

# Le devenir des systèmes énergétiques et des hydrocarbures dans un monde neutre en carbone

Par Claude MANDIL

Ancien directeur exécutif de l'Agence internationale de l'énergie

La « neutralité carbone » en 2050, condition essentielle pour limiter la croissance de la température moyenne mondiale à 1,5°C à long terme, est un objectif extraordinairement ambitieux, tant l'utilisation des énergies fossiles dans le monde semble durable et inévitable pour certains usages. Il sera donc indispensable d'utiliser tous les moyens disponibles : efficacité et sobriété, électrification, développement des renouvelables et du nucléaire, capture et séquestration du carbone (seule technologie capable d'obtenir des émissions négatives) ; le tout en commençant par les solutions les moins coûteuses. Certaines solutions qui paraissent attractives sont en fait des gouffres financiers.

Les conséquences pour les grands groupes industriels français sont ici analysées. Elles sont importantes, notamment pour EDF qui doit retrouver une rentabilité pour le nucléaire, et pour les constructeurs automobiles, soumis sur le véhicule électrique à une concurrence asiatique fondée sur la technologie.

« Moins de 2°C d'augmentation des températures moyennes », d'après l'Accord de Paris. Mais ce serait mieux avec seulement 1,5°C, prévient le GIEC, qui en tire la conséquence qu'il faut atteindre la « neutralité carbone » dans la seconde moitié du siècle. « Dès 2050 ! », ajoutent des voix en Europe, en particulier en France. Il est inutile d'insister sur le caractère extraordinairement ambitieux de ces objectifs. Il suffit pour s'en convaincre de rappeler que les émissions mondiales de CO<sub>2</sub> ont augmenté de 1,5 % en 2017 et que les engagements des États lors de la Conférence de Paris – les fameuses NDC – nous conduisent à un réchauffement moyen de 3,5°C.

L'objet de cet article n'est pas de rappeler ces évidences, et encore moins de discuter le bien-fondé des objectifs, mais plus simplement d'en étudier quelques conséquences, notamment industrielles, et de présenter quelques-uns des dilemmes auxquels nos sociétés et nos dirigeants auront à faire face.

## Combien cela va-t-il coûter ?

Question désagréable, généralement traitée avec un certain mépris : « Cher monsieur, la sauvegarde de l'humanité n'a pas de prix ! ». C'est exact, mais, malheureusement, elle a un coût, ce qui n'est pas la même chose. Et nous pourrions d'autant mieux nous rapprocher de l'objectif climatique que nous aurons commencé par mettre en œuvre d'abord les solutions les moins coûteuses.

Bien sûr, les choses sont un peu plus compliquées, car nous ne savons pas toujours dans quels domaines la

science et la technologie feront les progrès les plus décisifs et permettront les baisses de coût les plus spectaculaires. Le cas du photovoltaïque est là pour nous rappeler qu'une technologie très chère peut en quelques années devenir une technologie rentable. On peut néanmoins garder à l'esprit quelques raisonnements de bon sens, mais trop souvent oubliés :

- Lorsqu'une technologie comporte essentiellement des coûts fixes, il est alors nécessaire que la durée d'utilisation de l'installation soit aussi longue que possible. Par exemple, fabriquer de l'hydrogène par électrolyse, pourquoi pas... mais l'électrolyseur étant un outil très capitalistique, même si des progrès sont envisageables, il vaudrait mieux qu'il fonctionne en permanence, donc avec une électricité dite de base. Imaginer que l'électrolyse fonctionne uniquement lorsque l'électricité renouvelable est excédentaire – « puisque ça ne coûte rien » – est en réalité une solution très coûteuse.
- Quand le rapport entre le coût actuel et le prix de marché est de 2, voire de 3 ou 5, on peut espérer que le progrès technique viendra combler ce handicap. Quand il est de 50 ou de 100, plus qu'une absurdité, c'est un scandale. C'est l'exemple de la désastreuse « route photovoltaïque ».

## Faudra-t-il arrêter tout recours aux énergies fossiles ?

Bien entendu, moins on utilisera d'énergies fossiles, et plus on pourra réduire les émissions de CO<sub>2</sub>, comme

l'aurait dit Monsieur de La Palice. La question est donc : « Est-il crédible d'arriver à zéro en 2050 ? ». À l'évidence, non. Dans son « World Energy Outlook 2018 », l'Agence internationale de l'énergie prévoit qu'en 2040, même dans son scénario SDS, le plus respectueux du développement durable, la part des énergies fossiles dans la demande mondiale d'énergie primaire sera de 60 % ! On peut ironiser sur l'AIE, la trouver timorée, voire sous influence des lobbies ou de gouvernements climato-sceptiques, l'écart est tel que cela signifie que l'on n'atteindra pas zéro en 2050. Faut-il donc baisser les bras ? Pas nécessairement, mais il va nous falloir affiner l'analyse et faire la différence entre les émissions concentrées et les émissions diffuses.

