

Professeur au Collège de France, membre de l'Académie des Sciences

MARC FONTECAVE

HALTE AU CATASTROPHISME !

Les vérités
de la transition
énergétique



**« Non, la catastrophe
n'est pas inéluctable ! »**

Flammarion

MARC FONTECAVE

HALTE AU CATASTROPHISME !

Alors que la transition écologique est plus que jamais au cœur du débat, les pouvoirs publics ont été attaqués en justice pour inaction climatique. La question de l'engagement de la France dans cette transition mérite d'être posée scientifiquement.

La lutte contre le réchauffement climatique doit être envisagée autrement que comme cette brusque révolution que certains appellent de leurs vœux, tant elle s'appuie sur le temps long de la science. Contre les collapsologues et la désinformation catastrophiste, Marc Fontecave n'esquive pas la polémique et nous démontre, preuves à l'appui, qu'elle est bel et bien lancée : sa présentation exhaustive de l'état de nos connaissances dans tous les domaines de la transition énergétique, pilier de la transition écologique, fait apparaître que le « monde d'après » est en germe dans les innovations du « monde d'avant » et que l'effondrement est tout sauf inéluctable.

Source d'un optimisme raisonné, ce livre nous offre la possibilité d'imaginer une planète enfin respectée par des sociétés humaines durablement organisées.

Marc Fontecave est membre de l'Académie des Sciences depuis 2005 et titulaire de la chaire de Chimie des processus biologiques au Collège de France depuis 2008.

Flammarion

Halte au catastrophisme !

Marc Fontecave

Halte au catastrophisme !

Les vérités
de la transition énergétique

Flammarion

978-2-0802-0865-1
© Flammarion, 2020.

Avant-propos

Ce livre est né d'une double nécessité. Tout d'abord, au moment où mes confrères de l'Académie des sciences me faisaient l'honneur de me confier la responsabilité du Comité de prospective en énergie, il m'est apparu utile de proposer une vision globale, cohérente, des enjeux, des problèmes et des réalités de la transition énergétique. Le sujet est tellement complexe que nous l'abordons en général par petites tranches, souvent indépendamment les unes des autres : stockage d'énergie, nucléaire, biocarburants, énergies intermittentes, mobilité électrique, rénovation des bâtiments, etc. C'est ce que nous faisons à l'Académie des sciences au sein de ce Comité auquel j'ai participé au cours des dix dernières années, une formidable expérience de formation et de confrontation de points de vue entre académiciens, mais aussi avec un très grand nombre d'experts venant de différentes disciplines, régulièrement invités lors des réunions.

Ce travail a produit un certain nombre de rapports denses et utiles pour la société. C'est ce que nous faisons également, par la recherche, hyper-spécialisée par essence, que je mène dans mon laboratoire au Collège de France, avec des étudiants et des collaborateurs formidables. Je ne peux aborder, certes de façon approfondie, qu'un nombre évidemment limité de questions – l'hydrogène et l'électrolyse de l'eau, le CO₂ et sa valorisation, le stockage des énergies intermittentes, la photosynthèse artificielle –, afin de mieux comprendre certains aspects fondamentaux de ces questions et de proposer des innovations dans certaines technologies de l'énergie. Le champ, certes, s'élargit davantage dans les cours que je donne tous les ans au Collège de France, alimentés par les vingt dernières années d'une recherche essentiellement centrée sur l'énergie, et qui sont accessibles à tous, en particulier à travers le site Web de l'institution. Malgré la grande diversité des sujets liés à la transition énergétique que j'ai pu y aborder et la grande spécialisation avec laquelle j'ai pu les traiter, j'ai eu la tentation de penser que j'avais une certaine légitimité à mener le travail de synthèse présenté ici.

J'ai également ressenti, profondément, le besoin d'exprimer une autre voix que celle, aujourd'hui idéologiquement dominante et monopolisant les publications, les émissions de télévision et les tribunes des journaux, qui martèle, sans nuances et sans

fondements, les prévisions de fin du monde et d'apocalypse, de disparition de l'humanité et de la biodiversité. Ces oiseaux, si j'ose dire, de mauvais augure doivent certainement penser que la peur est l'unique moyen d'atteindre leurs fins, pas seulement une révolution énergétique et écologique, mais aussi le renversement du capitalisme et de la mondialisation.

