

Séance du 10 juin 2024

Énergie et réchauffement climatique

Pierre LOUIS

Académie des Sciences et Lettres de Montpellier

MOTS CLÉS

Jean-Marc Jancovici, énergie, réchauffement climatique, accord de Paris, fin du pétrole, décroissance.

RÉSUMÉ

Les arguments de Jean-Marc Jancovici, estimant que la décroissance de l'économie est inévitable dans les prochaines années et que seule l'énergie nucléaire peut permettre d'en diminuer l'ampleur, sont examinés. Un avenir moins pessimiste semble plus probable mais au prix d'un retard dans l'obtention de la neutralité carbone souhaitée par le G.I.E.C en 2050. Il apparaît en tout cas que le problème limitant ne sera pas la fin des énergies fossiles.

L'idée de cet exposé m'est venue en lisant sur internet le cours que Jean-Marc Jancovici donne à l'École des Mines de Paris sur ce sujet. Dans ce cours, il développe tout d'abord la constatation qu'il existe un lien très étroit entre le PIB et la consommation d'énergie. Il en déduit qu'inéluctablement l'humanité est condamnée à la décroissance pour deux raisons. La première serait que le réchauffement climatique oblige impérativement à remplacer les énergies fossiles par des énergies non carbonées à niveau au moins égal, ce qui lui semble tout à fait impossible. La seconde que l'épuisement des énergies fossiles, en particulier du pétrole, est une réalité qui va se concrétiser, dit-il, dans les toutes prochaines années. Il en conclut que la quantité d'énergie disponible va diminuer et par suite que le PIB mondial va baisser. Il faut donc dès maintenant organiser la décroissance si nous ne voulons pas la voir s'imposer à nous dans les pires conditions. Deux ans après la mise dans le domaine public de ce cours, Jean-Marc Jancovici dans une bande dessinée « Le Monde sans fin » prend une position moins tranchée. Il développe l'idée que l'énergie nucléaire est susceptible de jouer un rôle important dans la mise en place d'une énergie décarbonée et pourrait jouer le rôle d'amortisseur tout en maintenant la perspective d'une décroissance inéluctable. Cette vision a entraîné de fortes réactions car nombreux sont ceux qui s'opposent à une trop large utilisation du nucléaire qui est bien sûr une énergie décarbonée mais pas vraiment renouvelable et qui présente d'autres inconvénients. Devant la conclusion de ce cours et de cette bande dessinée j'ai eu l'envie d'examiner d'un peu plus près l'argumentation pour voir si le pessimisme qui s'en dégage est vraiment justifié. L'exposé d'aujourd'hui est le résultat de cette réflexion et des recherches qui l'ont accompagné.

Le plan adopté est le suivant :

1. Relation entre consommation d'énergie et produit intérieur brut.

2. Les contraintes sur l'énergie à la lumière de l'Accord de Paris.
3. Point sur les réserves prouvées des énergies fossiles.
4. Conclusions.

Le point 1 sera essentiellement la reprise de l'argumentation très convaincante du cours de Jean-Marc Jancovici, avec son accord d'ailleurs. Ce sera dans les points suivants que nous divergerons. J'essaierai de présenter le plus honnêtement possible les diverses données actuellement disponibles et d'en tirer des conclusions.

1. Relation entre consommation d'énergie et produit intérieur brut (PIB)

1.1. Qu'appelle-t-on énergie ?

L'énergie est une grandeur physique qui permet de quantifier un changement d'état dans un système. Par exemple une modification de la température ou de la vitesse. On peut dire que compter la variation d'énergie, c'est d'une certaine façon compter la transformation du monde. Il faut toutefois préciser que certaines transformations peuvent se faire sans variation de l'énergie du système. Mais nous ne discuterons pas cette question ici et nous admettons, tout comme Jean-Marc Jancovici, l'approche précédente globalement valable.

1.2. Loi de conservation de l'énergie

Si un système est isolé, sa quantité d'énergie est fixe. Par exemple, si un homme veut plus d'énergie que ce que son corps peut lui donner, il est contraint de l'extraire de son environnement.

1.3. Énergies utilisées par l'homme

Le plus simple était d'utiliser d'abord son alimentation pour constituer sa propre énergie. Ensuite l'humanité a utilisé l'esclavage, a domestiqué les animaux (le cheval, le bœuf...) puis a utilisé les énergies renouvelables avec le moulin à vent, le moulin à eau. Enfin, au XIX^e siècle est apparue l'ère des énergies fossiles, le charbon d'abord puis le pétrole et le gaz, avec la mise au point des convertisseurs nécessaires : machine à vapeur, moteur à combustion interne. Cette révolution industrielle a permis d'aboutir à l'époque actuelle avec 8 milliards d'habitants sur terre qui tant bien que mal arrivent à y survivre dont une grande partie avec un niveau de vie sans commune mesure avec les conditions du passé (gain d'espérance de vie, durée du travail diminuée, déplacements facilités, communication techniquement possible avec le monde entier...). Or, au début de la révolution industrielle, vers 1800, la population atteignait à peine le milliard. Le chemin parcouru en deux siècles est absolument étonnant et tout ceci repose sur l'exploitation des énergies fossiles comme nous allons le voir maintenant.

