

Projet AREN - Corpus de ressources Énergies fossiles et renouvelables.

ControverSciences *et al*

7 Mars 2018

Table des matières

1	Textes à débattre	2
1.1	Jurassic Fuels	2
1.2	"N'investissez plus dans les énergies fossiles" : le cri d'alarme de 80 économistes	3
2	Corpus de ressources	4
2.1	Charbon : le fossile qui a de beaux restes	4
2.2	Énergies fossiles : mortelles subventions	4
2.3	Ensemble, tout devient fossile - 2° avant la fin du monde	4
2.4	L'essentiel sur l'énergie	5
2.5	Sortir de l'âge des fossiles, la bataille du siècle	8
2.6	Énergies renouvelables : l'essor sera lent	11

1 Textes à débattre

1.1 Jurassic Fuels

- **Lien :** <http://www.sciencepresse.qc.ca/blogue/vincent-jase/2017/09/20/jurassic-fuels-carburants-fossiles>
- **Auteur :** Vincent Jase est un Youtuber québécois se dédiant à la communication et à la vulgarisation scientifique.
- **Date :** 20 septembre 2017
- **Source :** L'Agence Science Presse est un média indépendant, à but non lucratif, fondé à Montréal en 1978. Sa mission est d'alimenter les médias en nouvelles scientifiques.

Les carburants fossiles qui comprennent le charbon, le pétrole et le gaz naturel sont la source d'énergie la plus utilisée dans la société moderne. Votre voiture brûle probablement de l'essence et si vous vivez aux États-Unis, c'est le deux tiers de l'électricité qui est produite dans des centrales thermiques fonctionnant aux carburants fossiles (presque moitié-moitié charbon et gaz naturel). Pourtant les impacts environnementaux de ces sources d'énergie sont multiples et sérieux.

La combustion des carburants fossiles est l'un des principaux contributeurs aux changements climatiques, mais l'empreinte écologique de leur utilisation ne se limite pas au CO₂. En effet, leur combustion entraîne la libération dans l'atmosphère de microparticules qui sont responsables de l'augmentation des troubles respiratoires, spécialement chez les populations à risques comme les enfants. Bien que les carburants fossiles soient principalement constitués de chaînes de carbone, leur combustion entraîne également la dispersion de divers autres contaminants comme le soufre, qui contribue au phénomène des pluies acides. L'extraction de la ressource est également à considérer, comme dans le cas des sables bitumineux (pétrole) et de la fracturation hydraulique (gaz naturel) qui sont mis en cause dans la pollution de cours d'eau.

Mais bien entendu, les carburants fossiles n'ont pas que des défauts, sinon leur remplacement aurait été complété il y a longtemps. Leur densité et leur efficacité énergétique sont deux facteurs qui contribuent à les rendre aussi tenaces. Pourtant avec l'émergence de sources d'énergies renouvelables, leurs heures sont comptées.

Afin de mieux comprendre les enjeux entourant le plus grand défi de la prochaine décennie, soit celui de la transition d'une économie basée sur la combustion du carbone vers une économie plus verte basée sur des sources d'énergies renouvelables, il faut poser un regard nuancé et critique sur chaque forme d'énergie qui est à notre disposition. Quels sont exactement les avantages et les inconvénients de l'utilisation des carburants fossiles ? Est-ce que le charbon, le pétrole et le gaz naturel sont aussi polluants les uns que les autres ? Quel avenir pour les carburants fossiles dans un monde plongé dans les changements climatiques ?

1.2 "N'investissez plus dans les énergies fossiles" : le cri d'alarme de 80 économistes

- **Lien :** <https://www.nouvelobs.com/planete/20171207.OBS8908/n-investissez-plus-dans-les-energies-fossiles-le-cri-d-alarme-de-80-economistes.html>
- **Auteur :** Benjamin Aleberteau est journaliste à l'OBS et rédacteur en chef et vice-président de Worldzine.
- **Date :** 7 décembre 2017
- **Source :** Le Nouvel Observateur est un magazine d'actualité hebdomadaire français est classé à gauche, avec une ligne « sociale-démocrate ».

Quatre-vingt économistes réunis contre les énergies fossiles. Dans une déclaration publiée jeudi 7 décembre 2017 par l'ONG 350.org, les économistes d'une vingtaine de nationalités différentes appellent à ne plus investir dans les énergies fossiles.

La fin des énergies fossiles

Les 80 économistes déplorent l'absence dans les débats d'un problème qu'ils jugent primordial : le financement des énergies fossiles. Selon eux, des acteurs continuent à investir "dans de nouveaux projets de production et d'infrastructures charbonnières, gazières et pétrolières", ce qui représente un danger pour la planète. La déclaration, signée notamment par plusieurs Français, à l'image de Cécile Renouard ou Patrick Criqui, et par l'ancien ministre grec Yanis Varoufakis, expose son objectif : "Nous appelons à la fin immédiate de tout investissement dans de nouveaux projets de production et d'infrastructure de combustibles fossiles, et encourageons une hausse significative du financement des énergies renouvelables."

Les signataires constatent que, partout dans le monde, "le changement climatique et les destructions environnementales prennent une ampleur sans précédent". Des actions inédites doivent faire leur apparition, selon leur propos, pour limiter les conséquences néfastes de notre dépendance au pétrole, au charbon et au gaz. Ils rappellent que ces actions doivent être menées "sans délai", afin d'en finir avec "l'exploration et l'expansion des projets fossiles".

Développer les énergies renouvelables

Les études citées par la déclaration montrent que le CO₂ des gisements de combustibles fossiles exploités sur la planète suffit à placer la Terre au-delà du seuil de réchauffement climatique critique. "Il n'y a plus de place pour de nouvelles infrastructures fossiles et il n'y a aucune raison de continuer d'investir dans le secteur", signale le groupe d'experts en économie.

Pour faire entendre leur appel, les économistes se tournent vers les institutions de développement et les investisseurs privés et publics qui doivent, selon eux, se diriger "vers les énergies renouvelables sûres" et "montrer la voie en mettant fin à l'exploitation des combustibles fossiles". La déclaration conclut sur l'idée que le développement des énergies renouvelables est actuellement bloqué par l'hypothèse erronée que portent certains acteurs sur la prétendue "nécessité" des énergies fossiles.

2 Corpus de ressources

2.1 Charbon : le fossile qui a de beaux restes

- **Lien :** <https://www.youtube.com/watch?v=kk0TIhy2D3g>
- **Auteur :** Julien Goetz
- **Date :** 22 nov. 2014
- **Durée :** 3 minutes 37 secondes
- **Description :** Vous pensez que le XIXeme siècle, ce temps lointain de l'invention de la machine à vapeur, était le siècle du charbon ? Perdu. Nous n'avons jamais consommé autant de charbon qu'aujourd'hui et si l'on suit la tendance actuelle, ce n'est pas près de s'arrêter. Certes c'est le combustible fossile le plus polluant mais c'est aussi l'un des moins chers. Bienvenue dans un monde de suie.
- **Source :** DataGueule, chaque épisode de cette émission hebdomadaire produite par france4 tente de révéler et décrypter les mécanismes de la société et leurs aspects méconnus.