Ce livre fournit donc une double opportunité. D'une part, celle d'exprimer un mouvement d'humeur contre cette idéologie catastrophiste, technophobe, moraliste et n'offrant d'autre perspective que la décroissance et finalement la misère, et, d'autre part, celle d'exprimer la voix de l'optimisme. Optimisme quant à la capacité de l'homme à chercher et trouver les meilleures solutions pour lui-même mais aussi pour son environnement. Confiance également dans les potentialités de la recherche et de l'innovation, de la science, de la technologie et de l'industrie, au fond de la connaissance, pour fournir les outils nécessaires à ce développement. Cette voix, j'ose penser qu'elle est en réalité audible et partagée par une large majorité, silencieuse pour le moment mais qui saura demain construire, sans peur et avec ambition, ce projet difficile de la transition énergétique dont je dis, contrairement au discours dominant, qu'elle est déjà entamée.

I

La maladie infantile de l'écologie :
le catastrophisme

*Le mensonge et la crédulité
s'accouplent et engendrent l'opinion.*

Paul Valéry

La planète a vécu un réchauffement climatique très rapide au cours des cinquante dernières années et les activités humaines semblent en être les principaux responsables. En se multipliant (1 milliard d'humains sur la Terre au début du XIX^e siècle, aujourd'hui 7,5 milliards et 10 milliards en 2050) et en consommant toujours plus d'énergie (aujourd'hui 17 TW¹ de puissance, demain, en 2050, probablement plus d'une trentaine de TW) pour se loger, se nourrir, se chauffer, voyager, éduquer ses enfants,

1. La puissance P, mesurée en watts, ou W, donne l'énergie consommée ou produite par seconde. Pour obtenir l'énergie E il suffit de multiplier la puissance par le temps d'utilisation t : $E = P \times t$. Cette énergie peut être exprimée en watts-heures (Wh) ou en joules (1 Wh = 3,6 kJ). MW : millions de watts (M signifie million, ou 10⁶) ; GW : milliards de watts (G signifie giga, ou 10⁹) ; TW : mille milliards de watts (T signifie tera, ou 10¹²). Pour spécifier une puissance électrique on utilise l'unité sous la forme We.

l'homme émet de plus en plus de dioxyde de carbone, le CO₂, qui s'accumule durablement dans l'atmosphère. Le CO₂ provient pour l'essentiel de la combustion des énergies fossiles – gaz, pétrole et charbon –, qui constituent plus de 80 % des sources d'énergie consommées par l'humanité. Même en très faible quantité (407 ppm¹ soit 0,04 % des gaz présents dans l'atmosphère), ce gaz a des propriétés puissantes d'effet de serre et retient donc la chaleur à la surface de la Terre de façon suffisamment efficace pour induire une augmentation de température. Ces ressources carbonées sont dites fossiles parce qu'elles sont des restes, des déchets du monde animal et végétal, matières organiques accumulées dans le sol après plusieurs millions d'années de transformation. Depuis près de deux siècles, l'humanité les remonte à la surface et les brûle. Parce qu'elles sont abondantes, stables, très riches en énergie – une énergie facile à récupérer et à utiliser –, elles sont à l'origine du formidable progrès technique, économique et social qu'a vécu l'humanité depuis la fin du XIX^e siècle, progrès sans équivalent dans son histoire. Par leur capacité à faire tourner des machines qui font tout à notre place, elles ont été un facteur de libération extraordinaire. Nous leur devons tant. Mais aujourd'hui, leurs inconvénients (émissions de gaz

1. ppm pour parties par million.

à effet de serre et réchauffement du climat, pollutions diverses, etc.), longtemps jugés à juste titre secondaires en comparaison de leurs avantages, sont perçus comme autant de menaces suffisamment sérieuses pour que l'humanité ait décidé de s'engager dans une révolution énergétique.

