

CROISSANCE, ÉNERGIE ET CLIMAT LA QUADRATURE DU CERCLE !

Philippe A. Charlez

Expert énergétique

Membre des Bâisseurs de l'UDI

L'être humain n'a jamais pu construire à la force de ses muscles une société de croissance. C'est en transformant le pouvoir magique du feu en énergie mécanique puis en électricité que Watt et Faraday ont, au début du XIX^e siècle, inventé la croissance économique. Car, si la technologie est le catalyseur endogène de la croissance, l'énergie en est l'aliment exogène. Aussi, depuis le début de la révolution industrielle, la croissance économique s'est voracement nourrie d'énergie et plus particulièrement de combustibles fossiles, qui représentent aujourd'hui 82 % du bouquet énergétique mondial. Mais, à travers cette consommation d'énergie fossile, la croissance économique est aussi un processus risqué qui transforme de façon irréversible des ressources naturelles en dangereux déchets, source d'altération de l'écosystème et cause principale du dérèglement climatique. La société moderne serait donc confrontée à des objectifs contradictoires : satisfaire une demande grandissante en énergie pour garantir la croissance économique à dix milliards de personnes tout en réduisant les émissions de gaz à effet de serre (GES) pour solutionner le problème du dérèglement climatique. Croissance, énergie et climat : la transition énergétique pourra-t-elle résoudre la quadrature du cercle ?

Si le capital et le travail sont les ingrédients de base de la croissance économique et la technologie le principal catalyseur endogène, l'énergie en est l'aliment exogène (1). Car c'est bien en transformant le pouvoir magique du feu en énergie mécanique puis en électricité que Watt, Faraday, Gramme ou autre Tesla ont, au cours du XIX^e siècle, inventé la croissance économique (2). Aussi, depuis le début de la révolution industrielle, s'est-elle voracement nourrie d'énergie et plus particulièrement de

combustibles fossiles. Charbon, pétrole et gaz représentent aujourd'hui 82 % du bouquet énergétique mondial alors que les énergies non fossiles (hydro-électricité, nucléaire, éolien, solaire et biomasse) n'en représentent que 18 %. Si, au cours des trente dernières années, la part globale des combustibles fossiles n'a que faiblement diminué, sa distribution géographique a en revanche été bouleversée. En 1965, les pays de l'OCDE consommaient 70 % des énergies fossiles. En 2014, la situation s'était inversée : les pays émergents en consomment 60 % (3).

Jusqu'à la fin du XVIII^e siècle, le bois est demeuré le principal combustible utilisé par l'homme. Mais nourrir les machines à vapeur et les premières centrales électriques au bois aurait rapidement débouché sur une pénurie et une explosion des cours. Abondant, plus économique et possédant un meilleur pouvoir calorifique, le charbon est rapidement devenu l'énergie de la révolution industrielle.

Le pétrole s'est quant à lui installé dans le bouquet énergétique durant le premier conflit mondial sous l'impulsion de W. Churchill, convaincu que la propulsion au fioul donnerait à la Royal Navy un avantage décisif par rapport à la flotte allemande restée charbonnière. Pourtant, le pétrole ne devancera le charbon qu'au milieu des années 1960, à la suite de l'explosion du nombre de voitures individuelles et du transport aérien. Mais l'âge d'or du pétrole ne durera pas – après les deux chocs pétroliers, en raison de son coût trop élevé, ses parts de marché dans la génération électrique et le chauffage urbain régressent rapidement et se recentrent sur les transports et l'industrie.

À la fin des années 1950, à la suite de la découverte du champ de Groningue, en Hollande, le gaz naturel va rapidement supplanter le gaz de ville. En dehors du chauffage urbain, il va devenir un des combustibles de base de la génération électrique en remplacement du pétrole.

Mais, à travers la consommation d'énergie fossile, la croissance économique est aussi un processus risqué qui transforme des ressources naturelles en dangereux déchets (4). Ces derniers sont source d'altération de l'écosystème et représentent à moyen terme un risque environnemental majeur. Ainsi en est-il des émissions de CO₂, cause principale du dérèglement climatique.

La société moderne serait donc confrontée à des objectifs contradictoires : satisfaire une demande croissante en énergie pour garantir la croissance économique à dix milliards d'individus tout en réduisant les émissions de GES pour solutionner le

problème du dérèglement climatique. Croissance, énergie et climat : la transition énergétique pourra-t-elle résoudre la quadrature du cercle ?