2.2 Énergies fossiles : mortelles subventions

- **Lien :** <https://www.youtube.com/watch?v=aUmJ35kMq1Q>
- **Auteur :** Julien Goetz
- **Date :** 8 juillet 2015
- **Durée :** 4 minutes 17 secondes
- **Description :** Alors que nos émissions de CO2 dans l'atmosphère continuent de battre des records et que le changement climatique devient notre compagnon de route, pourquoi est-il si difficile de quitter les énergies fossiles - charbon, pétrole et gaz - pourtant responsables d'une grande partie des dégâts ? Peut-être parce que tout un système de subventions les rends particulièrement attrayantes et peu chères, tout autant pour l'industrie que pour nous, les consommateurs finaux.
- **Source :** DataGueule

2.3 Ensemble, tout devient fossile - 2° avant la fin du monde

- **Lien :** <https://www.youtube.com/watch?v=KAPzxR9VYRI>
- **Auteur :** Julien Goetz
- **Date :** 9 novembre 2015
- **Durée :** 4 minutes 32 secondes
- **Description :** Que s'est-il passé ces deux cent dernières années ? Comment en sommes-nous arrivés à ce paradoxe moderne : une société dont nous chérissons le confort mais dont l'obtention de ce même confort s'est fait au prix de dégâts toujours plus croissants sur les écosystèmes de la planète ? Creusons les rouages de nos sociétés comme nous avons creusé le globe à la recherche d'énergies pour faire tourner notre monde.
- **Source :** DataGueule

2.4 L'essentiel sur l'énergie

- **Lien :** <http://www.cea.fr/comprendre/Pages/energies/essentiel-sur-energies.aspx>
- **Date :** 20 décembre 2017
- **Source :** Le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) est un organisme public de recherche à caractère scientifique, technique et industriel. Le CEA intervient dans quatre domaines : la défense et la sécurité, les énergies nucléaire et renouvelables, la recherche technologique pour l'industrie et la recherche fondamentale.

Nous sommes tous entourés d'énergie : dans notre corps, notre maison, notre environnement... Elle est là, dans notre quotidien, mais qu'est-ce que l'énergie ? Quelles sont les formes de l'énergie ? Ses sources ? Que signifient les expressions "énergies primaires", "énergies secondaires", "énergies renouvelables", "énergies non-renouvelables", "énergies fossiles" ?

I. Qu'est ce que l'énergie ?

Le mot « énergie » vient du Grec Ancien « énergéia », qui signifie « La force en action ». Ce concept scientifique est apparu avec Aristote et a fortement évolué au cours du temps. Aujourd'hui, l'énergie désigne « la capacité à effectuer des transformations ». Par exemple, l'énergie c'est ce qui permet de fournir du travail, de produire un mouvement, de modifier la température ou de changer l'état de la matière. Toute action humaine requiert de l'énergie : le fait de se déplacer, de se chauffer, de fabriquer des objets et même de vivre. L'énergie est partout présente autour de nous : dans la rivière qui fait tourner la roue du moulin, dans le moteur d'une voiture, dans l'eau de la casserole que l'on chauffe, dans la force du vent qui fait tourner les éoliennes... et même dans notre corps humain.

II. Les différentes formes d'énergie

L'énergie peut exister sous plusieurs formes. Parmi les principales :

- L'énergie thermique, qui génère de la chaleur ;
- L'énergie électrique ou électricité, qui fait circuler les particules – électrons - dans les fils électriques ;
- L'énergie mécanique, qui permet de déplacer des objets ;
- L'énergie chimique, qui lie les atomes dans les molécules ;
- L'énergie de rayonnement ou énergie lumineuse, qui génère de la lumière ;
- L'énergie musculaire qui fait bouger les muscles.

II.1 Conservation de l'énergie

L'énergie se conserve. La quantité totale d'énergie dans un système donné ne change pas, on ne peut donc ni la créer, ni la détruire. L'énergie est transmise d'un élément vers un autre, souvent sous une forme différente. Un exemple : quand on chauffe de l'eau, différentes transformations d'énergie ont lieu. En brûlant dans l'air, le bois libère son énergie chimique. Cette énergie se transforme en chaleur, l'énergie thermique, et en lumière, l'énergie de rayonnement. Lors de cette réaction, la quantité d'énergie totale ne change pas, elle change simplement de forme.

Un autre exemple : lorsqu'une voiture fonctionne, l'essence libère son énergie chimique en brûlant dans l'air. Elle chauffe le moteur et pousse les pistons (énergie thermique et énergie mécanique). Les pistons font tourner le moteur et les roues, transfert d'énergie mécanique, et la voiture se déplace (énergie cinétique). Au passage, la courroie fait tourner l'alternateur qui transforme une petite partie de l'énergie mécanique en électricité qui sera stockée dans la batterie.

III. Les sources d'énergie

L'énergie est issue de différentes sources d'énergie qui peuvent être classifiées en deux groupes : les énergies non renouvelables, dont les sources ont des stocks sur Terre limités et les énergies renouvelables qui dépendent d'éléments que la nature renouvelle en permanence.

III.1 Les sources d'énergie non renouvelables

III.1.1 Énergies fossiles

Dans les énergies non renouvelables, on trouve les énergies dites fossiles : ce sont les résidus des matières végétales et organiques accumulés sous terre pendant des centaines de millions d'années. Ces résidus se transforment en hydrocarbure (pétrole, gaz naturel et de schiste, charbon...). Pour pouvoir les exploiter, il faut puiser dans ces ressources qui ne sont pas illimitées, c'est pourquoi les énergies fossiles ne sont pas renouvelables.

III.1.2 Énergie nucléaire

L'énergie nucléaire est « localisée » dans le noyau des atomes. Dans les centrales nucléaires actuelles, on utilise la fission (cassure) des noyaux d'uranium, élément que l'on retrouve sur Terre dans les mines. Les mines d'uranium s'épuiseront un jour tout comme le charbon, le gaz et le pétrole. Au rythme de l'utilisation des ressources actuellement exploitées, on estime les réserves de pétrole à 40 ans, de gaz naturel conventionnel à 60 ans et de charbon à 120 ans. Les réserves d'uranium, combustible de l'énergie nucléaire, à 100 ans avec les réacteurs actuels.

III.2 Les sources d'énergies renouvelables

Le soleil, le vent, l'eau, la biomasse et la géothermie sont des sources qui ne s'épuisent pas et sont renouvelées en permanence. La biomasse et la géothermie sont deux sources d'énergies bien distinctes. La géothermie est l'énergie générée par la chaleur des profondeurs de la Terre et sa radioactivité. Le mot « géothermie » vient du grec « geo » (la terre) et « thermos » (la chaleur). On l'exploite pour chauffer des habitations grâce à des forages légers. La biomasse a, quant à elle, pour source le Soleil dont l'énergie de rayonnement est transformée en énergie chimique par les matières organiques d'origine végétale (bois), animale, bactérienne ou fongique (champignons). Il existe des centrales « biomasse » qui produisent de l'électricité avec la combustion de matières organiques.

Parmi toutes ces sources d'énergie, on distingue les énergies primaires des énergies secondaires.

III.3 Énergie primaire

Une énergie primaire est une énergie brute n'ayant pas subi de transformation, dont la source se trouve à l'état pur dans l'environnement. Le vent, le Soleil, l'eau, la biomasse, la géothermie, le pétrole, le charbon, le gaz ou l'uranium sont des sources d'énergies primaires.

III.4 Énergie secondaire

On appelle « énergie secondaire » une énergie qui est obtenue par la transformation d'une énergie primaire. Par exemple, l'électricité est une énergie secondaire qu'on obtient à partir de plusieurs énergies primaires : l'énergie solaire avec des panneaux, l'énergie nucléaire avec des réacteurs, l'énergie hydraulique avec des barrages ou encore l'énergie du vent avec des éoliennes. Il n'existe pas d'électricité à l'état naturel.