En fait on consomme les énergies fossiles par l'intermédiaire des machines diverses que l'homme a mises au point (camions, tracteurs, grues, laminoirs, usines...). Comme on consomme de plus en plus d'énergie, cela signifie que l'on utilise de plus en plus de machines. Actuellement, la consommation moyenne par terrien est de 22 000 kWh par an. Le kWh est une unité qui permet de mesurer l'énergie. Pour donner des ordres de grandeur, il faut savoir qu'un travailleur de force ne peut fournir qu'entre 10 et 100 kWh par an, tandis qu'un litre d'essence, si on le brûle, fournit 10 kWh d'énergie thermique et, si on le fait passer dans un moteur, on obtient 3 à 4 kWh d'énergie mécanique. Un petit calcul montre donc que, dans un litre d'essence, il y a la même capacité à transformer l'environnement que dans 10 à 100 jours de travail de force d'un être

humain. On peut calculer aussi simplement que l'ensemble des machines utilisées par l'humanité conduit à admettre qu'elles mettent à notre disposition une force de travail au moins équivalente à celle de 200 travailleurs de force pour chaque terrien. Dans un pays comme la France, c'est plutôt un équivalent de l'ordre de 600 par habitant, compte tenu de notre consommation d'énergie. Une autre façon de présenter ce résultat consiste à dire que, si l'on supprimait d'un coup toutes les machines, le PIB mondial serait divisé par au moins 200. Ce sont donc les machines qui produisent le PIB en fait les hommes ne font que surveiller les machines.

1.4. Quelques caractéristiques des énergies fossiles

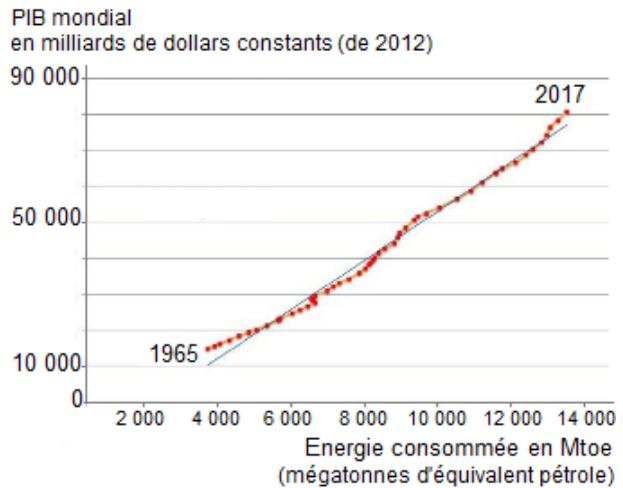
Elles sont incroyablement peu chères par rapport au gain de productivité qu'elles apportent. Nous venons de voir qu'un simple litre d'essence fournit la même énergie qu'un individu travaillant dur pendant un tiers d'année. Tout cela en 2024 pour environ 2 euros seulement. Et l'on pourrait multiplier les exemples. À l'échelle mondiale, l'achat de l'énergie représente moins de 5 % du PIB, or actuellement 80 % de l'énergie utilisée est d'origine fossile (charbon, pétrole, gaz ou leur dérivée l'électricité). C'est donc objectivement très peu lorsque l'on réalise que c'est précisément cette énergie qui nous donne notre puissance sur le monde et qui a totalement transformé la vie de l'humanité. On constate que le fait de passer à la puissance de travail des machines a divisé le coût du travail par plusieurs centaines.

Pour bien montrer la révolution qu'ont représentée les machines dans l'économie, je donnerai deux exemples.

– D'une part la réflexion d'un économiste français, Charles Dupin (1784-1873) qui compare les forces productives françaises et anglaises au début du XIX^e siècle. Il établit des règles d'équivalence entre le travail des hommes, des animaux et des machines. Il en déduit la raison vraisemblable pour laquelle la Grande-Bretagne, avec une population presque trois fois inférieure à celle de la France, a une production trois fois supérieure : la Grande-Bretagne a 13 fois plus de machines à vapeur que la France.

Figure 1 : Évolution de l'économie mondiale en fonction de la croissance de la consommation d'énergie.

(JM Jancovici, École des Mines, Paris 2019)



– Le deuxième exemple sera celui de l'économie mondiale. Jean-Marc Jancovici fournit une courbe qui représente la croissance de l'économie mondiale en fonction de l'augmentation de la consommation d'énergie entre 1965 et 2017 (Fig. 1). Cette courbe, sensiblement une droite, montre une croissance régulière. Il y a donc une corrélation

linéaire entre ces deux variables. Il a étudié avec soin cette corrélation et a constaté qu'en particulier la variation de consommation de pétrole se situe légèrement en avance de phase par rapport à la variation du PIB. Ceci invalide l'idée qu'il y aurait une croissance qui vient naturellement et que l'on consomme du pétrole parce que l'on en a les moyens. En réalité, c'est l'inverse, comme on a les moyens de faire fonctionner les machines, on produit et on crée donc du PIB. Il a ainsi établi une causalité. L'extension de la relation de causalité linéaire dans le temps et son application à des pays développés pris en particulier sont contestées par certains énergéticiens qui soulignent que la quantité d'énergie nécessaire pour produire une unité de PIB par habitant diminue lorsque l'économie d'un pays se tertiarise.