Le pétrole, un combustible presque parfait

Le pétrole est un concentré d'énergie remarquable. Une tonne de pétrole contient deux fois plus d'énergie qu'une tonne de charbon et trois fois plus qu'une tonne de bois. En occupant un demi-hectare, un puits de pétrole produit durant sa vie l'équivalent de 11 500 ha de forêt. De plus, pas besoin de mineurs ni de bûcherons. Directement fourni sous pression, il est ramené sans effort et quasi gratuitement des entrailles de la terre jusqu'en surface. Depuis les régions les plus isolées, il suffira de pompes grossières, de pipelines, de gros pétroliers ou de camions-citernes pour l'amener au consommateur. Par ailleurs, on ne connaît encore ni forêts ni mines de charbon en mer. Le pétrole, on peut aller le chercher partout même sous 2 km d'eau. Et, quand on n'en a pas besoin, on peut le stocker aussi longtemps que l'on veut en petite quantité dans des citernes ou en grande quantité dans des cavités souterraines (5). Et puis, le pétrole est multi-usage. On l'utilise dans les transports, où sa part de marché atteint 95 %, comme combustible de chauffage, dans presque toutes les industries, en pétrochimie comme matière première pour fabriquer les plastiques et, si besoin, comme combustible primaire dans la génération électrique (6).

Pourtant, s'il émet moins de CO₂ que le charbon, le pétrole est le premier contributeur au réchauffement climatique, responsable de 38 % des émissions. Enfin, s'il se transporte aisément, quand il s'épanche, il fait de gros dégâts dans l'environnement. Par leur impact sur la biodiversité, les marées noires ont, depuis les années 1960, laissé une trace très négative de l'or noir dans l'imaginaire collectif.

Le pétrole restera durant les prochaines décennies

une énergie à part spécialisée dans les transports et la pétrochimie. Si pour les transports aérien et maritime il n'y a pas aujourd'hui de substituts et si la distribution de proximité peut difficilement échapper au camionnage, pour les voitures individuelles (65 % du transport de personnes) des possibilités sont offertes avec les biocarburants et l'électricité.

Très « verts » en apparence, les biocarburants sont loin d'être « roses ». Les produire demande beaucoup de terrain et beaucoup d'eau. Ainsi, à quantité d'énergie équivalente, un biocarburant nécessite 80 à 200 fois plus de surface au sol et 450 fois plus d'eau que le pétrole. Cultivés sur des terres paysannes, les biocarburants entrent en concurrence avec l'agriculture et présentent un risque pour la chaîne alimentaire. Enfin, produire des biocarburants est énergétivore. De la ferme à la distillerie, un litre d'éthanol requiert 0,8 litre d'énergie primaire. Les biocarburants : une fausse bonne idée ? Bien plus qu'une alternative aux produits pétroliers, ils représentent avant tout un débouché pour les productions agricoles et préservent des emplois là où l'agriculture conventionnelle ne le permet plus.

Déplacer une voiture à l'aide d'électricité emmagasinée dans une batterie est une alternative attrayante qui ne rejette pas de CO₂. Mais cela présente aussi certains inconvénients : l'autonomie moyenne n'excède pas 200 km, la recharge demande plusieurs heures et le lithium, matériau de base des batteries, est peu abondant. Aussi la voiture électrique doit-elle être considérée comme un véhicule urbain à condition que l'électricité qui l'alimente ne soit pas fabriquée avec des combustibles fossiles.

Le couple gaz-renouvelables

C'est au début du XIX^e siècle que l'homme a compris que l'électricité pouvait lui fournir sans effort de l'énergie mécanique ou de la chaleur. Mais, contrairement au bois, au charbon, au gaz ou au pétrole, l'électricité doit être fabriquée et ne se stocke

pas. Hormis le solaire photovoltaïque, tous les procédés de fabrication utilisent un fluide en mouvement (eau, vapeur, vent, etc.) qui actionne une turbine puis un alternateur. La transformation se réalise avec un rendement médiocre, en moyenne de 38 %.

Les combustibles fossiles fournissent aujourd'hui 68 % de l'électricité et sont responsables de 40 % des émissions de GES. Le charbon représente 40 % de part de marché et le gaz 22 %. Quant au pétrole (6 % en 2015), son usage est voué à disparaître. Les énergies non fossiles restituent en sortie des centrales le complément, c'est-à-dire 32 %. Contrairement aux combustibles fossiles, leur utilisation n'émet aucun GES.