L'essence, le gasoil et les biocarburants sont également des énergies secondaires ; on les obtient par la transformation du pétrole, qui lui, est brut ou de la biomasse. L'hydrogène, qui n'existe pas à l'état pur, est également une énergie chimique secondaire car il faut le produire.

III.4 Énergie et puissance

On mesure l'énergie à l'aide d'une unité particulière nommée le joule. Son nom vient du physicien anglais James Prescott Joule. Un joule représente par exemple l'énergie requise pour éléver une pomme de 100 grammes d'un mètre ou encore l'énergie nécessaire pour éléver la température d'un gramme (un litre) d'air sec de un degré Celsius. Dans le domaine de la nutrition, c'est la kilocalorie qui est utilisée. 1 kilocalorie équivaut à 4,2 kilojoules. Pour évaluer l'énergie utilisée sur une année, on utilise généralement la tonne équivalent pétrole, tep. 1 tep est égale à 41 868 000 000 joules.

La puissance correspond, quant à elle, à la vitesse à laquelle l'énergie est délivrée. Elle se mesure en watt, ce qui correspond à un joule par seconde. Par exemple, si pour faire bouillir un litre d'eau, on utilise d'un côté une flamme d'un gros feu de bois et de l'autre, la flamme d'une bougie : dans les deux cas, la même quantité d'énergie sera utilisée pour faire bouillir l'eau. Seulement, ce sera fait plus rapidement avec un feu qu'avec une bougie. L'énergie est dégagée plus rapidement avec le feu de bois qu'avec la flamme de la bougie. Le feu de bois est donc plus puissant que la flamme de la bougie.

IV. Utilisation des énergies en France et environnement

L'énergie, en France, est surtout utilisée pour le transport, l'habitat (chauffage), l'industrie, le tertiaire et l'agriculture. Bien que la dépendance énergétique de la France se soit réduite depuis 1973 grâce à la construction du parc nucléaire, son mix énergétique dépend encore fortement des énergies fossiles qui couvrent près de 50% de la consommation d'énergie primaire. A eux seuls, le transport et l'habitat représentent en France près de 80% de la consommation finale. Le bâtiment dépend à plus de 50% des combustibles fossiles et le transport à 95% du pétrole. Ces deux secteurs sont à l'origine de plus de 50% des émissions de CO₂, l'un des principaux gaz à effet de serre. Ces émissions impactent directement le climat en contribuant au réchauffement climatique. Face à ce défi climatique majeur, il devient indispensable de disposer de sources d'énergie à la fois compétitives et bas carbone (faiblement émettrices de gaz à effet de serre) et de faire évoluer le mix énergétique de la France.

IV.1 Les défis énergétiques

Toute action humaine requiert de l'énergie. Depuis toujours, l'Homme a cherché à accéder à des sources d'énergie abondantes et peu chères pour satisfaire ses besoins. Mais depuis le début de la révolution industrielle, la société moderne utilise sans compter de l'énergie provenant de sources, qui sont, pour la plupart, non renouvelables. Conséquence, les ressources s'épuisent et la quantité d'émission de gaz à effet de serre dans l'atmosphère, issue de l'exploitation des ressources fossiles, menace le climat. Face à ces réalités, il devient nécessaire de :

- Mieux gérer l'utilisation des énergies en faisant notamment moins de gaspillage.
- Repenser notre mix énergétique en utilisant des sources d'énergie bas carbone tels que le nucléaire et les énergies renouvelables.
- Améliorer les technologies de stockage de l'énergie (batteries, hydrogène).
- Continuer à travailler sur les énergies du futur : nucléaire du futur (fission et fusion nucléaire), solaire, éolien, bioénergies.

2.5 Sortir de l'âge des fossiles, la bataille du siècle

- **Lien :** <https://theconversation.com/sortir-de-lage-des-fossiles-la-bataille-du-siecle-87534>
- **Auteur :** Patrick Criqui est Directeur de recherche émérite au CNRS à l'Université Grenoble Alpes, et Michel Damian est Professeur émérite à l'Université Grenoble Alpes.
- **Date :** 11 décembre 2017
- **Source :** The Conversation France est un média en ligne d'information et d'analyse de l'actualité indépendant, qui publie des articles grand public écrits par les chercheurs et les universitaires.

En 1896 et pour la première fois, un scientifique – le chimiste suédois Svante Arrhenius – estimait qu'un doublement de la teneur de l'atmosphère en CO₂ accroîtrait les températures de l'ordre de 5 °C. Un doublement qui ne devait intervenir selon lui qu'après 3 000 ans. Depuis Arrhenius, les incertitudes sur l'évolution du climat de la planète persistent. Jugez plutôt : entre le premier rapport des experts du GIEC publié en 1990 et le plus récent, paru en 2013, les fourchettes de réchauffement à l'horizon 2100 sont passées de 2-5 °C à 1,5-4,8 °C, en fonction des scénarios d'émission et des incertitudes des modèles ! La réduction de ces incertitudes ne viendra certainement que des manifestations explicites du changement climatique ; ainsi les preuves arriveront toujours trop tard.

La nouvelle donne climatique

Nous sommes face à un cas d'école pour l'application du principe de précaution : pas de preuves, mais des indications scientifiques convergentes et fiables. D'où l'objectif des 2 °C de réchauffement à ne pas dépasser sur le siècle et, depuis la COP21 de Paris fin 2015, celui de se rapprocher de 1,5 °C. Malgré ce contexte incertain, on peut toutefois affirmer qu'un mouvement global se dessine en vue d'affronter la nouvelle donne climatique. Cette « transition » est avant tout énergétique : elle vise à affranchir l'économie mondiale de sa dépendance aux énergies fossiles. Car en brûlant charbon, pétrole et gaz naturel pour leurs activités, les hommes libèrent chaque année, par milliards de tonnes, des gaz à effet de serre qui s'accumulent dans l'atmosphère et perturbent le climat.

Il est bien difficile de prédire la portée de cette transition. Les plus pessimistes diront qu'il est déjà trop tard, pointant le fossé abyssal qui existe entre l'urgence climatique et le temps long des transformations énergies-climat-sociétés. Pourtant, quelle qu'en soit l'issue, cette transition est déjà à l'œuvre. Et elle constitue une bataille, au moins pour tout le siècle, qui vaut la peine d'être menée. Ces politiques « bas carbone » engagées reposent pour l'heure sur la réduction des émissions de gaz à effet de serre en s'appuyant sur deux axes principaux : la maîtrise de la demande d'énergie et le développement d'une offre énergétique décarbonée, grâce en particulier aux énergies renouvelables. Remarquons également que les progrès de la digitalisation pourraient singulièrement accélérer la mise en œuvre de nouveaux systèmes énergétiques plus décentralisés.

Un dernier axe, encore hypothétique et qui doit faire face à de nombreux défis, concerne les « émissions négatives ». Elles sont considérées comme indispensables dans les scénarios les plus ambitieux, ceux qui visent à contenir l'augmentation de la température globale à moins de 2 °C. Par émissions négatives, il faut entendre ici l'ensemble des pratiques (comme la reforestation ou la séquestration du carbone dans les sols) et des techniques (stockage du carbone récupéré ou « géo-ingénierie ») qui permettront de réduire le stock de gaz à effet de serre accumulé dans l'atmosphère depuis la révolution industrielle amorcée au XVIII^e siècle.

