78% considèrent qu'il impacte négativement le climat. Pour les 18 à 24 ans les pourcentages atteignent 83% avec près des deux tiers (63%) convaincus que « *le nucléaire impacte beaucoup le dérèglement climatique* ». Ce chiffre tombe en revanche à 32% pour les plus de 65 ans. Les aînés sont donc mieux informés que les jeunes. Par ailleurs, l'enquête relie clairement « *hostilité et ignorance* » puisque 75% des sondés se déclarant « *tout à fait contre* » l'utilisation du nucléaire croient dans le même temps que les centrales nucléaires contribuent « *beaucoup* » à l'effet de serre. La formule chère à Descartes « *je pense donc je suis* » est aujourd'hui devenue « *je crois donc je sais* »!

Rien de surprenant quand on regarde de plus près certaines publications de l'ADEME destinées aux élèves de l'enseignement secondaire et comportant des informations inexacts au caractère militant avéré. Ainsi l'Uranium est-il considéré comme une énergie fossile (**Figure 26**) !

⁵⁵ <https://www.lemonde.fr/blog/huet/2018/04/11/nucleaire-et-climat-la-grande-tromperie/>
⁵⁶ <https://www.airparif.asso.fr/indices/historique-indice>



Figure 26 – Exemple de militantisme véhiculé dans le secondaire Pour l'ADEME⁵⁷, le nucléaire est une énergie fossile !

La France n'est pas le seul pays où de tels résultats ont été observés. Une enquête récente effectuée chez nos voisins belges⁵⁸, où 50% de la génération électrique est d'origine nucléaire, donne des résultats similaires. Ainsi, si 74% des jeunes belges citent l'effet de serre comme origine du réchauffement climatique, ils sont 62% à considérer le nucléaire comme l'une des causes majeures du réchauffement climatique devant...le chauffage au fuel.

Un autre exemple est la perception de la qualité de l'air à Paris. Alors que depuis une dizaine d'années sa qualité s'est considérablement améliorée (**Figure 25 – droite**) selon une enquête effectuée par OpinionWay en 2017⁵⁹, 68% des Parisiens considèrent qu'elle s'est dégradée contre seulement 6% considérant qu'elle s'est améliorée.

L'impact du militantisme est bien perceptible dans ces résultats. Qu'il s'agisse des jeunes ou des adultes, le point d'équilibre entre la nécessité de rendre le message accessible à tous et la compréhension du problème posé s'avère toujours très complexe. Pour provoquer l'adhésion, le militantisme utilise des slogans réducteurs et simplistes du type : « *la planète ne se meurt* » « *pas d'avenir sans décroissance* » ou encore « *Électricité nucléaire, pollutions millénaires* »⁶⁰. Il en résulte des raccourcis conduisant aux résultats aberrants de la **Figure 25**.

57 Des infographies à projeter en classe – Ademe
58 <http://www.skolo.org/CM/wp-content/uploads/2019/10/Ecole-savoirs-climat-Aped-2019.pdf>
59 file:///C:/Users/J0006540/Downloads/Etude_qualit%C3%A9_de_l'air.pdf
60 <https://www.sortirdunucleaire.org/Des-idees-de-slogans>

Lors de sa tournée européenne de 2019, la militante suédoise Greta Thunberg a reçu les encouragements de la chancelière Angela Merkel. Puis, dans une ambiance surréaliste elle s'est produite au palais Bourbon et a fait la leçon à l'ensemble de la représentation française. Seuls quelques députés comme Julien Aubert, Guillaume Larrivé et Jean-Louis Thériot ont marqué leur désapprobation face à une telle mascarade.

Le recteur de l'Université de Mons (Belgique) Philippe Dubois⁶¹ pourtant scientifique de renom a même décidé sur les conseils de son Conseil Académique d'offrir à la passionaria le titre de Docteur Honoris Causa.