L'hydroélectricité (15 % du mix) est une source idéale : rendement approchant les 100 %, flexibilité remarquable, aucune émission de GES. Mais elle est aussi associée à des barrages titanesques générant fortes nuisances et risques environnementaux. Aussi le choc pétrolier de 1973 va-t-il inciter les pays consommateurs à promouvoir le nucléaire civil et à financer des projets éoliens. Si le nucléaire a vu sa croissance décliner après les catastrophes de Tchernobyl en 1986 puis de Fukushima en 2011, l'éolien terrestre a en revanche le vent en poupe. Depuis 2005, la puissance mondiale a été multipliée par huit. Les États-Unis et la Chine en sont les leaders avec près de la moitié de la production mondiale. Plus tardif, le solaire photovoltaïque ne décolle que timidement en 2007-2008. Malgré une croissance exponentielle, sa contribution ne représentait fin 2014 que 1 % de la consommation mondiale. Les principaux acteurs sont les États-Unis, la Chine, le Japon, l'Allemagne, l'Espagne et l'Italie. Endormie sous son « édredon » nucléaire (78 % de la génération électrique), la France reste largement à la traîne.

Piliers de la transition énergétique, le solaire et l'éolien sont pénalisés par leur manque de flexibilité, leurs périodes de production étant aussi irrégulières qu'imprévisibles et souvent en déphasage avec la demande. L'électricité ne se stockant pas, pour pallier le caractère intermittent des énergies renouvelables, il est nécessaire de convertir avec un rendement

médiocre l'électricité non consommée en d'autres formes d'énergie stockable : batteries, production d'hydrogène par électrolyse, conversion en air comprimé et conversion gravitaire en remplissant les barrages. Et puis, contrairement aux énergies fossiles et aux combustibles nucléaires, qui sont des concentrés d'énergie dans le sous-sol, les renouvelables sont des dilués d'énergie dans l'atmosphère. Il n'est donc pas surprenant que, pour les capter, une importante surface au sol soit nécessaire. Par rapport aux hydrocarbures, il faudra à l'éolien et au solaire 150 fois plus de surface au sol pour produire la même quantité d'électricité. Enfin, ironie de l'histoire, ce sont dans les pays pétroliers du Moyen-Orient et d'Afrique saharienne que se trouvent les plus grands gisements potentiels de solaire photovoltaïque. Le célèbre dicton des années 1970 pourrait être réactualisé : « On n'a pas de soleil... mais on a des idées. »

Même si leur coût diminue significativement, la mise en œuvre à grande échelle des renouvelables devra s'appuyer sur un allié : le gaz. Combustible sûr, il est abondant, ne provoque pas de pollutions de surface et produit deux fois moins de CO₂ que le charbon. Par ailleurs, une centrale électrique au gaz peut monter à sa pleine puissance en seulement quelques minutes et, en cycle combiné, son rendement atteint 60 %, une efficacité bien supérieure à celle des centrales à charbon ou nucléaires. En revanche, contrairement au pétrole, le gaz est difficile à transporter. Pour cette raison, la consommation de proximité sera toujours préférée à l'export. Ainsi, en 2014, la consommation domestique représentait 70 % de la production mondiale alors que le gaz naturel liquéfié (GNL) n'en représentait que 10 %.

Comment réduire l'intensité énergétique ?

La création de richesse ne peut se faire sans consommer de l'énergie. Pourtant, il faut bien moins d'énergie aujourd'hui qu'il en fallait dans les années 1950 pour produire

une même quantité de richesse. Cette relation entre consommation d'énergie et création de richesse s'appelle intensité énergétique et se mesure en kilowatt-heures par euro (kWh/€). Au milieu du XIX^e siècle, il fallait 7 kWh pour produire 1 € de richesse ; en 2014, ce chiffre était ramené à 2,3 kWh (7). L'évolution reflète à la fois une amélioration significative de l'efficacité énergétique mais aussi de profondes mutations sociétales caractérisées par l'émergence d'une société tertiaire axée sur des services beaucoup moins énergétivores. Par ailleurs, l'intensité énergétique varie fortement d'un pays à l'autre. Ainsi, pour produire la même quantité de richesse, un Russe, un Chinois ou un Indien consomment quatre à cinq fois plus d'énergie primaire qu'un Français. Bien que supérieure à celle de l'Européen, l'intensité énergétique américaine est bien inférieure à la moyenne mondiale. Aussi sont-ce les pays émergents qui détiennent les principaux leviers de réduction de l'intensité énergétique. Et le potentiel est immense ! Car, si d'un coup de baguette magique, on abaissait l'intensité énergétique mondiale au niveau de celle des Européens, sans changement de mix énergétique, la planète ramènerait ses émissions annuelles à 15 milliards de tonnes (Gt) de CO₂, la valeur de 1970. Comme Nathalie Kosciusko-Morizet (8) le dit très justement, « la meilleure énergie c'est celle qu'on ne consomme pas ». Réduire l'intensité énergétique passe par des actions à la fois techniques et comportementales.