Mais si, comme nous venons de le voir, les énergies fossiles ont permis une véritable révolution dans le développement de l'humanité, elles présentent par contre un inconvénient majeur auquel nous sommes très sensibles actuellement. Elles produisent toutes du CO₂. Or, les accords internationaux, en particulier l'Accord de Paris sur lequel nous allons revenir, demande à l'ensemble des nations de diminuer drastiquement leur production de CO₂ afin de réduire le réchauffement climatique.

Se pose également un deuxième problème, celui des réserves disponibles de ces ressources énergétiques fossiles. Comment se présente l'avenir sur ce plan ? Ce sont ces deux problèmes que nous allons aborder maintenant.

2. Les contraintes sur l'énergie à la lumière de l'Accord de Paris

2.1. L'Accord de Paris 2015

Nous ne discuterons pas ici des conclusions des rapports du GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) sur lesquels s'appuie l'Accord de Paris sur le climat. Cet accord fixe un objectif pour la fin du siècle en matière de température. Il prévoit de maintenir l'augmentation de la température moyenne du globe bien en-dessous de 2° C par rapport au niveau préindustriel et de préférence de limiter l'augmentation à 1° 5. Pour cela il indique que les émissions des gaz à effet de serre et en particulier du CO₂ devraient être réduites au plus vite et permettre d'atteindre la neutralité carbone en 2050. La neutralité carbone est définie par le GIEC comme étant le bilan entre la quantité de CO₂ émise et la quantité de CO₂ captée. En vertu de l'accord, chaque pays doit déterminer et planifier sa contribution. Il n'y a pas de contrainte extérieure. Mais le GIEC, dans son rapport de 2023, durcit sa demande en souhaitant une réduction des émissions de CO₂ de 50 % dès 2030 par rapport aux émissions de 2019.

2.2. Conséquences de l'Accord de Paris

La réduction des émissions de CO₂ nécessite évidemment le remplacement progressif des énergies fossiles par des énergies décarbonées... Cette catégorie, qui n'émet pas de CO₂ lors de la production d'énergie, recouvre le solaire photovoltaïque, l'éolien, l'hydraulique, l'hydrogène vert (ne provenant pas du pétrole), la biomasse, la géothermie et également le nucléaire qui est effectivement décarboné mais pas renouvelable. L'idée est donc de substituer une énergie dite verte à l'énergie brune mais en quantité au moins équivalente bien sûr si nous ne voulons pas voir décroître le PIB mondial, compte tenu du lien que nous avons montré dans la première partie entre PIB et consommation d'énergie. Avant d'examiner l'état actuel de cette question nous allons fournir un certain nombre de données de base nécessaires pour une meilleure compréhension du sujet.

Tout d'abord, définissons l'empreinte carbone d'une activité humaine : c'est la mesure de la quantité de CO₂ et d'autres gaz à effet de serre émis dans l'atmosphère par cette activité. Elle est exprimée en tonnes de CO₂ équivalent produites en une année. Le GIEC a tenté l'estimation de l'empreinte carbone des grands secteurs de l'activité humaine. Il en déduit le classement suivant dans l'ordre de pollution décroissante à l'échelle mondiale :

- Production d'énergie (électricité, chaleur,...) : 35 %
- Agriculture, élevage : 24 %.
- Industries : 21 %
- Transports : 14 % Construction (y compris ciment, béton...) : 6 %.

Cela nous situe déjà l'importance des efforts à accomplir dans les divers domaines.

Comme l'électricité va jouer un rôle important dans la décarbonation de l'économie, il nous faut, tout d'abord, rappeler qu'une centrale électrique est essentiellement une machine thermique fournissant de la vapeur utilisée pour actionner un alternateur qui donne l'électricité. Or, la quantité de CO₂ fournie en fonction du type d'énergie utilisée est très variable, pour l'obtention d'un kWh il en résultera en moyenne une émission d'un kg de CO₂ avec le charbon, de 400g avec le gaz, de 800g avec le pétrole, de 10g avec le nucléaire, de 20 à 50g avec le photovoltaïque, de moins de 14g avec l'éolien. Ces chiffres sont des valeurs moyennes indicatives. Elles sont intéressantes à connaître quand on sait qu'en 2019, avant la crise du Covid, 36 % de l'électricité mondiale étaient obtenus à partir du charbon, 23 % à partir du gaz, 16 % étaient de l'hydroélectricité. Le restant était fourni par les énergies renouvelables pour 10 % et 10 % également par le nucléaire, le pétrole n'intervenant que pour 3 %. Là encore, on voit immédiatement où les efforts devront porter. Une autre question pour laquelle la réponse n'est pas simple, c'est celle du calcul des émissions d'un pays donné. Le GIEC encadre des inventaires nationaux qui prennent en compte uniquement les rejets directs. Ceci donne le classement suivant en 2019, dans l'ordre, Chine : 11,2 GT, USA : 5,7, U.E. : 3,3, Inde : 2,5. Mais un autre classement est fait à partir de l'empreinte carbone qui prend en compte les émissions liées à la consommation, donc incluant les importations, et il modifie le précédent. Nous obtenons dans l'ordre : U.E. : 20 % de l'empreinte mondiale, USA : 19,8 %, Chine : 19,2 %. Nous voyons en fait où sont les pays qui doivent faire des efforts dans leur consommation.