Et ce ne sont pas les tribunes acides de quelques personnalités isolées comme le docteur Laurent Alexandre⁶² ou le philosophe Pascal Bruckner^{63, 64, 65} qui y changeront quelque chose. Business oblige ! On ne peut plus être une banque ou un industriel sérieux sans repeindre sa compagnie du sol au plafond en vert écarlate. Dans la mesure où le mot pétrole est devenu tabou, la compagnie Norvégienne Statoil s'est rebaptisée Equinord. Chez Engie, vous ne trouverez plus aucune référence au gaz (qui représente pourtant 90% de son chiffre d'affaires) ; le hall d'entrée du siège de feu « *Gaz de France* » est tapissé d'éoliennes, de biogaz et d'hydrogène. Sous la pression des écologistes, les banques refuseront d'ici peu de financer des projets pétroliers et gaziers au risque de provoquer, comme indiqué plus haut, une rupture structurelle de l'offre. Même le pauvre Roger Federer en a pris pour son grade. Sponsorisé par le Crédit Suisse coupable de soutenir financièrement les énergies fossiles, l'homme « *aux 20 Grands Chelems* » a été accusé par Greta de « *faute morale* ». Sous la pression des millions d'abonnés de la suédoise, Fédérer a été contraint de lui répondre et de faire acte de contrition.

61 [https://fr.wikipedia.org/wiki/Philippe_Dubois_\(chimiste\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Philippe_Dubois_(chimiste))

62 <http://www.lefigaro.fr/vox/societe/2019/03/18/31003-20190318ART-FIG00121-laurent-alexandre-greta-thunberg-est-instrumentalisee-par-des-militants-extremistes.php>

63 <http://www.lefigaro.fr/vox/societe/pascal-bruckner-l-ecologie-pourrait-deboucher-sur-un-nouveau-totalitarisme-20190626>

64 <http://www.lefigaro.fr/vox/societe/pascal-bruckner-greta-thunberg-ou-la-dangereuse-propagande-de-l-infantilisme-climatique-20190409>

65 <http://www.slate.fr/story/175659/greta-thunberg-pascal-bruckner-figaro-vox-jeunesse-autisme-asperger>

La pédagogie pilier du positivisme

Comme toute vision binaire véhiculant une pensée unique, le climato gauchisme représente une nouvelle forme d'obscurantisme. Il se justifierait par l'état psychologique de nos sociétés en perte de repères conduisant nombre de citoyens vers de nouveaux exutoires visant à faire oublier leur état de détresse.

Surfant sur la montée des peurs et des « *passions tristes* », le climato gauchisme rejette les élites et transforme une vérité locale en une vérité générale. En répétant que « *demain sera nécessairement moins bien qu'hier* », il se place de facto en rupture avec l'idée même de progrès.

Et face à ce fléau, la science, en pleine crise de narration, est incapable de délivrer à l'opinion publique ce grand récit positif qui fit la réussite de la révolution industrielle et des trente glorieuses.

Pour faire renaître de ses cendres le positivisme d'Auguste Conte ou l'esprit critique d'Ernest Renan⁶⁶, revaloriser les connaissances découlant de l'expérience aux dépens de l'impression et du ressenti, le citoyen a un urgent besoin de pédagogie. Et ce constat est particulièrement criant pour la jeunesse davantage concernée que les générations plus âgées par la problématique climatique. Fort heureusement, parallèlement aux mouvements militants, d'autres initiatives beaucoup plus constructives focalisées sur l'éducation et la formation ont vu récemment le jour.

En septembre 2018 un groupe d'étudiants du Plateau de Saclay regroupant la « *crème* » des Grandes Ecoles françaises (Ecole Polytechnique, HEC, Ecole Normale Supérieure, AgroParisTech et CentraleSupélec) publie le « *Manifeste étudiant pour un réveil écologique* »⁶⁷. Le texte recueille dans les semaines qui suivent près de 30 000 signatures.

Selon le Manifeste, malgré l'importance du problème, nombre d'étudiants clôturent leur formation supérieure sans avoir été correctement formés aux enjeux de la transition écologique. Un constat entériné par le Shift Project dans son récent rapport « *Mobiliser l'enseignement supérieur pour le climat* » publié début 2019^{68,69}. Aussi est-il urgent de mobiliser les établissements et les pouvoirs publics pour qu'ils intègrent ces enjeux et ce quel que soit le cursus (scientifique, économique, commercial, politique).

66 <http://www.histophilo.com/positivisme.php>

67 <https://pour-un-reveil-ecologique.org/fr/>

68 https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2019/03/2019-03-25_Rapport_Mobiliser-lensei-gnement-sup%C3%A9rieur-pour-le-climat_The-Shift-Project.pdf

69 <https://theshiftproject.org/>

Etudiant à l'X, Matthieu Sattler a participé à la rédaction du Manifeste. Il explique l'insuffisance de formation dans le domaine de la transition écologique par l'hyper spécialisation du corps enseignant dont la reconnaissance scientifique s'appuie sur une expertise internationale dans un domaine bien précis. Un état de fait incompatible avec les enjeux éminemment transverses de la transition écologique.