Celle-ci, pour l'essentiel, a comme objectif leur disparition, progressive mais rapide, de notre mix énergétique. Il y a une autre raison qui nous invite à mener cette révolution : ces ressources fossiles ne sont ni infinies, ni éternelles¹. En incluant toutes les productions et en considérant l'état actuel des découvertes de nouveaux gisements de pétrole, nous pourrions être entre 2020 et 2025 déjà au sommet du pic de production de pétrole (une centaine de milliards de barils par jour) et celle-ci devrait ensuite inexorablement décroître. Pour combien de temps encore ? Cent ans ? Cent cinquante ans ? Ce sera sans doute le grand maximum. La prévision est risquée et nombreux sont les oracles qui se sont trompés dans le passé sur ce sujet. La situation est différente pour les autres ressources fossiles, même s'il existe également de fortes incertitudes sur les réserves totales. Le gaz est très abondant, notamment avec l'exploitation des gaz non conventionnels, et pourrait être consommé pendant plusieurs centaines d'années.

1. <https://jancovici.com/category/transition-energetique>

Malheureusement le gaz est de moins en moins disponible en Europe (la production de la mer du Nord, qui assure actuellement 60 % de l'approvisionnement européen, a passé son pic au début des années 2000). Quant au pic du charbon, il ne sera pas atteint avant cinquante ou cent ans et, si son extraction était totale, nous en aurions pour plusieurs siècles. Toutes ces données doivent être à nouveau prises avec précaution. En effet, il existe des gisements insoupçonnés représentant peut-être plusieurs centaines de fois les ressources dites conventionnelles, dans ce qu'on appelle les roches mères, que l'on trouve dans le sol à plusieurs kilomètres de profondeur. Elles sont dites mères car c'est à partir d'elles que se sont formés, par remontées lentes et continues, les gisements conventionnels. Ce pétrole et ce gaz – dits non conventionnels par opposition –, pétrole et gaz de schiste, sont certes beaucoup plus difficiles à récupérer, leur extraction est plus coûteuse, mais les technologies d'extraction, la fracturation hydraulique, sont matures. Ils ont déjà bouleversé l'économie de l'énergie mondiale. Certains pays, les États-Unis en tête, en produisent massivement. Ceci a eu un effet positif sur les émissions de CO₂ des États-Unis, où le gaz a rapidement remplacé le charbon. À l'inverse, la France et de nombreux autres pays européens se sont interdit d'explorer leur propre sol et d'évaluer leurs ressources, essentiellement

dans une logique d'arrêt progressif de notre dépendance aux hydrocarbures. On peut le regretter, dans un contexte où nous allons de toute façon continuer encore longtemps à utiliser des ressources carbonées. Il n'aurait pas été stupide de produire éventuellement les nôtres plutôt que de les importer. En tout état de cause, la fin des hydrocarbures fossiles devra probablement être un effet de notre ardente volonté de ne plus les utiliser et non de leur épuisement. En aurons-nous le courage et la possibilité ?

Quoi qu'il en soit, il faut donc décarboner l'énergie, puisque cela conduira à une diminution des émissions de gaz à effet de serre, voilà la grande mission que s'est fixée l'homme pour le siècle à venir. Rectifions d'emblée cette stupidité, entendue assez régulièrement sur les plateaux de télévision, sur les estrades des meetings politiques ou dans les manifestations pour le climat : « Il faut décarboner la planète ! » Non, ce n'est pas la planète qu'il faut décarboner, c'est bien l'énergie.

La dénonciation pure et simple du CO_2 a en effet un double inconvénient. Le premier est qu'elle le réduit à son seul effet de serre, alors qu'il est d'abord le médiateur chimique central de la relation entre l'homme et la nature, produit par la respiration du premier et substrat de la photosynthèse naturelle mise en œuvre tous les jours par la seconde, plus spécifiquement par l'activité

des organismes vivants dits photosynthétiques – plantes, micro-algues et cyanobactéries. Le CO_2 est donc cette molécule absolument essentielle au cycle biologique respiration/photosynthèse fondamental dont dépend la vie sur Terre.