Maîtriser la demande d'énergie

Premier axe des politiques bas carbone, donc : la réduction des émissions de gaz à effet de serre par la maîtrise ou la réduction de la demande énergétique. Dans ce domaine, il faut d'abord faire la part des évolutions structurelles de l'économie mondiale sur une longue période : comme l'illustre bien la dynamique chinoise, le développement des industries lourdes, fortement consommatrices en énergies fossiles, n'est qu'une phase dans le processus de développement économique ; la croissance de l'Empire du Milieu reposera dans les prochaines décennies sur la consommation intérieure, les nouvelles technologies et les services. Ce sont ces évolutions structurelles qui expliquent la stabilisation des émissions de gaz à effet de serre dans les pays les plus riches depuis maintenant plus de dix ans et le timide ralentissement, plus récent, de la croissance des émissions dans les pays en développement. Dans cette perspective, l'augmentation des émissions de la Chine en 2017, prévue par le Global Carbon Project, ne doit pas être extrapolée sur le long terme.

Au-delà des évolutions structurelles, il y a aussi les actions volontaires entreprises, d'abord après les chocs pétroliers puis à partir des années 1990. Elles visent explicitement la réduction de la consommation des énergies fossiles. Ces politiques bas carbone au sens strict du terme figurent au cœur de l'Accord de Paris, conclu en décembre 2015. Il y a, enfin, la prise de conscience très récente des effets dévastateurs de la pollution atmosphérique et, en particulier, des émissions de particules très fines. Cette pollution devient un problème majeur dans tous les pays, qu'ils soient émergents ou d'industrialisation ancienne. Selon des estimations récentes parues dans *The Lancet*, la pollution de l'air serait responsable chaque année de quelque 6,5 millions de décès prématurés.

Aujourd'hui, la réduction de ces polluants atmosphériques va de pair avec celle des gaz à effet de serre. Et la baisse de ces émissions – en remplaçant les combustibles traditionnels par des énergies modernes pour la cuisson, en fermant des centrales thermiques au charbon, en réduisant la motorisation diesel ou essence pour l'abandonner un jour – présente des co-bénéfices pour la santé et le climat. Cet aspect explique en bonne partie l'engagement de la Chine et des autres grands pays émergents dans l'Accord de Paris et contribue aussi à l'action de plus en plus déterminée des villes dans la lutte pour réduire ces émissions nocives.

Développer les énergies renouvelables

Second axe de la transition énergétique : le développement des énergies renouvelables (hydraulique, éolien, solaire, biomasse...). Uniques sources d'énergie des sociétés préindustrielles, elles ont été délaissées à l'âge des fossiles dont l'exploitation massive remonte à la première révolution industrielle en Angleterre. Pendant longtemps, l'énergie hydraulique – « inventée » dans les Alpes par Aristide Bergès – constituera une exception, en raison de l'importance et de la facilité d'exploitation de son potentiel. Les autres renouvelables ne réapparaissent dans le paysage énergétique des pays les plus riches qu'au début des années 1970. Aux États-Unis, en juin 1973 – c'est-à-dire quatre mois avant le premier choc pétrolier –, le président Richard Nixon dissout la Commission à l'énergie atomique et la remplace par une agence chargée des énergies non-conventionnelles et renouvelables. À l'époque, l'énergie nucléaire marque déjà outre Atlantique les limites de ses promesses, même si pour un quart de siècle encore, les recherches et financements massifs qui lui seront octroyés limiteront ceux consacrés aux renouvelables.

En France, on se souviendra que le CNRS a lancé, en 1975, un premier programme interdisciplinaire sur l'énergie solaire. En 1977, le congrès de la Société internationale de l'énergie solaire se tient à New Delhi et permet à des scientifiques du monde entier de partager leurs avancées en ce domaine. Après ce premier enthousiasme vient le temps du recul dans les années 1980, et ce en dépit d'un second choc pétrolier. La relance arrivera progressivement, d'abord du côté de l'énergie éolienne avec les succès danois, puis de l'énergie solaire sous l'impulsion de politiques publiques d'incitation actives aux États-Unis, en Europe, puis dans les pays émergents et tout particulièrement en Chine et en Inde.

Partout dans le monde aujourd’hui, le secteur de l’énergie est bousculé par le développement des renouvelables… même si, hors hydro-électricité, elles ne fournissent encore que 3% de l’énergie mondiale et que de nombreux obstacles et inerties doivent encore être vaincus. En 2016, plus d’un milliard de personnes n’ont toujours pas accès à l’électricité et près de trois milliards utilisent pour la cuisson encore exclusivement du bois ou des combustibles très polluants.

Arrêtons-nous un instant sur la place du nucléaire dans la transition énergétique. Si cette énergie n’entraîne en effet pas d’émissions directes de gaz à effet de serre, elle n’est pas à proprement parler une énergie renouvelable, puisqu’elle nécessite des ressources fossiles pour fonctionner. Ces ressources étant cependant importantes, le nucléaire pourrait contribuer au niveau mondial à la sortie des fossiles. Mais on ne peut s’attendre qu’à une augmentation assez modeste de sa part dans la production mondiale d’électricité – de 11% aujourd’hui à 15% en 2040 dans les scénarios les plus optimistes – compte tenu de nombreux obstacles à surmonter.

La révolution digitale, un coup de pouce ?

On l’a vu, la maîtrise de la demande d’énergie et le développement des énergies renouvelables constituent les deux piliers des politiques de transition dans tous les grands pays, comme le souligne une vaste étude sur la « décarbonation profonde » conduite en 2015. La convergence de ces deux axes pourrait être singulièrement amplifiée par la diffusion massive des technologies digitales. Car si la révolution des technologies de l’information et de la communication (ou TIC) s’est avant tout traduite par un surcroît de consommation énergétique (représentant environ 10% de la consommation mondiale d’électricité), l’avenir pourrait être différent avec la digitalisation généralisée, le big data et l’Internet des objets.

Une nouvelle révolution industrielle, celle de l’application des TIC à la gestion du monde matériel, pourrait avoir un impact particulièrement marqué dans le secteur énergétique avec la gestion intégrée de la demande d’énergie et de l’offre renouvelable dans les réseaux intelligents (les smart grids). Dans les pays industrialisés, ceux-ci peuvent gérer, aux marges des réseaux, les interactions entre bâtiments autonomes en énergie, production solaire décentralisée, stockage, véhicules électriques… Dans les pays en développement, et singulièrement en Afrique, les mini-réseaux basés sur l’énergie solaire pourraient assurer l’accès à l’énergie dans les zones aujourd’hui non connectées.

Le défi des « émissions négatives » et de l’adaptation

Les politiques climatiques sont prises en étau : d’un côté, les communautés scientifiques ne cessent de confirmer la nécessité d’agir très vite pour répondre à l’urgence climatique ; de l’autre, l’examen attentif des transitions énergétiques passées ou en cours révèle le caractère très progressif des transformations socio-techniques ; dans ce domaine, impossible de « passer en force ».

Les transitions bas carbone devraient permettre de réduire le flux annuel des émissions, mais le feront-elles assez rapidement ? En outre, elles ne réduiront pas le stock de CO₂ et des autres gaz à effet de serre qui s’accumulent dans l’atmosphère, à un rythme particulièrement soutenu ces dernières décennies.

Pour obtenir des trajectoires compatibles avec un réchauffement inférieur à 2 °C, comme le veut l’Accord de Paris, il faudrait en effet ramener à zéro les émissions peu après 2050, puis assurer un développement massif des « émissions négatives ». Ce concept a été introduit dans les scénarios du GIEC, dont un rapport spécial à paraître en 2018 contiendra sans aucun doute des développements sur ce thème.

Comment mettre en œuvre ces émissions négatives ? Différentes pistes sont ouvertes.