Ce manque de transversalité se retrouve aussi dans le secondaire, selon Clémence Vorreux co-auteure du rapport publié par le Shift. Pour que les élèves acquièrent une compréhension globale de la question (scientifique, économique, sociétale, géographique, politique, historique...), chaque enseignant devrait mettre en perspective sa matière par rapport aux enjeux globaux. Malheureusement, faute de formation généraliste mais aussi par respect du périmètre de chacun, la plupart des enseignants traitent le sujet strictement à la périphérie de leur domaine de connaissance. Ainsi, « *on expliquera comment est fabriquée une cellule photovoltaïque, sans pour autant aborder les avantages et les inconvénients des énergies renouvelables, les matériaux et les ressources requises pour les produire* ». Un « *silotage* » qui du côté des élèves ne rend pas le sujet suffisamment percutant, concret et attractif. Le cursus des enseignants n'est pas aujourd'hui adapté à l'enjeu. Un complément de formation est donc un prérequis indispensable.

Ce déficit de transversalité, est souvent compensé par l'intervention de conférenciers extérieurs issus d'entreprises ou d'associations dont le contenu pédagogique peut être discutable. « *Garant de l'intérêt général, l'Etat doit s'emparer de ces actions pédagogiques* » selon le Shift. Il doit au minimum contrôler le contenu enseigné et la légitimité des intervenants.

Bien que la prise de conscience soit de plus en plus précoce, Matthieu Sattler considère que l'enseignement de la transition écologique ne doit pas pour autant débiter trop tôt. Car aborder un sujet aussi complexe requiert un minimum de maturité.

Au lycée, l'élève a acquis suffisamment de discernement pour commencer à saisir les risques et les incertitudes. En revanche, dans le primaire ou au collège, il n'est jamais simple de trouver la bonne tonalité. Très souvent on cultive un idéal déconnecté et dissonant de la vie réelle en enseignant sans explication et sans recul des écogestes du type « *il ne faut plus manger de viande* ». Le risque d'un discours trop simpliste est de transmettre aux élèves encore immatures des certitudes là où on devrait leur transmettre des questionnements. Être sensibilisé à un problème n'implique pas de l'avoir compris. D'autant que ce discours simpliste est renforcé

par les contenus souvent orientés et de qualité médiocre véhiculés par les réseaux sociaux. Ainsi Matthieu Sattler « *émet certains doutes quant à la pertinence et la spontanéité de la démarche de Greta Thunberg* ».

Clémence Vorreux confirme aussi le risque de conflit générationnel. « *La transition écologique enseigne aux jeunes enfants des éléments souvent absents de l'éducation de leurs parents. Elle impose implicitement aux générations précédentes une profonde remise en question de leurs comportements présents mais aussi un questionnement de leurs responsabilités passées* ». Le risque est de produire une génération moralisatrice reprochant à leurs parents leur « *passé climatique* ». Un discours que l'on retrouve dans l'expression « *ok boomer* »^{70,71} qui déferle sur les réseaux sociaux.

Au cours de l'année 2019, les professeurs du secondaire ont également dénoncé les lacunes de l'enseignement français en termes de transition écologique et d'enjeux climatiques dans les écoles, collèges et lycées. Au-delà du contenu des programmes, c'est aussi sur leur propre formation que les professeurs s'interrogent. Bien que nombreux à vouloir sensibiliser leurs élèves sur ces sujets, ils considèrent n'être pas correctement formés. A ce titre, le collectif « *Profs en Transition* », qui réunit plus de 17 000 acteurs de l'enseignement, réclame une formation du corps enseignant du primaire et du secondaire sur ces problématiques.



70 Apparue fin 2019 « ok boomer » est une expression utilisée de manière péjorative pour tourner en dérision des jugements perçus comme une résistance au changement de la part de personnes âgées, particulièrement les baby-boomers face aux idéaux des générations montantes

71 <https://www.planet.fr/societe-ok-boomer-que-signifie-cette-expression-qui-vise-les-plus-de-50-ans.1891793.29336.html>