La fabrication de l'électricité est un gaspillage éhonté : 1 kWh d'électricité thermique ou nucléaire ce sont 2 kWh d'énergie primaire qui partent en fumée. Des solutions comme la cogénération, qui cherche à valoriser la « chaleur fatale » (9) dissipée dans les centrales thermiques, ou le cycle combiné, qui utilise la chaleur résiduelle des gaz d'échappement d'une turbine à gaz pour produire de la vapeur et actionner une autre turbine, permettent de porter le rendement à 60 % voire plus.

Réduire la consommation des véhicules demande d'en diminuer le poids en remplaçant l'acier par des matériaux plus légers, de réduire les frottements en

optimisant l'aérodynamisme ou en améliorant la qualité des pneumatiques ⁽¹⁰⁾ et, bien sûr, de réduire la vitesse ⁽¹¹⁾. En revanche, l'accumulation des normes peut éroder les gains en augmentant le poids des véhicules. L'abaissement de la consommation passe donc par un juste équilibre entre sécurité, environnement et technologie. Enfin, les transports urbains, qui représentent la moitié des kilomètres parcourus, consomment 60 % de plus que les longs trajets. Quant aux embouteillages à l'entrée des mégapoles, ils donnent le tournis. C'est une facture annuelle de 17 milliards d'euros (G€) pour la France ⁽¹²⁾, 120 G€ pour l'UE et 3 400 G€ pour la planète ⁽¹³⁾ !

Pour l'habitat, ce sont à nouveau les plus pauvres qui détiennent les gisements d'intensité énergétique les plus importants. Réduire son intensité énergétique, c'est rénover (et donc subventionner !) en priorité les bâtiments les plus anciens aux performances énergétiques médiocres (> 300 kWh/an/m²) et non faire passer en catégorie A des logements B ou C, une opération onéreuse pour des résultats énergétiques bien moindres. Pour les logements neufs, la solution du futur est de construire des bâtiments produisant davantage d'énergie qu'ils n'en consomment : les BPOS ⁽¹⁴⁾. Atteindre cet objectif nécessitera de déployer les techniques d'isolation et les équipements basse consommation (*i.e.* LED) les plus avancés mais aussi d'y adjoindre des moyens de production d'énergie propre comme le solaire.

L'industrie, qui consomme 23 % du mix primaire mondial, n'est pas en reste. Réduire de 20 % son intensité énergétique à l'horizon 2030 repose sur trois piliers : la chasse au gaspillage, le remplacement d'équipements obsolètes et l'innovation des équipements et des procédés.

Mais la technologie ne peut pas tout. Changer nos comportements et nos habitudes sans pour autant remettre en cause les fondamentaux de notre bien-être journalier repose sur quatre piliers : la confiance, la vision, l'implication et la reconnaissance. Le gisement comportemental représenterait en Europe 19 % d'économies faciles ⁽¹⁵⁾.

Quel est le juste prix de l'énergie ?

Comme pour toute autre commodité, on différencie pour l'énergie les prix de gros des prix de détail. Les prix de gros découlent d'une négociation entre le producteur et le fournisseur. Principalement gouvernés par la loi de l'offre et de la demande, ils peuvent aussi dépendre de certains facteurs mettant en péril l'approvisionnement, telles des tensions géopolitiques ou une catastrophe naturelle.

Si, jusqu'au premier choc pétrolier, les prix de gros de l'or noir étaient décidés par les pays consommateurs, à partir de 1974, les producteurs vont imposer des cours bien supérieurs qu'ils réguleront via les quotas. Mais, au début des années 2000, faisant suite à la faiblesse de l'Opep, à la création de l'euro, à la demande croissante des pays émergents et à la révolution américaine des pétroles de schiste, l'or noir va se dépolitiser et laisser le marché s'imposer ⁽¹⁶⁾.

Contrairement au pétrole, le gaz, qui est difficile à transporter, privilégie toujours la consommation de proximité à l'export. Consommé localement, son prix est régulé par un « marché spot » alors que, transporté par gazoduc ou sous forme liquéfiée, il est négocié dans le cadre de contrats où les prix sont indexés sur ceux du pétrole. Comme le gaz, le charbon est préférentiellement consommé localement. En Europe, son prix reste très économique par rapport à celui du gaz.