On peut d'abord appliquer sur une grande échelle des techniques de capture et stockage du carbone, non plus seulement en les associant aux installations utilisant des énergies fossiles, mais aussi à des centrales énergétiques fonctionnant à la biomasse. On peut également augmenter l'absorption et le stockage du carbone dans les sols. Plus exotique, on peut imaginer pomper du CO₂ contenu dans l'atmosphère en le stockant sous forme de carbonates ou en le recyclant.

Ou encore, et cela suscite une inquiétude grandissante, en intervenant volontairement sur les grands cycles géochimiques, par dispersion d'aérosols dans l'atmosphère, ensemencement des océans ou déploiement de satellites « parasols ». C'est ce que l'on nomme la « géo-ingénierie », cet ensemble de manipulations à grande échelle de notre environnement, encore toutes hypothétiques et qui pourraient faire peser des risques directs sur les grands équilibres planétaires. Aucune de ces technologies n'est pour l'heure prête à l'emploi et toutes posent de redoutables problèmes en termes de connaissances scientifiques, financement, éthique et gouvernance.

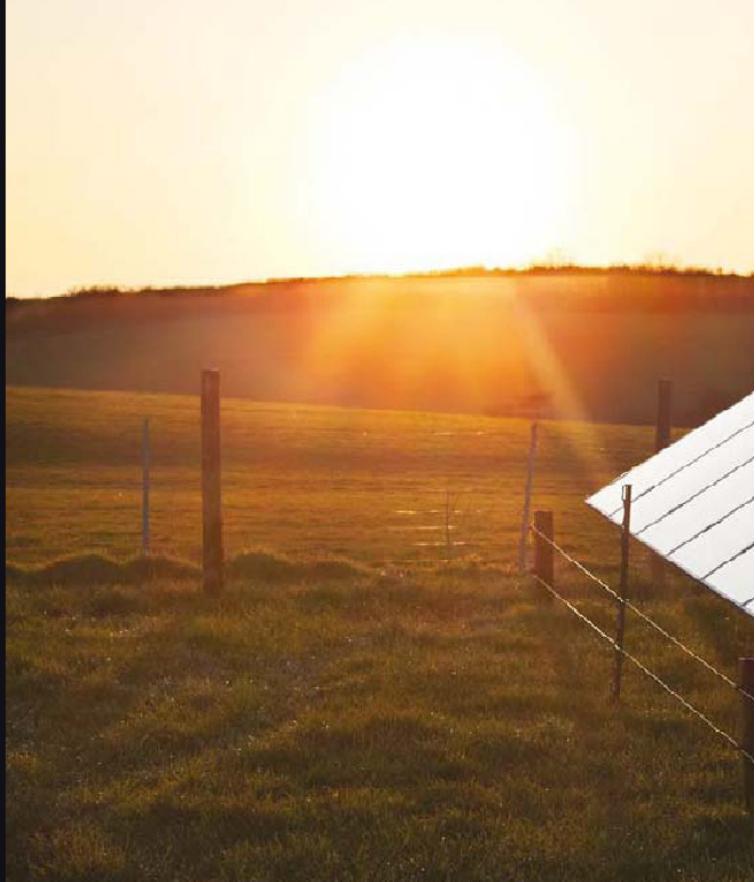
L'avenir est donc ouvert. Il y a des utopies possibles, en tout cas des mouvements de longue période à l'image de cette profonde transformation de la consommation d'énergie et des énergies renouvelables. Il s'agit aujourd'hui d'accélérer cette transformation, par tous les moyens (raisonnables). Mais dans le brouhaha du monde, cela n'empêchera pas de devoir affronter un autre défi immense – et tout particulièrement pour les pays et les communautés les plus vulnérables : celui de l'adaptation à des modifications climatiques d'origine humaine, que l'on peut tenter de limiter mais qui sont désormais inéluctables.

2.6 Énergies renouvelables : l'essor sera lent

- **Lien :** <https://www.pourlascience.fr/sd/energie/energies-renouvelables-lessor-sera-lent-7953.php>
- **Auteur :** Vaclav Smil est Professeur émérite à la Faculté de l'environnement de l'université du Manitoba (Canada).
- **Date :** 20 Juin 2014
- **Source :** Pour La Science est la version française du mensuel Scientific American. C'est une revue de vulgarisation scientifique dans toutes les disciplines, dont les articles sont signés par les chercheurs eux-mêmes.

Vaclav Smil

Beaucoup espèrent un passage rapide aux énergies renouvelables. Mais l'histoire des transitions énergétiques montre qu'elles nécessitent deux à trois générations.



Énergies renouvelables :

L'ESSENTIEL

- Les transitions énergétiques majeures – du bois au charbon, puis du charbon au pétrole – ont pris chacune 50 à 60 ans.
- L'abandon des ressources fossiles et le passage aux énergies renouvelables ne devrait pas être plus rapide. Dans les pays industrialisés, les énergies renouvelables classiques, telle l'hydroélectricité, sont déjà utilisées au maximum.
- On pourrait toutefois accélérer la transition, notamment en réalisant des économies d'énergie.

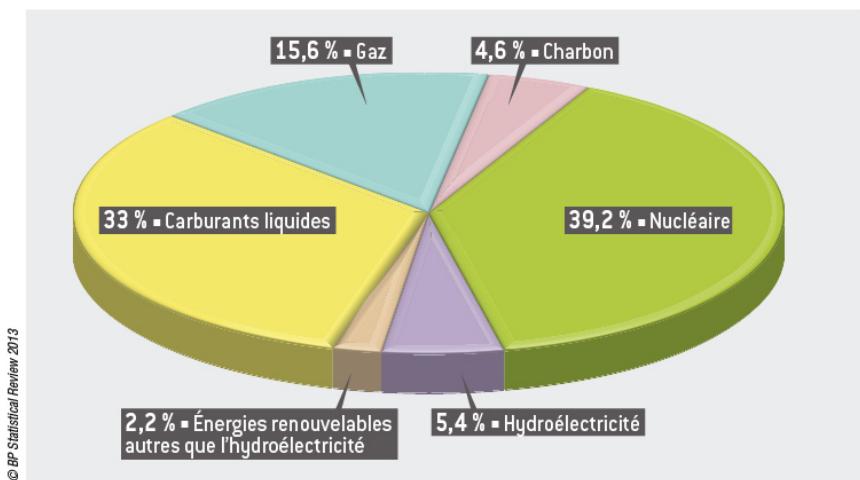


l'essor sera lent

Il y a près de 40 ans, l'écologue américain Amory Lovins affirmait qu'en l'an 2000, 33 pour cent de l'énergie produite aux États-Unis proviendraient de sources renouvelables nombreuses, petites et décentralisées. En 2008, Al Gore, l'ancien vice-président, jugeait réalisable le passage de ce pays à 100 pour cent d'énergies renouvelables en une décennie, et ce à un coût abordable. En 2009, Mark Jacobson, de l'Université Stanford, et Mark Delucchi, de l'Université de Californie, à Davis, présentaient un plan pour effectuer une telle transition à l'échelle mondiale d'ici 2030.

Cependant, de 1990 à 2012, la part des combustibles fossiles dans la consommation d'énergie mondiale a à peine changé, passant de 88 à 87 pour cent. En 2011, les sources renouvelables ont fourni moins de dix pour cent de l'énergie des États-Unis, et il s'agissait pour la plupart de sources classiques, telles que les centrales hydroélectriques et le bois. Après plus de 20 ans de développement subventionné, les «nouvelles» sources d'énergie renouvelable, tels l'éolien, le solaire et les biocarburants, ne représentaient que 3,35 pour cent de l'approvisionnement énergétique des États-Unis.