Ces données étant fournies, passons à l'examen de la situation actuelle concernant la substitution des énergies vertes aux énergies brunes. Cette substitution a démarré lentement mais actuellement, en 2024, la transition énergétique peut sembler sur de bons rails, elle est bien intégrée par les politiques, son urgence est bien prise en compte, en particulier aux USA, en Europe et en Chine. Les objectifs, que ces trois géants économiques se sont donnés, sont très ambitieux mais seront-ils tenus ? L'Europe par exemple s'est donné l'obligation de baisser les émissions de CO₂ de 55 % en 2030 et d'arriver à la neutralité carbone en 2050. En 30 ans, il faut donc complètement changer notre système de production d'énergie. Les USA se sont donné des contraintes comparables depuis l'élection de Jo Biden (Inflation Reduction Act). La Chine, pour sa part, a décidé d'arriver à la neutralité carbone en 2060. Elle fait un effort particulier pour son parc automobile, déjà actuellement 30 % des voitures neuves vendues sont électriques. La Chine va construire 150 réacteurs nucléaires d'ici 2035 et a un plan très ambitieux de développement dans l'éolien et le photovoltaïque. En outre, elle promet de réduire dès 2026 le recours au charbon. Mais on voit le chemin qu'il lui reste à accomplir quand on sait qu'actuellement elle produit 500 g de CO₂ par kWh obtenu avec son mix énergétique, alors qu'en France, on en produit 60 g seulement grâce, bien sûr, au rôle majeur du nucléaire dans notre mix et à l'hydroélectricité.

Plus généralement, l'Agence Internationale de l'Énergie (l'AIE) a publié en 2023 son traditionnel rapport annuel : Bilan et perspectives du marché mondial des énergies renouvelables. Dans un contexte de transition énergétique déjà bien engagée, la nouvelle donne géopolitique, en particulier la guerre en Ukraine, a remis l'indépendance et la sécurité énergétique au cœur des préoccupations, agissant comme un accélérateur pour le développement de nouvelles capacités. L'AIE anticipe désormais un doublement des capacités en énergies renouvelables dans les cinq prochaines années, soit une révision en hausse de 30 % par rapport à sa précédente prévision de 2021. L'année 2022 restera comme un moment-clé pour le développement des énergies renouvelables avec un alignement favorable des déterminants de la transition énergétique : l'urgence à agir face au réchauffement climatique ; une compétitivité-coût désormais moins défavorable par rapport aux énergies fossiles ; et surtout la recherche de l'indépendance et de la sécurité énergétique au cœur des politiques de soutien public. Partant de là, l'AIE estime que la capacité mondiale de production d'énergie renouvelable devrait augmenter de 2 400 GW entre 2022 et 2027. Ainsi, la capacité solaire photovoltaïque mondiale devrait tripler au cours de cette période avec une croissance d'environ 1 500 GW dépassant ainsi le charbon (fig. 2).

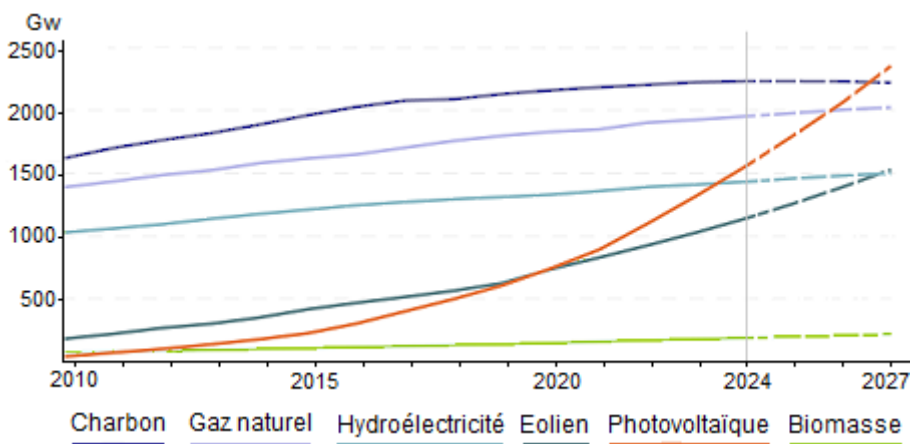


Figure 2 : Évolution des capacités de production d'électricité d'ici 2027 selon le scénario central de l'AIE

La capacité éolienne mondiale devrait doubler au cours de cette même période, les projets offshore représentant un cinquième de la croissance. Plus de 570 GW de nouvelles capacités éoliennes terrestres devraient devenir opérationnelles en 2022-2027. À ce rythme, les énergies renouvelables deviendraient la principale source de production d'électricité dans le monde à partir de 2027, représentant 38 % du total. Dans le même rapport, l'AIE indique qu'en 2023, pour la première fois, les dépenses mondiales pour les énergies renouvelables : 1 750 milliards de dollars sont supérieures aux dépenses pour les énergies fossiles : 1 000 milliards de dollars. En particulier, les dépenses pour le photovoltaïque, 500 milliards, sont supérieures aux sommes investies dans la recherche pétrolière.