Depuis le début du XX^e siècle, le secteur de l'électricité s'est organisé autour de monopoles publics intégrés et non concurrentiels. Contrôler l'ensemble de la chaîne depuis la production jusqu'à la distribution permet théoriquement d'effectuer des économies d'échelle, d'optimiser les coûts de production et de pratiquer des tarifs à prix coûtant. Mais l'opérateur unique peut aussi conduire à des dérives : prix supérieurs aux coûts marginaux, rente de monopole

encourageant le laxisme technologique, ce qui à terme accroît les coûts. Aussi, au milieu des années 1980, les États-Unis et le Royaume-Uni ont-ils privatisé le marché de l'électricité. Certains pays européens ont embrayé quand d'autres n'ont que très partiellement libéralisé leur marché. Ainsi, en 2014, EDF produisait et fournissait toujours 85 % de l'électricité à l'Hexagone. Par ailleurs, bien qu'en croissance, les échanges sur la grille européenne demeurent très limités. L'électricité reste donc avant tout une « affaire nationale » qui échappe souvent à la logique de l'offre et de la demande. Ainsi depuis 2005, en Europe, les prix de gros se sont contractés de 24 % pendant que les prix de détail augmentaient de 30 % !

Négoциé entre le fournisseur et le consommateur, le prix de détail inclut en sus du prix de gros le coût de distribution et les taxes prélevées par l'État. Dans la plupart des pays de l'OCDE, les prix de détail sont généralement beaucoup plus élevés pour les particuliers que pour les industriels. Une pratique censée soutenir la compétitivité des entreprises. Ainsi, de nombreuses entreprises agricoles et industrielles, le transport commercial de marchandises et de personnes, les producteurs d'électricité, la pêche marchande ou encore les avions commerciaux bénéficient d'une énergie (fioul, gaz, charbon et électricité) pratiquement détaxée. Cette politique conduit parfois à certaines aberrations. Par exemple, le charbon en France, exclusivement utilisé par les électriciens, est totalement exonéré de taxes.

Enfin, contrairement à une idée reçue, un pétrole bon marché ne pénalise pas les énergies renouvelables, pour lesquelles les investissements se sont accrus de façon significative en 2015. N'étant que très peu utilisé dans la génération électrique, l'or noir n'est pas un concurrent des renouvelables. Bien au contraire, en rendant le gaz européen plus compétitif, la baisse des cours du pétrole pourrait mettre le charbon hors jeu et promouvoir la transition énergétique vers un séduisant modèle gaz-renouvelables. Par contre, des carburants plus économiques peuvent entraîner un relâchement des bonnes pratiques individuelles et pénaliser la filière des véhicules électriques et hybrides

plus coûteux à l'achat que les véhicules diesel ou à essence.

Comment prendre en compte les externalités CO₂ ?

Une externalité désigne une situation où un récepteur subit les nuisances provoquées par un émetteur sans pour autant en recevoir des compensations. Les émissions de CO₂ et leurs conséquences sur le dérèglement climatique sont des externalités négatives liées à l'utilisation des combustibles fossiles. Les normes, la taxe carbone et le marché carbone permettent théoriquement de corriger cette externalité.

Les normes fixent indirectement un prix pour le CO₂ en améliorant, entre autres choses, l'efficacité énergétique des logements ou des voitures. Mais elles frappent indistinctement tous les acteurs économiques et peuvent se contourner, comme l'a montré l'affaire Volkswagen ⁽¹⁷⁾.

Taxer directement et significativement le CO₂ a pour but de motiver les électriciens et les industriels à décarboner leur outil de production. Si, pour rendre le gaz plus compétitif que le charbon, il faut aujourd'hui taxer la tonne de CO₂ à 35 €, une électricité 100 % renouvelable demanderait 350 €. Appliquée en France depuis 2014 ⁽¹⁸⁾, portée à 30 € en 2017 et anticipée à 100 € en 2030, la taxe carbone est encore loin du compte.

La troisième option est le marché du carbone. Ceux qui ont surémis achètent des quotas, ceux qui ont sous-émis revendent leurs excédents au sein d'une Bourse du carbone ou en gré à gré. Bien adapté à de grosses unités, ce système ne s'applique pas aux particuliers. Cette méthode qui octroie un « droit à polluer » est critiquée par de nombreux écologistes.