La lenteur de cette transition énergétique n'est pas surprenante. En fait, elle était prévisible. Partout dans



LE BOUQUET ÉNERGÉTIQUE FRANÇAIS (ici en 2012) est dominé par le nucléaire. Les énergies renouvelables, pour l'essentiel sous forme d'hydroélectricité, n'en représentent que 7,6 pour cent. Dans ces chiffres livrés par le Service statistique de la Société BP, les biocarburants sont comptés dans les carburants liquides et non dans les énergies renouvelables (ils représentaient un peu moins de un pour cent de la consommation énergétique française en 2011, selon les données du Service de l'observation et des statistiques). En outre, le bois n'est pas pris en compte (3,7 pour cent de la consommation énergétique française en 2011). À l'échelle mondiale, en 2012, le charbon et le gaz représentaient chacun environ 30 pour cent du bouquet énergétique, le gaz 24 pour cent, le nucléaire 4 pour cent et les énergies renouvelables 9 pour cent.

le monde, chaque transition majeure entre deux combustibles a pris de 50 à 60 ans. Un passage du bois au charbon s'est d'abord produit, puis le pétrole est devenu prédominant. Aujourd'hui, les États-Unis connaissent une troisième transition énergétique majeure, du charbon et du pétrole vers le gaz naturel. Entre 2001 et 2012, les consommations américaines de charbon et de pétrole brut ont chuté respectivement de 20 pour cent et de 7 pour cent; dans le même temps, la consommation de gaz naturel a augmenté de 14 pour cent. Cependant, une décennie ou deux seront encore nécessaires avant que le gaz ne dépasse le charbon, qui fournit plus du tiers de l'électricité des États-Unis.

Les énergies renouvelables ne « décollent » pas plus vite que les nouveaux combustibles autrefois, et il n'y a aucune raison technique ou économique de penser qu'elles vont le faire. La demande énergétique mondiale augmente notablement, au point qu'il est déjà difficile de la satisfaire avec les sources d'énergies traditionnelles. Cela le serait encore plus avec les énergies renouvelables.

Le changement peut être plus rapide dans certains pays, mais, à l'échelle mondiale, le passage aux énergies renouvelables sera lent, en particulier si la conversion au gaz naturel se confirme. Bien sûr, il est possible qu'une technologie innovante ou

une décision politique accélère ce changement. Il reste qu'en général, les transitions énergétiques prennent du temps.

L'espoir d'une transition rapide et radicale vers les énergies renouvelables résulte d'une méconnaissance de l'histoire des deux derniers siècles. La plupart des gens pensent qu'au XIX^e siècle, où s'est produite une industrialisation rapide, la consommation énergétique mondiale a été dominée par le charbon, que le XX^e siècle a été l'ère du pétrole, et que le siècle actuel sera celui des énergies renouvelables. Les deux premières opinions sont fausses, la troisième discutable.

Même avec l'essor des machines industrielles, le charbon n'était pas la source d'énergie dominante au XIX^e siècle. Le bois, le charbon de bois (à ne pas confondre avec le charbon – la houille –, qui est une roche sédimentaire) et les résidus de céréales (principalement de la paille) ont fourni 85 pour cent de l'énergie mondiale consommée pendant cette période – soit environ 2,4 yottajoules (un yottajoule, YJ en abrégé, vaut 10^{24} joules).

Le charbon a commencé à représenter plus de cinq pour cent de l'énergie consommée vers 1840, et en 1900 il n'assurait encore que la moitié de la production. Cette augmentation de 5 à 50 pour cent a donc pris de 50 à 60 ans. Aux États-Unis, il fallut attendre 1885 pour que les combustibles fossiles (surtout du charbon, un peu de pétrole et une très faible quantité de gaz naturel) fournissent plus d'énergie que le bois et le charbon de bois. La bascule s'est produite en 1875 en France et en 1901 au Japon, mais seulement en 1930 en Union soviétique, en 1965 en Chine et à la fin des années 1970 en Inde.

De même, au XX^e siècle, la plus importante source d'énergie n'était pas le pétrole, mais le charbon. Ce dernier a culminé à environ 55 pour cent de la production énergétique mondiale au cours des années 1910. Le pétrole, déjà utilisé à cette époque, ne l'a dépassé qu'en 1964. Et comme ce déclin relatif s'est accompagné d'une augmentation constante de la demande mondiale d'énergie, le charbon a continué à être très utilisé. Finalement, c'est lui qui a fourni le plus d'énergie au XX^e siècle : environ 5,3 yottajoules, contre 4 yottajoules pour le pétrole.

Seuls deux pays importants sur le plan économique ont réalisé la troisième transition, celle du pétrole au gaz naturel. La

Même avec l'essor des machines industrielles, le charbon n'était pas la source d'énergie dominante au XIX^e siècle.

consommation de ce dernier a dépassé celle de pétrole brut en Union soviétique en 1984, et au Royaume-Uni en 1999.

Pour montrer que les transitions énergétiques sont lentes et progressives, j'ai étudié la vitesse à laquelle les sources d'énergie ont progressé, à partir du moment où elles atteignaient cinq pour cent du bouquet global. Les trois transitions successives présentent des similitudes notables (*voir l'encadré ci-dessous*). Ainsi, de 1840 à 1900, la part du charbon a évolué à une vitesse voisine de celle du pétrole entre 1915 (année où il a atteint cinq pour cent) et 1975. Le gaz naturel a fourni cinq pour cent de l'énergie mondiale vers 1930 et devrait bientôt en représenter 33 pour cent. Des trois combustibles, c'est celui qui a pris le plus de temps pour atteindre 25 pour cent de la consommation énergétique : environ 55 ans, contre 35 ans pour le charbon et 40 ans pour le pétrole.

Bien sûr, les trois séquences ne permettent pas de déduire le rythme des transitions énergétiques futures. Et la transition suivante pourrait être accélérée par une percée technologique vers une énergie nucléaire sûre et bon marché ou vers un dispositif de stockage massif de l'énergie d'origine éolienne ou solaire.

Deux ou trois générations pour une transition

Cependant, le fait que les trois premières transitions énergétiques se soient effectuées à un rythme similaire est remarquable, en particulier parce que les techniques d'extraction, les canaux de distribution et les machines utilisatrices (tel un moteur de train) varient notablement d'un combustible à l'autre. À l'échelle mondiale, les investissements et les infrastructures nécessaires pour qu'une nouvelle source

d'énergie s'impose requièrent deux à trois générations, soit 50 à 75 ans.