La photosynthèse est ce mécanisme prodigieux qui permet aux organismes photosynthétiques de faire réagir le CO_2 avec de l'eau pour produire toutes les molécules carbonées – sucres, acides aminés, protéines –, contenues dans la biomasse¹ qui nous entoure, et d'utiliser la seule énergie solaire pour rendre cette réaction possible. La transformation naturelle du CO_2 est en effet sous une contrainte thermodynamique incontournable : elle a besoin d'énergie. Ce faisant, ce mécanisme conduit à stocker l'énergie solaire sous une autre forme d'énergie, dite chimique, puisque concentrée dans les liaisons chimiques des composés carbonés formés, plus facile d'utilisation. Ces molécules carbonées, riches de l'énergie solaire qu'elles ont incorporée et contenant du carbone exclusivement issu du CO_2 atmosphérique, constituent les « carburants biologiques » permettant, d'un côté, la vie cellulaire, et fournissant, de l'autre, l'énergie nécessaire aux hommes et animaux, qui s'en nourrissent.

1. La biomasse désignera ici toute la matière organique d'origine végétale, animale, bactérienne et fongique présente dans la nature.

Tout est carboné sur la planète, à commencer par la vie donc : humains, animaux, plantes, dépendent tous du CO_2 et des molécules qui en dérivent. Il faut ici rappeler cette chose fondamentale : si la vie a été possible, d'ailleurs très tôt dans l'histoire de la Terre, il y a plusieurs milliards d'années avec la naissance des premiers organismes cellulaires, c'est grâce à ce qui constituait la seule source de carbone disponible, à savoir le CO_2 , massivement présent dans l'atmosphère, lui-même dérivé du carbone né dans les étoiles. C'est à partir du CO_2 que se sont construites les premières briques moléculaires du vivant d'abord, les premiers acides aminés, les premiers sucres, les premières bases nucléiques, puis dans un second temps les acides nucléiques (ADN et ARN, les molécules de l'information génétique), les lipides (nécessaires à la compartimentation cellulaire), les protéines et les enzymes (les acteurs de la transformation de la matière biologique). C'est ce qui fait que la seule vie possible est organique, carbonée donc. Ce lien naturel entre CO_2 et photosynthèse explique pourquoi la planète verdit : si la concentration de CO_2 augmente dans l'atmosphère, la photosynthèse fonctionne plus efficacement et la production de la biomasse est plus importante. Grâce au suivi par satellite de l'évolution de la végétation, il est maintenant bien établi que la végétation sur la

planète a globalement augmenté de 6 à 10 % au cours des trente-cinq dernières années¹.

Le deuxième inconvénient de la dénonciation globale du CO₂ est qu'elle s'élargit, dans l'inconscient collectif, au carbone en général, justifiant des politiques qui se donnent comme objectif absurde une élimination radicale du carbone. Ces politiques oublient que celui-ci a bouleversé les civilisations et l'histoire, qu'il est, depuis le début de l'humanité, et encore plus depuis la révolution industrielle, un partenaire essentiel de l'homme, contribuant, on l'a dit, à sa libération vis-à-vis de l'espace et du temps. Elles oublient qu'il est omniprésent dans son environnement le plus quotidien, sous la forme d'une infinité d'usages pour son habitation (bois), sa mobilité (plastiques et carburants), ses habits (polymères, colorants), sa santé (médicaments), pour une grande part assurés par la chimie dite organique de transformation des ressources carbonées fossiles développées dans l'industrie chimique. Le carbone est irremplaçable pour de nombreux usages. Évitions donc de nous laisser aller à son sujet à des formules toutes faites et inexactes auxquelles on nous invite le plus souvent. Deux philosophes des sciences, Bernadette Bensaude-Vincent et Sacha Loeve, ont fait cet

1. *Nature Reviews, Earth and Environment* 2020, vol. 1, p. 15 ; *Nature Climate Change* 2016, vol. 6, p. 791.