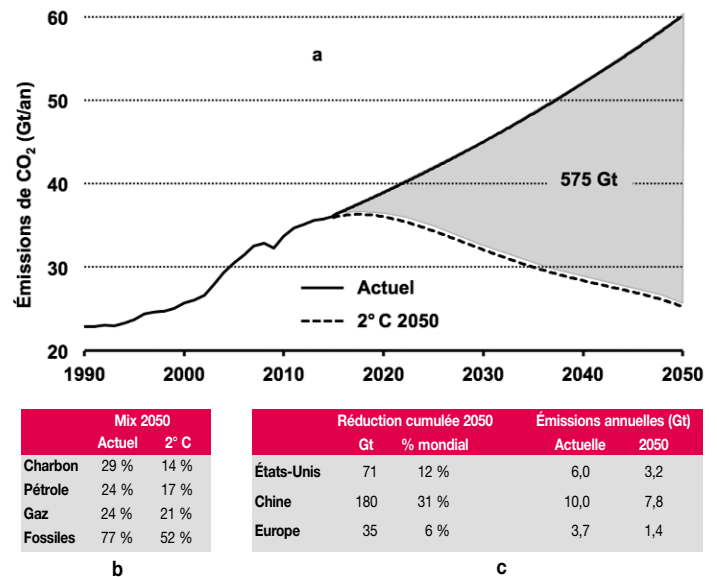
La dernière solution est le *Carbon Capture and Storage* (CCS). Elle consiste à capturer le CO₂ produit par de grosses installations industrielles puis

à le renvoyer dans le sous-sol. Réduire les émissions de 14 % demanderait de séquestrer dans le sous-sol à l'horizon 2030 80 Gt de CO₂, un volume démesuré par rapport aux timides 30 millions de tonnes (Mt) séquestrés en 2015 et aux 106 Mt envisagés pour 2020 (19).

Quel bilan de la COP 21 ?

La 21^e conférence des Nations unies sur le climat, organisée à Paris du 30 novembre au 13 décembre 2015, s'est terminée par un accord-cadre approuvé à l'unanimité. Contraignant politiquement mais en aucun cas juridiquement, il est considéré par certains comme historique, par d'autres comme insuffisant, voire non crédible. L'objectif de limiter à 1,5° C l'élévation de la température moyenne de la planète en 2100 correspondrait à un arrêt complet des énergies fossiles en 2020, ce qui en pratique n'est pas réaliste. L'objectif moins ambitieux proposé à Copenhague en 2009 (2° C en 2050) demanderait de réduire, par rapport à la tendance actuelle, les émissions cumulées de 575 Gt de CO₂ pour les ramener à 25,5 Gt de CO₂ par an. Cela impliquerait de diminuer la part des énergies fossiles à 52 % (voir figure 1a-b). L'objectif est très difficilement accessible, d'autant que la problématique climatique n'est pas, loin s'en faut, la priorité de tous. Ainsi, pour les anciens pays du pacte de Varsovie comme la Pologne, réduire la dépendance énergétique vis-à-vis de la Russie est une priorité. Aussi le charbon des mines de Silésie restera-t-il la base de la sécurité énergétique polonaise pour de nombreuses années encore. Un exemple parmi d'autres où l'histoire et la géopolitique l'emportent sur les objectifs climatiques. De plus, personne n'est prêt à sacrifier ses entreprises sur l'autel de la transition. Au cours des dix dernières années, la hausse des prix du pétrole et du gaz a grevé la balance commerciale de l'Europe. Pour maintenir la compétitivité de leurs entreprises, la plupart des pays industrialisés défiscalisent donc l'électricité, le gaz, le fioul et même le charbon et en font supporter le surcoût aux particuliers.

Figure 1 - a. Comparaison des profils mondiaux d'émissions de CO₂ en poursuivant la tendance actuelle et selon le schéma 2° C en 2050. b. Mix requis d'énergies fossiles à l'horizon 2050. c. Contribution de trois régions majeures : États-Unis, Chine et Europe.



Source des données : BP ("Energy Outlook", 2015) et IEA ("Energy Outlook", 2014).

Grâce aux gaz et pétroles de schiste, les États-Unis ont, au cours des dix dernières années, réussi une transition énergétique remarquable. Ils ont réduit de moitié leur dépendance pétrolière, ont recouvré leur indépendance gazière et commencent à exporter du GNL vers les marchés asiatiques et européens. Ils sont surtout redevenus une terre de compétitivité et de croissance et ont, grâce au déplacement de leur génération électrique du charbon vers le gaz, réduit leurs émissions de GES de près de 15 %. Un presque-sans-faute donc pour le pays de l'Oncle Sam, d'autant que, durant la même période, 66 gigawatts (GW) (20) d'éolien et 18 GW de solaire ont été installés, portant ainsi la part des renouvelables de 2 % en 2005 à 7 % en 2014 (21). Et pourtant la transition énergétique américaine ne sera pas un long fleuve tranquille. Le mix primaire 2014 contenait 86 % d'énergie fossile. Pour satisfaire l'objectif de 2° C en 2050, les émissions devront être réduites sur la période 2015-2050 de 71 Gt de CO₂ pour atteindre 3,2 Gt de CO₂ par an en 2050 (voir figure 1c). Le mix correspondant demande de contracter la part fossile à 52 %. Le

pétrole ne représenterait plus alors que 17 % et le charbon 14 %, tandis que la part du gaz serait portée à 21 %.