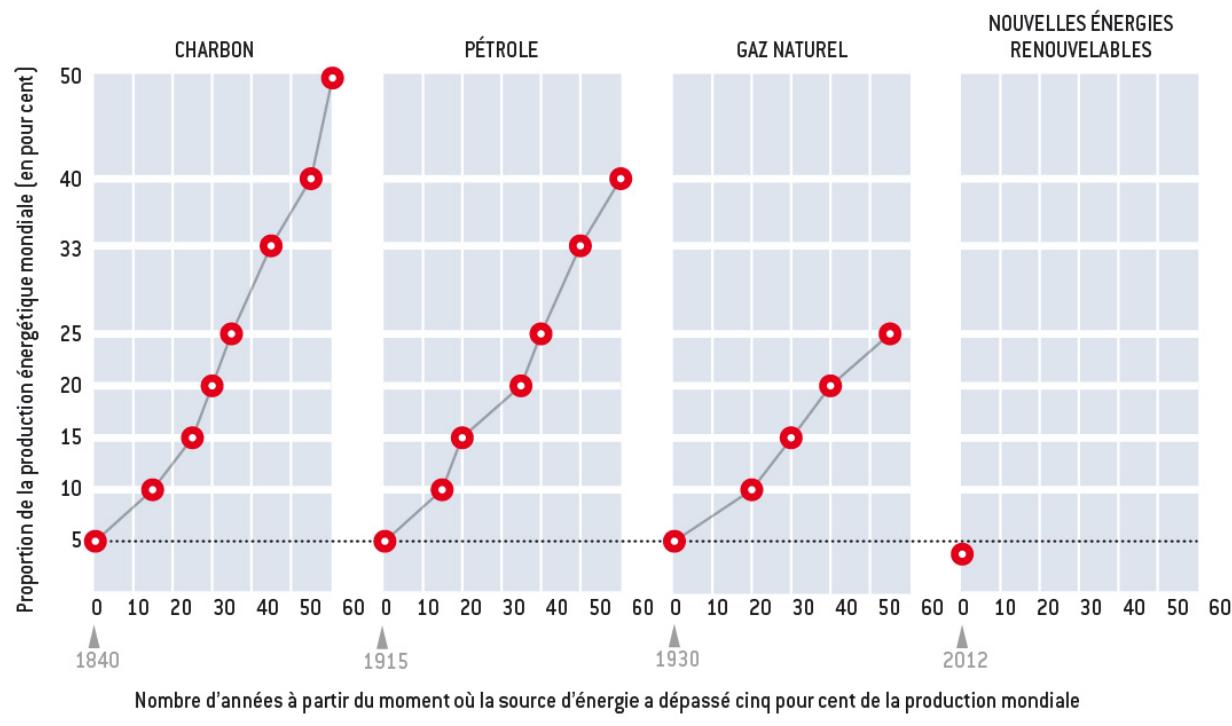
Jusqu'ici, les énergies renouvelables suivent la même évolution lente. En 2011, elles ont fourni 9,4 pour cent de l'énergie consommée par les États-Unis, qui était d'environ 103×10^{18} joules. Les énergies renouvelables classiques ont représenté six pour cent, répartis entre les centrales hydroélectriques (3,25 pour cent), le bois (2 pour cent, essentiellement des déchets issus d'opérations de débitage), et, pour une part modeste, la biomasse et la géothermie.

Les « nouvelles » énergies renouvelables n'ont fourni que 3,35 pour cent du total, avec des parts respectives de 2, 1,19 et 0,16 pour cent pour les biocarburants liquides, l'éolien et le solaire. Dans les pays industrialisés, ces trois dernières sources devront assurer la quasi-totalité de la croissance des énergies renouvelables, car le potentiel des autres, en particulier

DES TRANSITIONS QUI DEMANDENT DES DÉCENNIES

Chaque source d'énergie qui a dominé l'approvisionnement mondial a mis 50 à 60 ans pour parvenir à son point culminant. Le charbon a atteint cinq pour cent de l'approvisionnement mondial en 1840 (en bas à gauche) et a progressivement pris le pas sur le bois : environ 60 ans plus tard, vers 1900, il représentait la moitié de la consommation énergétique. Lors des transitions suivantes, les parts du pétrole et du gaz naturel ont augmenté de façon voisine après avoir

passé la barre des cinq pour cent. Le pétrole n'a pas encore atteint 50 pour cent et n'y parviendra peut-être jamais. La part du gaz naturel évolue encore et augmente plus lentement. Les sources modernes d'énergie renouvelable – l'éolien, le solaire et les biocarburants liquides – ne représentent qu'environ 3,4 pour cent du total. À moins d'une rupture technologique ou politique, la transition vers ces énergies devrait, elle aussi, être longue.



l'énergie hydroélectrique, est déjà presque entièrement exploité.

La transition vers des énergies renouvelables pose plusieurs difficultés. La première est la quantité considérable d'énergie à produire. En 2012, les énergies fossiles ont fourni environ 450 exajoules (450×10^{18} joules) dans le monde. C'est 20 fois plus que durant les années 1890, quand le charbon a pris le pas sur le bois. Assurer la production d'autant d'énergie avec de nouvelles sources reste un défi.

L'obstacle de l'intermittence...

Une autre difficulté est la nature intermittente des énergies solaire et éolienne. Nos sociétés modernes ont besoin d'un approvisionnement fiable et ininterrompu en électricité et font face à une demande nocturne croissante. Aux États-Unis, le charbon et les centrales nucléaires assurent la « charge de base », c'est-à-dire la part de l'électricité produite en continu tout au long de la journée; en France, cette charge est surtout assurée par le nucléaire. Les centrales hydroélectriques et les centrales au gaz, susceptibles d'être démarrées ou éteintes rapidement, réagissent aux périodes de pointe: elles fournissent le supplément d'énergie nécessaire pour satisfaire les pics de demande, brefs mais intenses, à certains moments de la journée.

L'éolien et le solaire peuvent contribuer à la charge de base, mais sans l'assurer de façon continue. En effet, le vent ne souffle pas en permanence, le Soleil ne brille pas la nuit et l'apport énergétique de ces deux sources est difficile à prévoir. Dans certains pays bien avancés sur la voie du renouvelable, telle l'Allemagne, l'éolien et le solaire fournissent une quantité d'énergie très variable. Parfois négligeable, cette quantité atteint la moitié de la demande à certains moments ensoleillés et venteux. Ces fluctuations importantes nécessitent soit un recours à d'autres centrales électriques, qui brûlent en général du charbon ou du gaz, soit une augmentation des importations d'électricité. Dans le cas de l'Allemagne, cela peut perturber l'alimentation électrique de certains pays voisins.

Les nouvelles énergies renouvelables se développeraient bien plus vite s'il existait un moyen peu coûteux de stocker l'énergie. On pourrait alors mettre en réserve les énormes surplus produits par l'éolien et le solaire quand la demande est faible,

■ L'AUTEUR



Vaclav SMIL est professeur émérite à l'Université du Manitoba, au Canada. Il est l'auteur de plus d'une trentaine d'ouvrages portant sur l'énergie et l'environnement.

■ SUR LE WEB

Bilan énergétique mondial en 2012 : www.bp.com/content/dam/bp/pdf/statistical-review/statistical_review_of_world_energy_2013.pdf

■ BIBLIOGRAPHIE

R. Mosseri et C. Jeandel (éds.), *L'énergie à découvert*, CNRS Éditions, 2013.

V. Smil, *Energy Transitions: History, Requirements, Prospects*, Praeger, 2010.

Énergies à volonté!, Dossier Pour la Science n° 69, octobre-décembre 2010.

M. Jacobson et M. Delucchi, *Énergies renouvelables : comment couvrir les besoins mondiaux en 2030*, Pour la Science, n° 386, décembre 2009.

afin de les utiliser pour satisfaire les pics de demande. Malheureusement, malgré plusieurs décennies de recherche, on ne dispose que d'une seule technique applicable à grande échelle: quand l'énergie est en excès, on l'utilise pour pomper de l'eau jusqu'à un réservoir situé en altitude, puis, quand elle manque, on déverse l'eau à travers une turbine pour produire de l'électricité. Peu d'endroits présentent la variation d'altitude nécessaire à ce dispositif, qui entraîne en outre des pertes d'énergie.

Une autre solution consiste à construire un réseau de centrales éoliennes et solaires assez vaste pour couvrir une région de la taille d'une grande nation ou de la moitié d'un continent, et à les relier par des lignes électriques. Ainsi, on optimiserait les chances pour qu'au moins une partie des centrales soit toujours en mesure de fournir de l'énergie au réseau. Des lignes d'une qualité et d'une longueur suffisantes sont techniquement réalisables, mais elles coûtent cher et suscitent souvent une forte opposition locale: aux États-Unis comme en Allemagne, la pose de nouvelles lignes est approuvée à un rythme très lent.