On peut dire que le Président Poutine, en sevrant l'Europe du gaz russe, a créé un véritable électrochoc en 2022 par le déclenchement de la guerre en Ukraine et a fait beaucoup pour la transition énergétique. Il a entraîné en Europe la mise en place de programmes considérables de déploiement des énergies renouvelables ainsi que l'accélération de l'électrification du parc automobile, électrification qui est indispensable

pour la décarbonation des transports. Un effort est fait également pour l'utilisation de l'hydrogène vert dans la sidérurgie, dans la chimie des engrais et dans les transports, que ce soit pour les transports routiers de marchandises lourdes sur longues distances (développement d'un axe Europe du nord-Espagne) ou en direction du transport aérien : Airbus envisage la mise en service d'un avion à hydrogène liquide en 2035 à titre expérimental. Cette même année 2035, il a été décidé qu'il ne serait plus possible dans l'Union Européenne de vendre des véhicules thermiques neufs de tourisme, ensuite viendrait la même obligation pour les véhicules utilitaires et ensuite pour les motrices ferroviaires.

Parallèlement à toutes ces décisions, la question du financement de la transition énergétique a bien sûr été abordée. En France, en particulier, le rapport Pisani-Ferry, rédigé à la demande de la Première Ministre et rendu public en juin 2023, a conclu qu'il fallait prévoir 65 milliards par an à cette fin, soit 3 points de PIB et ceci pendant 30 ans dont la moitié à la charge de l'État. En ce qui concerne cette contribution publique, elle pourrait être financée soit par l'impôt soit raisonnablement par la dette. En effet, nous nous retrouvons comme en 1945, époque où il a fallu reconstituer tout un capital détruit par la guerre. Maintenant, il va falloir remplacer le capital brun existant par du capital vert. Ces investissements seront lourds et il faut bien voir que si les investissements dans les énergies fossiles peuvent fournir des rentabilités de l'ordre de 20 %, les rentabilités dans les énergies renouvelables sont inférieures à 8 %. Par contre, en régime de croisière dans 20 ou 30 ans, l'énergie produite sera très bon marché. En effet, le coût de production des énergies renouvelables est faible, quand l'investissement a été fait, y compris l'investissement considérable nécessaire au stockage de ces énergies qui sont pour plusieurs d'entre elles intermittentes. C'est l'exemple des champs d'éoliennes en mer réalisés par l'Allemagne qui posent de gros problèmes de stockage. Il n'est donc pas déraisonnable de laisser des dettes aux générations futures si, en parallèle, nous leur laissons de l'énergie bon marché et un peu moins de réchauffement climatique. Mais il est clair que des mécanismes d'incitation pour attirer l'épargne privée vers les financements nécessaires devront être mis en place dans les pays à économie libérale. Les réflexions dans ce sens sont en cours, des solutions existent. En particulier, la Banque Mondiale et la Banque Européenne d'Investissement pourraient intervenir très largement.

Ce que nous venons de voir intéresse les pays à économie mature dans lesquels la Chine s'est incluse. En revanche, les pays en développement sont loin de faire des efforts équivalents, par manque de moyens bien sûr. Notamment, le continent indien, même s'il oriente une partie de son développement vers des modes de production moins producteurs de CO₂, continue à exploiter très largement le charbon dont il dispose, actuellement plus de 60 % de son énergie en dépend. Il envisage toutefois qu'en 2050, 60 % de son énergie pourrait être d'origine renouvelable. Tout cela ne sera pas sans poser des problèmes entre les sociétés industrielles de nos pays, contraintes de verdir leur mode de production à frais élevés, vis-à-vis de leurs concurrentes gardant encore pour un temps le bénéfice des fonctionnements antérieurs. Les économistes réfléchissent d'ailleurs à des solutions à ce problème, éventuellement par des taxes à l'entrée. Mais par ailleurs, si l'on veut, à l'échelle du monde, optimiser l'efficacité des financements mis en place, il faudrait précisément transférer vers les pays en développement une partie des fonds disponibles dans nos pays. Ils y trouveraient une efficacité bien plus grande. Malheureusement, actuellement, ce transfert est beaucoup trop faible, nos populations ne sont pas prêtes à l'accepter de manière importante.

Liées à cette transition énergétique, se posent de nombreuses questions. Une, essentielle, regarde la production minière des métaux nécessaires à cette transition avec tous les problèmes de pollution indissociables. En effet, ces nouvelles énergies sont très consommatrices de ciment, de béton mais surtout de métaux. Il s'agit des terres rares, du

lithium, du nickel et tout particulièrement du cuivre. Le cuivre, qui est déjà très demandé pour l'électrification des parcs automobiles, fait l'objet d'une autre demande importante. En effet, si le problème de la production d'électricité verte est très sérieusement abordé, la distribution de cette électricité l'est beaucoup moins. Or en électricité verte, les moyens de production sont beaucoup plus diffus, de plus les consommateurs seront également souvent des producteurs, il faut donc que le réseau permette le retour de l'électricité. Pour toutes ces raisons, une étude récente estime que si l'on a actuellement environ 70 millions de kilomètres de câbles dans le monde, il faudrait passer à 150 millions de kilomètres au milieu de ce siècle. Cela va nécessiter un effort d'infrastructures considérable, sinon, comme actuellement aux USA, on assistera à des projets éoliens ou solaires de 2017 qui n'ont été raccordés qu'en 2022 au réseau. Cela entraîne parallèlement des problèmes de formation. Il va y avoir un besoin considérable d'électriciens, dès maintenant aux USA le problème se pose de manière cruciale. Plus généralement toute une série de nouveaux métiers seront nécessaires pour la réalisation et la mise en place de ces nouvelles sources d'énergie. C'est une véritable révolution industrielle qui s'annonce.