En conciliant un modèle économique ultralibéral avec un régime politique communiste autoritaire, la Chine a entre 1978 et 2010 multiplié son PIB par 40. Toutefois cette croissance inédite a été très gourmande en énergie. En 2014, la Chine a consommé 22 % de l'offre mondiale. Son mix énergétique contient 90 % de combustibles fossiles dont 66 % de charbon. Elle est à l'origine de 27 % des émissions mondiales de GES. Indépendante en charbon, sa dépendance pétrolière a dépassé 60 % et sa dépendance gazière 30 %. Sous peu, elle deviendra le premier client du Moyen-Orient. Le gaz est reconnu comme le principal levier de la transition énergétique chinoise. Le déplacement du charbon vers le gaz s'appuiera sur le gaz russe, le GNL américain ou la production domestique de gaz de schiste. La Chine est aussi devenue le leader mondial des renouvelables. Pour satisfaire l'objectif de 2° C en 2050, ses émissions devront être réduites de 180 Gt pour atteindre 7,8 Gt en 2050 (voir figure 1c). Le mix correspondant ne contiendra plus que 62 % de fossiles dont 31 % de charbon et 21 % de gaz. La part des renouvelables serait alors portée à 25 % et celle du nucléaire (qui compte aujourd'hui pour moins de 1 %) à 10 %.

La facture énergétique (pétrole et gaz pour l'essentiel) de l'Europe est un contributeur majeur à sa dette souveraine. La corrélation est édifiante. Fin 2014, la dette européenne frôlait 10 000 G€ tandis que sa facture pétrolière et gazière cumulée depuis 1987 atteignait 7 500 G€ (22). Bien qu'elle ait fait davantage d'efforts que ses confrères chinois et américain, l'Europe est le troisième émetteur de la planète avec 3,65 Gt de CO₂ rejetées en 2014. Pour satisfaire l'objectif de 2° C, l'Europe devra réduire ses émissions de 35 Gt de CO₂ à l'horizon 2050 (voir figure 1c). Pour ce faire, la part des fossiles devra être ramenée à 41 %. Le gaz resterait à son niveau actuel (soit 22 %), la part du pétrole sera réduite à 15 %, tandis que le charbon aura pratiquement disparu du panorama. La part des énergies non fossiles (59 %)

comprendrait 20 % de nucléaire et 40 % de renouvelables (hydro + solaire + éolien + biomasse). La facture énergétique de l'Europe se verrait fortement réduite, ce qui lui permettrait de recouvrer une meilleure croissance économique. Mais, au-delà de sa désunion politique, l'Europe souffre d'une désunion énergétique. Pendant que l'Allemagne « charbonnière » se retire du nucléaire mais importe massivement du charbon américain et que la France « nucléaire » referme définitivement le dossier « gaz de schiste », le Royaume-Uni « gazier » adopte la fiscalité la plus favorable au monde pour encourager sur son sol le développement des hydrocarbures non conventionnels. On ne peut donc que saluer l'initiative du nouveau président du Conseil européen D. Tusk, qui, en 2014, a proposé de créer l'Union européenne de l'énergie. Un cadre qui permettra aux États membres de construire une politique énergétique coordonnée conciliant réduction des émissions, compétitivité et sécurité d'approvisionnement.

Conclusion

P principal défi du XXI^e siècle, la transition énergétique doit être abordée de façon dépassionnée et rationnelle. Rien n'est impossible mais tout n'est pas possible. Complexe, transverse, impliquant de multiples composantes technologiques, économiques et sociétales, elle mérite mieux qu'un débat idéologique véhiculé par des idées reçues. Elle doit être traitée et ressentie comme une évolution volontaire positive et non comme une révolution subie.

Vu leurs faibles perspectives de croissance et leur niveau déjà faible d'intensité énergétique, les pays de l'OCDE ne détiennent plus vraiment les leviers pour peser significativement sur l'avenir énergétique de la planète. Les clés sont aujourd'hui dans les mains des pays émergents dont les économies reposent sur un modèle industriel proche de celui qui a fait la croissance des pays de l'OCDE durant les Trente Glorieuses. Cet état de fait ne fera que s'accroître au cours des prochaines décennies.