effort de pédagogie dans un ouvrage récent qui s'intitule tout simplement *Carbone*. Il est intéressant de noter que ce titre est le même que celui d'un chapitre, le tout dernier, du merveilleux livre de Primo Levi, *Le Système périodique*, qui nous parle de la photosynthèse et du dioxyde de carbone avec une infinie tendresse. Citons juste ce passage qui nous rappelle notre lien indéfectible, donc éternel, avec le CO₂ : « L'anhydride carbonique – le dioxyde de carbone –, qui constitue la matière première de la vie, la provision permanente dans quoi puise tout ce qui croît, et l'ultime destin de toute chair, n'est pas un des composants principaux de l'air, mais un ridicule déchet, une impureté. C'est de cette impureté toujours renouvelée que nous venons, nous les animaux et nous les plantes et nous l'espèce humaine. » En 1975, date de la publication de ce livre, Primo Levi évoquait la possibilité de résoudre la question de la faim dans le monde en développant des technologies de photosynthèse artificielle ; il ne pouvait conclure, comme on le ferait aujourd'hui, que si l'homme savait en faire autant, il résoudrait le problème du stockage chimique de l'énergie solaire, l'un des nœuds du développement de cette énergie, renouvelable certes, mais malheureusement intermittente.

La planète et les sociétés humaines sont donc carbonées et ne seront jamais décarbonées, comme

beaucoup semblent vouloir le croire, ou le faire croire. De fait, lorsque nous nous serons débarrassés des ressources fossiles, soit parce que nous les aurons toutes consommées – ce qu’il vaudrait mieux éviter –, soit parce que nous aurons pris la décision de les laisser au fond de la Terre – ce qui sera difficile –, il faudra non seulement trouver d’autres sources d’énergie, probablement les fameuses énergies renouvelables – soleil, vent, biomasse, sources géothermiques et énergie hydro-électrique –, mais, avec la même importance, trouver également d’autres sources de carbone, et ce ne sont ni le vent ni le soleil qui fourniront ce carbone. Nous n’aurons pas beaucoup de choix.

La première solution résidera dans l’exploitation de la biomasse et de toutes les molécules carbonées qu’elle contient, y compris pour faire des biocarburants. Une autre solution réside dans l’utilisation du CO_2 , si nous parvenons à accomplir ce fabuleux rêve de Primo Levi, à savoir la reproduction dans un laboratoire, puis dans des usines, à grande échelle, du processus de la photosynthèse – une photosynthèse qu’on appellerait artificielle –, pour transformer le CO_2 en molécules carbonées utiles pour l’industrie. On brûlerait alors celles-ci sans mauvaise conscience puisque le CO_2 inévitablement émis au cours de cette combustion serait constamment recyclé. C’est le rêve de ce cycle vertueux qui m’obsède personnellement et mobilise

des dizaines de jeunes chercheurs dans mon laboratoire, ce rêve que nous partageons avec des milliers d'autres chercheurs dans de nombreux laboratoires de recherche dans le monde. Nous en reparlerons.

Le lien direct entre augmentation de la concentration du CO₂ anthropique, c'est-à-dire issu des activités humaines, dans l'atmosphère et réchauffement climatique a été établi scientifiquement et constitue aujourd'hui la base des politiques climatiques de la plupart des gouvernements de la planète. Pour certains, un tel lien peut, à juste titre, paraître un peu trop simpliste, dans la mesure où il attribue à la seule molécule de CO₂, l'une des plus petites de l'univers, présente en concentration ridiculement faible dans l'atmosphère – aujourd'hui 407 ppm, je l'ai dit –, l'augmentation rapide de la température de la planète, alors que cette température résulte, par ailleurs, d'interactions d'une très grande subtilité entre des systèmes aussi complexes que le Soleil, la Terre, l'atmosphère et les océans, systèmes que nous modélisons certes de mieux en mieux mais de façon encore incomplète. Il n'y a pas si longtemps que nous avons pris conscience de ce changement climatique et que les scientifiques essaient d'en comprendre les causes et les mécanismes. Mais, en dépit de ces limites de la connaissance qui sont néanmoins constamment repoussées par la recherche, les travaux du GIEC