Une autre question, qui commence à surgir, provient du fait que nous substituons aux énergies fossiles, qui étaient dans le sous-sol, des énergies renouvelables qui sont en surface et qui, pour certaines, utilisent des surfaces importantes, c'est le cas du photovoltaïque. En effet, la densité surfacique de puissance de l'énergie solaire est faible, environ 300 w/m². En pratique, en puissance maximale, on ne peut récupérer que 750 kw par hectare et, en moyenne annuelle, on est à dix fois moins. Là encore, il y a des solutions mais il y aura des conflits à régler sur l'utilisation des terres et il faudra prendre l'habitude de voir nos toitures recouvertes de panneaux photovoltaïques.

Nous avons vu un ensemble d'éléments qui montrent que l'Accord de Paris donne lieu à des efforts importants. On pourrait donc être optimiste, mais un rapport de novembre 2023 du Programme des Nations Unies pour l'Environnement va dans un sens tout à fait opposé. Il concerne les pays producteurs d'énergie fossile. Il indique que les projets gouvernementaux d'expansion de la production de pétrole, de gaz et de charbon produiraient, en 2030, 110 % de combustibles fossiles de plus que ce qu'il est généralement estimé compatible avec un réchauffement de 1,5° C. Ce rapport concluait par un vœu en espérant que la COP 28 à Dubaï, en décembre 2023, permettrait d'harmoniser les engagements de réduction d'émission de CO₂ avec les projets de production d'énergie fossile. Or, si à Dubaï un compromis qualifié d'historique par son appel inédit à abandonner progressivement les énergies fossiles, reconnues comme principales responsables du réchauffement climatique, a bien été adopté à l'unanimité, il ne s'agit que d'un appel. Aucun engagement ni contrainte n'ont été envisagés par les divers participants. Le texte, issu d'ailleurs de douloureuses négociations, appelle « à abandonner les énergies fossiles dans les systèmes énergétiques, d'une manière juste, ordonnée et équitable, en accélérant l'action dans cette décennie cruciale, afin d'atteindre la neutralité carbone en 2050, conformément aux préconisations scientifiques ». Si, cette résolution, en fixant un objectif à long terme, a permis à la Commissaire européenne chargée du Climat de dire que « pour la première fois nous pourrions maintenant approcher le début de la fin des énergies fossiles », l'absence de calendrier et d'engagements fermes a conduit d'autres participants, en particulier l'alliance des petits États insulaires, à exprimer leurs inquiétudes. Au total, incontestablement, un point positif est apparu à Dubaï avec la fixation de 2050 pour l'obtention de la neutralité carbone. Mais il restera maintenant à voir la manière dont les États prendront cet appel en considération dans les années à venir et en particulier dans quelle mesure les pays pétroliers accepteront de réduire leur production.

Le rapport annuel de l'AIE pour 2024, paru mi-janvier, donne un élément supplémentaire d'espoir. En effet, la Chine, qui produit 80 % des panneaux photovoltaïques dans le monde, a considérablement fait baisser leur prix. Ceux-ci ont baissé de 50 % entre 2022 et 2023. Actuellement, l'installation d'une centrale solaire coûte moins cher que la réalisation d'une centrale à énergie fossile, à condition de ne pas tenir compte des investissements nécessaires au stockage dû à l'intermittence de l'énergie produite. Dans ces conditions, on peut penser qu'il sera plus facile de suivre l'appel de Dubaï mais au prix d'une dépendance complète vis-à-vis de la Chine.

Pour terminer sur cette question de l'Accord de Paris, je voudrais montrer, en reprenant un calcul de Christian Gerondeau (voir en bibliographie), que, même si l'on obtenait la neutralité carbone en 2050, l'effet sur la température ne serait que progressif... En effet, il y a une masse globale de l'ordre de 3 200 milliards de tonnes de CO₂ dans l'atmosphère actuellement : le stock. C'est la quantité qui intervient dans le réchauffement climatique. L'accroissement de la masse de CO₂ dans l'atmosphère, résultant du recours par l'humanité aux énergies fossiles, est estimé annuellement de l'ordre de 16 milliards de tonnes, ce que l'on peut appeler le flux (en réalité il est de 32 milliards mais la moitié est absorbée par les végétaux, les océans). Si l'on conservait les émissions de CO₂ actuelles, en 2050 nous aurions un stock d'environ 3 700 milliards de tonnes, si nous arrivons à une neutralité carbone à cette même date, avec une décroissance linéaire des émissions d'ici là, nous aurions un stock de seulement 3 440 milliards de tonnes, soit une réduction de la masse de CO₂ de 7 % simplement en 2050. Ensuite, bien sûr, le stock restera constant toutes choses restant égales par ailleurs (en particulier sans tenir compte des émissions dues aux grands incendies du type de ceux des forêts canadiennes de l'année 2023 qui auraient produit de l'ordre de 1,3 milliard de tonnes de CO₂) alors que, sans cela, il aurait continué à s'accroître de 16 milliards de tonnes annuellement et, en quelques décades, l'écart sera important. Mais il faut bien voir que l'influence de la neutralité carbone sur le climat n'apparaîtra donc que progressivement. Je voulais attirer l'attention sur ce point que l'on oublie souvent et qui permet d'évaluer également l'impact d'un retard de quelques années dans l'obtention de la neutralité carbone. En effet, chaque année de retard accroîtrait le stock de CO₂ de 16 milliards de tonnes au plus soit, par rapport à un stock total de l'ordre de 3 500 milliards de tonnes, d'environ 1/200. Il s'agit donc que le retard ne soit pas trop important mais un retard de quelques années ne serait pas épouvantable.