Lorsqu'elles ignorent les réalités de marchés mondialisés, les décisions politiques conduisent souvent à des effets pervers inattendus. Ainsi, le Danemark expédie ses excédents éoliens à un prix bon marché à la Norvège pour remplir ses barrages, mais, en période de pointe, il achète au prix fort des kilowattheures hydroélectriques. Quant à l'Allemagne, au lieu de se retirer du thermique (c'est la génération électrique la plus charbonnière d'Europe !) en utilisant le nucléaire pour supporter sa transition, elle a fait le choix inverse. La pression des charbonniers et le chantage à l'emploi étaient probablement trop puissants pour lui faire prendre la décision la plus logique.

Notes

1. D. I. Stern (Department of Economics, Rensselaer Polytechnic Institute), "Energy and Economic Growth", 2003.
2. A. Maddison, « L'économie mondiale : une perspective millénaire », Études du centre de développement de l'OCDE, OCDE, 2001.
3. Source : BP ("Energy Outlook", 2016).
4. N. Georgescu-Roegen, The Entropy Law and the Economic Process, Harvard University Press, 1971. Traduction du chapitre 1 en français dans La décroissance. Entropie, écologie, économie, Sang de la Terre, 2006, p. 63-84.
5. <http://www.sagess.fr/fr/logistique/mobiliser-les-stocks-de-securite-de-la-nation/stockage>
6. Aujourd'hui, cette utilisation ne représente plus que 5 % du mix électrique. C'est principalement au Moyen-Orient (Arabie saoudite, Émirats, Koweït) que le pétrole est encore massivement utilisé dans le mix électrique.
7. Les chiffres ont été établis par l'auteur d'après les données présentées dans le graphique commenté de P. Rekacewicz « La transition énergétique », Le Monde diplomatique, janvier 2005, p. 16.
8. http://www.lepoint.fr/economie/nkm-la-meilleure-energie-c-est-celle-qu-on-ne-consomme-pas-05-06-2011-1338603_28.php
9. *La chaleur fatale est la chaleur dissipée (et donc perdue) puis recondensée en eau dans le cycle thermique.*
10. Des pneumatiques sous-gonflés sont synonymes de consommation supplémentaire ; une enquête récente a montré que 71 % des Européens roulaient avec des pneus sous-gonflés. <http://www.autoblogger.fr/2013/05/07/etude-bridgestone-les-conducteurs-europeens-negligent-la-maintenance-de-leurs-pneus/>
11. *Quand on double sa vitesse, on multiplie par quatre sa consommation (formule de l'énergie cinétique). Uniformiser la vitesse à 100 km/h permettrait de réduire de 20 % la consommation de carburant.*
12. <http://inrix.com/press/embouteillages-une-facture-cumulee-de-plus-de-350-milliards-deuros-pour-la-france-sur-les-16-prochaines-annees/>
13. <http://www.planetoscope.com/automobile/837-cout-des-embouteillages-en-voiture-dans-le-monde.html>
14. BPOS : bâtiments à énergie positive.
15. https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/sites/ieeprojects/files/projects/documents/behave_guidelines_fr.pdf
16. Ph. A. Charlez, « La chute des prix du pétrole : des risques et des opportunités mais plus de risques que d'opportunités », Pétrole et gaz arabes, 31 mai 2016.
17. https://fr.wikipedia.org/wiki/Affaire_Volkswagen
18. <http://www.lefigaro.fr/impots/2015/11/25/05003-20151125ARTFIG00014-taxe-carbone-la-facture-sera-salee-pour-les-francais.php>
19. "The Global Status of CCS", Global CCS Institute, 2014.

20. Rappelons que la capacité nucléaire en France est de 63 GW. <http://www.theshiftproject.org/fr/cet-article/quelle-est-la-place-du-nucleaire-dans-la-consommation-d%E2%80%99energie-francaise>

21. M. E. Porter, D. S. Gee et G. J. Pope, "America's Unconventional Energy Opportunity", *Harvard Business School/Boston Consulting Group*, 2015.

22. Source : BP ("Energy Outlook", 2016) et Eurostat.

Bibliographie

CHARLEZ PH. A., *Our Energy Future Is Not Set in Stone*, Éditions Technip, 2014.

CHARLEZ PH. A. ; BAYLOCQ P., *Gaz et pétrole de schiste... en questions*, Éditions Technip, 2014.

CHARLEZ PH. A., *Croissance, énergie et climat. La quadrature du cercle*, à paraître en 2017.