...et celui des infrastructures

Enfin, l'adoption en masse des énergies renouvelables devrait nécessiter une réorganisation fondamentale des infrastructures énergétiques. Pour l'électricité, on passerait d'un assez petit nombre de grandes centrales thermiques ou hydroélectriques à une multitude de petits systèmes éoliens et solaires, répartis sur le territoire. Les carburants liquides ne seraient plus produits par extraction du sous-sol d'un pétrole à forte densité énergétique, mais par la culture de végétaux et la fabrication de biocarburants, à densité énergétique plus faible. Pour bien des raisons, la transition vers les énergies renouvelables est plus contraignante que le passage du charbon au pétrole, puis du pétrole au gaz naturel.

Le dernier facteur qui allongera la durée de la transition est la préexistence d'infrastructures importantes et coûteuses, adaptées au système énergétique actuel : mines de charbon, puits de pétrole, gazoducs, raffineries, stations-service par millions... Même si nous disposions d'une énergie renouvelable presque gratuite, il serait économiquement impensable pour les États, les grandes entre-

prises ou les municipalités d'abandonner les énormes investissements consentis pour ces installations, d'une valeur estimée à au moins 20 000 milliards de dollars à l'échelle mondiale. Selon mes calculs, entre 2001 et 2010, la Chine a dépensé 500 milliards de dollars (365 milliards d'euros) pour construire des centrales au charbon, d'une capacité totale de 300 gigawatts – supérieure à ce que peuvent produire à partir d'énergies fossiles l'Allemagne, la France, le Royaume-Uni, l'Italie et l'Espagne réunis. Ces centrales sont prévues pour fonctionner au moins 30 ans. Aucun pays ne peut renoncer à de tels investissements.

La transition reste souhaitable

Soyons clairs. Outre les émissions de gaz à effet de serre, de nombreuses raisons environnementales poussent à réduire la dépendance vis-à-vis des combustibles fossiles. La combustion de ces derniers émet des oxydes de soufre et d'azote, qui entraînent des pluies acides et un brouillard photochimique (formé par la transformation de polluants sous l'effet de la lumière). Elle dégage aussi de la suie, qui accroît le réchauffement climatique, et des métaux lourds, dangereux pour la santé. En outre, l'exploitation des combustibles fossiles pollue les eaux et abîme les sols. Le basculement vers des énergies non fossiles est donc souhaitable, bien que certaines des solutions énergétiques alternatives aient aussi un impact notable sur l'environnement.

Savoir que cette transition prendra plusieurs décennies influe sur les choix à faire. Jusqu'ici, les politiques énergétiques et environnementales n'ont pas été à la hauteur. Au lieu de lubies à court terme et d'engagements pris à la légère, nous avons besoin de politiques à long terme, fondées sur des attentes réalistes.

Pour y parvenir, nous devons éviter d'être trop sélectifs dans les recherches. Les gouvernements ne peuvent pas prévoir quelles technologies seront injectées sur le marché, et ils ne devraient donc pas se concentrer uniquement sur certaines pistes telles que les réacteurs nucléaires à neutrons rapides ou les véhicules électriques fonctionnant avec une pile à combustible à l'hydrogène. La meilleure stratégie est d'investir dans une grande variété d'activités de recherche. Qui aurait deviné dans les années 1980 que, durant les trois

Un élément inédit : le facteur climatique

La lenteur des transitions énergétiques n'est pas surprenante, notamment en raison de la lourdeur des infrastructures. Une centrale nucléaire est construite en dix ans et fonctionne pendant une quarantaine d'années ; la constante de temps caractéristique est donc d'un demi-siècle.

Cependant, un nouveau facteur entre en jeu pour la transition énergétique en cours : selon les études scientifiques fiables, nous devons diviser par deux les émissions mondiales de gaz à effet de serre d'ici 2050 pour éviter un changement climatique de trop grande ampleur (2 °C maximum). Il reste donc moins de 35 ans.

Cela peut paraître hors d'atteinte du fait des inerties décrites dans l'analyse historique de V. Smil, mais le facteur climatique implique que la transition ne soit plus gouvernée par les seuls facteurs écono-

miques et technologiques : des politiques volontaristes peuvent jouer un rôle. De nombreuses études visent donc à accélérer la transition. Dans certaines d'entre elles, on élaborer différents scénarios globaux de réduction des émissions et on en modélise l'impact sur le climat à l'échelle mondiale. Ainsi, l'étude AMPERE, financée par la Commission européenne, indique que le réchauffement peut être limité à 2 °C à condition d'agir dès maintenant et vigoureusement, en combinant des actions de réduction de la demande (gains

d'efficacité énergétique, isolation des bâtiments, etc.) et de décarbonisation de l'offre (passage aux énergies renouvelables ou nucléaire, séquestration du carbone). Si l'on attend 2030, il sera trop tard.

D'autres études, tel le projet Deep Decarbonisation Pathways, commandité par l'ONU, partent plutôt d'une échelle nationale, afin d'évaluer les réductions possibles en fonction des caractéristiques et des priorités politiques de chaque pays. En combinant ces deux approches, on cherche à identifier quelles politiques publiques permettraient de réduire l'écart entre ce qui est souhaitable et ce qui est réalisable. L'avenir du climat en dépend.

– Patrick Criqui
directeur du laboratoire
EDDEN, CNRS

décennies suivantes, le meilleur retour sur investissement aux États-Unis concerne-rait non pas les réacteurs nucléaires ou les cellules photovoltaïques, mais le forage horizontal et la fracturation hydraulique pour l'exploitation des gaz de schiste ?

Les subventions peuvent accélérer la transition, mais elles doivent être guidées par des évaluations réalistes des technologies et des entreprises. On éviterait ainsi de répéter le cas de Solyndra, un fabricant de systèmes photovoltaïques qui a reçu 535 millions de dollars (environ 380 millions d'euros) du gouvernement américain, avant de faire faillite.

En outre, les prix de l'énergie devraient refléter les coûts réels, incluant ceux associés aux impacts sur l'environnement et sur la santé, immédiats et à long terme. Ces impacts sont variés : gaz à effet de serre et suie pour les combustibles fossiles, érosion des sols et manque d'eau provoqué par la consommation des céréales pour le bioéthanol, etc. Les prix doivent aussi intégrer les investissements nécessaires, tels ceux associés à la construction d'un super-réseau à haute tension pour relier

des fermes éoliennes et solaires éloignées les unes des autres. Les habitants et les responsables politiques des pays industrialisés doivent comprendre que le prix de l'énergie, bien qu'en augmentation, a été particulièrément bas durant les 50 dernières années. Ces populations devraient payer plus pour prendre en compte les conséquences environnementales et sanitaires de l'énergie.

La façon la plus efficace d'accélérer la transition et l'abandon des sources fossiles est de réduire la consommation énergétique mondiale. Plus la demande augmente vite, plus il est difficile d'en satisfaire une part importante avec les énergies renouvelables. Des études récentes ont montré qu'aucun problème technique insurmontable n'empêche de réduire d'un tiers la consommation d'énergie, à la fois dans les pays émergents et dans les pays riches, notamment grâce à des gains en efficacité.

Qu'elles soient nationales ou mondiales, les transitions énergétiques prennent du temps. Le virage qui se dessine actuellement, des combustibles fossiles vers les énergies renouvelables, ne fera pas exception. Il nécessitera des générations de persévérance. ■