3. Point sur les réserves prouvées des énergies fossiles

3.1. Le charbon

Nous allons examiner tout d'abord la question des réserves de charbon. Il n'y a pas de problème pour cette énergie. C'est d'ailleurs admis par tous les spécialistes. Les réserves prouvées dépassent les 1 000 milliards de tonnes, ce qui représente de l'ordre de 130 ans de la consommation mondiale actuelle. La question posée par le charbon, c'est plutôt de savoir quand son exploitation sera arrêtée, compte tenu de son émission importante de CO₂. Les réserves sont situées essentiellement aux USA, en Russie, en Australie, en Chine et en Inde. Comme le charbon est une énergie pondéreuse, elle est peu exportée et n'est guère utilisée que dans les pays producteurs. Ce sont donc ces pays qui devront faire des efforts et c'est un gros problème en particulier pour l'Inde, dont le charbon est la seule énergie facilement disponible sur son sol.

3.2. Le pétrole

Le problème des réserves est tout à fait différent. C'est en effet autour de la fin de ces hydrocarbures liquides que réside l'argumentation de Jean-Marc Jancovici qui pense la décroissance inévitable. Pour lui, l'idée du « peak oil », c'est-à-dire l'idée d'un pic de la production suivi d'un déclin irréversible, est une réalité toute proche sinon dépassée.

Or cette affirmation peut être fortement contestée. L'idée du « peak oil » remonte aux années 1970 et de très nombreuses découvertes de gisements ont été faites depuis. On constate d'ailleurs que la date de ce « peak oil » est constamment retardée. Il apparaît qu'actuellement nous avons trop de pétrole. Si une partie des pays producteurs, regroupés sous le nom d'OPEP+ (c'est-à-dire les pays de l'OPEP plus la Russie) ont diminué leur production en 2023 et 2024, c'est pour empêcher les prix de baisser trop fortement et non par manque de pétrole. D'ailleurs, si l'on regarde les chiffres des réserves prouvées et les chiffres de la consommation mondiale, on peut être rassuré. En effet, les réserves prouvées sont estimées de l'ordre de 1 730 milliards de barils et la consommation mondiale annuelle de 40 milliards de barils. Les réserves actuellement connues assureraient donc une consommation de l'ordre de 40 ans au rythme actuel. Ces données sont obtenues par recoupement et fournies par le rapport : BP Statistical Reviews de 2022. D'autres sources donnent des résultats comparables. En outre, si cela était vraiment nécessaire, il serait possible de faire appel plus largement à des pétroles non conventionnels dont l'extraction pose des problèmes de pollution, tels que les sables bitumineux du Canada. Ceci, après avoir épuisé les réserves considérables de pétrole de schiste du Permien du Texas pour lesquelles il faut un prix du pétrole suffisamment élevé (au moins 90 \$ le baril) et pendant suffisamment longtemps pour justifier leur large exploitation.

Compte tenu des chiffres actuellement disponibles, il semble que la vraie question est plutôt de savoir quand nous atteindrons le pic de la consommation mondiale par suite de la baisse de la demande. Là est le vrai problème. Il faut espérer pour le climat que la sortie du pétrole se fera bien avant que nous en manquions. Un peu de la même manière que l'humanité est sortie de l'âge de pierre, non par manque de cailloux à tailler mais par révolution technique. En bref, on peut dire que, dans les prochaines années, si nous devrions manquer de pétrole, ce serait non pour des raisons géologiques mais pour des raisons politiques comme en 1973. On peut espérer également, même si l'on a le droit d'être sceptique, que, conformément à l'appel de la COP 28, en 2050 nous approcherons de la neutralité carbone et que l'utilisation du pétrole se fera essentiellement pour la pétrochimie et non plus pour l'énergie.

3.3. Le gaz naturel

Les dernières estimations pour le gaz donnent des réserves mondiales prouvées de l'ordre de 190 milliers de milliards de m³ (188 pour BP Statistical Review et 196 pour l'AIE). Ce qui, pour une consommation mondiale annuelle, en 2022, de 4 milliers de milliards de m³, fournit des réserves pour environ 45 à 50 ans au rythme actuel. Il y aurait, en outre, des réserves considérables de gaz de schiste, si bien que personne ne considère la production de gaz comme un facteur limitant au niveau de l'obtention d'énergie.

4. Conclusions

Nous venons de voir que la décroissance entraînée par la fin des énergies fossiles n'est pas à craindre. La vraie difficulté réside dans le fait qu'il faut absolument diminuer drastiquement et rapidement leur consommation, si l'on veut respecter les directives du GIEC qui demande la neutralité carbone en 2050. C'est cette diminution voulue,

organisée, qui va entraîner une diminution du PIB, estiment tous ceux qui pensent la décroissance inéluctable.

Or ces toutes dernières années, le développement des énergies renouvelables dans la production d'électricité est considérable et donne de l'espoir. En particulier, la baisse du coût des centrales électriques réalisées à partir d'énergies vertes facilite leur multiplication. On peut penser raisonnablement, à partir des données actuelles, qu'il sera possible progressivement de décarboner très largement la production d'électricité mondiale. Ceci se fera avec un mix énergétique variable suivant le choix des pays. En France, la production d'électricité est déjà décarbonée à 95 % grâce au nucléaire et à l'hydroélectricité. Dans ce contexte, le boum des voitures électriques, qui pourront donc être alimentées par une énergie décarbonée, donne de l'espoir, surtout lorsque cela se produit dans un pays aussi important que la Chine. Les problèmes essentiels et les plus difficiles qui sont devant nous résident dans la décarbonation des autres secteurs d'activité qui ne peuvent pas être électrifiés. Ce sera une politique difficile de petits pas reposant sur de la recherche, des progrès techniques et des incitations financières. Les résultats déjà obtenus et les efforts en cours, qui devront être accrus, permettent de s'opposer, de la même manière que le faisait Marc Fontecave en 2020 (voir bibliographie), aux oiseaux de malheur prédisant une apocalypse climatique démobilisatrice mais avec encore davantage d'arguments aujourd'hui. On peut même rêver en espérant que les décades à venir permettront de voir aboutir la réalisation de la fusion nucléaire à l'étude dans le projet ITER (voir bibliographie). Fusion nucléaire qui permettrait un pas immense vers la décarbonation de nos économies. Un autre type de recherche en cours, qui pourrait apporter une véritable révolution, serait la maîtrise de la photosynthèse artificielle, en permettant d'utiliser l'énergie solaire pour éliminer une partie du CO₂ produit en en récupérant le carbone.

Bien sûr, des éléments négatifs apparaissent, dans l'immédiat, par exemple les besoins énormes de métaux avec les problèmes qui y sont liés. Mais ces difficultés n'empêchent pas d'aller vers une substitution progressive des énergies brunes par des énergies vertes. En tout cas, rien ne laisse voir une impossibilité. Le danger serait plutôt un frein à ces substitutions provenant des pays pétroliers qui veulent absolument maintenir leur production. Cet antagonisme s'est manifesté à la COP 28, à Dubaï, même si, à la fin, après bien des tractations, un appel a été lancé à la neutralité carbone en 2050 signé par tous. Des problèmes politiques peuvent surgir à tout moment évidemment. L'éventualité d'un retour au pouvoir d'un climato-sceptique tel que Donald Trump aux USA serait un élément qui retarderait cette neutralité carbone mais qui, bien entendu, n'irait pas dans le sens d'une décroissance. La tentation est grande également pour des gouvernements de faire des arbitrages financiers en défaveur de la décarbonation en cas de conflits sociaux comme cela a été le cas en France début 2024. Il faudra des gouvernements qui soient prêts à faire accepter à leurs concitoyens, comme Winston Churchill en 1940 aux Britanniques, « du sang, des larmes et de la sueur » avec tout de même le sang en moins. La lutte contre le réchauffement climatique est une véritable guerre qui va demander des efforts considérables auxquels les populations ne sont pas habituées en temps de paix.

Toutefois il est raisonnable de penser que cette guerre peut être gagnée. Bien sûr, il faut réduire les gaspillages d'énergie en isolant nos habitations, réduire les émissions de gaz à effet de serre, en particulier le méthane, en mangeant moins de viande notamment dans nos pays, accepter bien d'autres contraintes. Mais s'il semble probable que l'avenir prévisible s'oriente vers une situation qui ne sera pas la neutralité carbone en 2050, nous aurons bien avancé dans la bonne direction. Probablement constaterons-nous, en 2100, un accroissement de la température supérieure au 1°5 C. par rapport à

l'ère préindustrielle souhaitée par le GIEC, peut-être même supérieure à 2°5. Il faudra s'adapter aux difficultés climatiques qui en résulteront. Cela nécessitera une réflexion politique qui commence à être conduite mais qu'il est difficile de mener dès maintenant sans donner une impression défaitiste. Toutefois, ce sera probablement là le vrai problème, beaucoup plus que celui de gérer une décroissance qui serait due au manque d'énergie. Manque d'énergie totalement improbable compte tenu des éléments dont nous disposons actuellement et exposés ici.

REMERCIEMENTS

Je remercie Marc Fontecave, Professeur au Collège de France pour la relecture de ce texte et pour ses remarques, ainsi que mon ami Thierry André, Professeur des Écoles, pour la préparation des illustrations de cette publication et de la présentation orale.

BIBLIOGRAPHIE

Les rapports de L'A.I.E. et du G.I.E.C. sont les sources des données quantitatives de cet exposé.

FONTECAVE Marc, *Halte au catastrophisme*, Flammarion, 2020

GERONDEAU Christian, *Les douze mensonges du GIEC*, L'Artilleur, 2022

I.T.E.R. site www.iter.or pour obtenir tous les renseignements sur ce projet.

JANCOVICI Jean-Marc, *Cours à l'École des Mines de Paris : énergie et changement climatique*, mai 2019, disponible sur internet.

JANCOVICI Jean-Marc, BLAIN Christian, *Le Monde sans fin*, Bande dessinée, Dargaud, 2021