## Les émissions concentrées : objectif zéro !

Les émissions concentrées sont toutes celles produites par les grandes installations industrielles. La production d'électricité tout d'abord, mais gardons-nous d'oublier les autres : la sidérurgie, les cimenteries, l'industrie agro-alimentaire, l'industrie chimique... Pour certaines, en particulier les cimenteries et la sidérurgie, les émissions sont des émissions de procédé, c'est-à-dire qu'elles existent même si l'énergie utilisée est décarbonée. Or, personne n'envisage sérieusement de se passer de ces activités. Pour ce qui concerne la production d'électricité, c'est même l'inverse : la meilleure façon de réduire les émissions diffuses est d'accroître l'utilisation de l'électricité dans les transports et les bâtiments. Il faudra donc produire *plus* d'électricité.

La bonne nouvelle est que l'on sait, dès aujourd'hui, supprimer les émissions concentrées. La mauvaise nouvelle, c'est que les opinions publiques ne veulent pas des moyens nécessaires, en tout cas en Europe.

Les trois moyens sont connus : électricité renouvelable, nucléaire et CCS (acronyme anglais pour Capture et séquestration du CO<sub>2</sub>). Aucun d'eux n'est soutenu avec enthousiasme.

- L'électricité renouvelable jouit certes d'un préjugé favorable, mais à la condition que les éoliennes ne soient pas « dans mon jardin », ni même « dans ma zone de pêche ». Or, les perspectives de croissance de l'éolien font qu'un nombre grandissant de jardins et de zones de pêche vont être concernés ! Le photovoltaïque est mieux toléré, mais les conditions climatiques sous nos latitudes lui interdisent de jouer un rôle prépondérant. Quant à la flexibilité accrue que leur intermittence rend nécessaire, elle devra pour l'essentiel être assurée par des moyens de stockage ou d'hybridation eux-mêmes directement ou indirectement émetteurs.
- Le nucléaire n'a pas bonne presse en Europe, c'est le moins que l'on puisse dire ! On le dit dangereux (les accidents), polluant (les déchets), coûteux (les déboires de l'EPR), voire impraticable, le changement climatique rendant problématique la capacité de refroidissement des cours d'eau.

Aucune de ces critiques n'est complètement infondée, mais aucune n'est totalement exacte. Le danger potentiel

est indéniable, et aucune concession ne doit être tolérée à l'égard des exigences de sûreté, mais les deux seuls accidents gravissimes (Tchernobyl et Fukushima) sont intervenus dans des pays qui n'avaient pas la culture de sûreté nécessaire (eh oui, c'est aussi vrai pour le Japon !). Les déchets sont un problème difficile, mais en voie de résolution en France. Le coût du nucléaire du futur est peut-être le problème le plus préoccupant : si EDF ne réussit pas à développer un réacteur significativement plus économique que l'EPR actuel, alors le nucléaire du futur sera russe ou chinois. Quant à la recherche de sites nouveaux, il est vrai qu'ils devront être principalement situés sur le littoral, et donc en nombre modeste.

Il reste que le nucléaire ne produit aucune émission de gaz à effet de serre (sauf un peu pendant la phase de construction et pour l'extraction du minerai), que sa consommation de substances rares est très modeste, et que ce serait folie de le rayer de la liste des outils à utiliser. Les ONG qui ont lancé fin 2018 leur grande pétition sur le climat ont cru bon d'y inclure la sortie du nucléaire : c'est une malhonnêteté intellectuelle.

- Reste le CCS, dont le statut est réellement étrange. Voici une technologie qui est ancienne, prouvée par des années de mise en œuvre, d'un coût modeste par rapport à d'autres – il suffit pour s'en convaincre d'imaginer que des centrales électriques à charbon avec CCS pourraient bénéficier des mêmes tarifs de rachat que ceux qui ont été consentis au photovoltaïque en Europe.

18 installations fonctionnent dans le monde, 5 sont en construction, et une vingtaine d'autres en projet. Mais seule une petite dizaine de pays y ont recours : États-Unis, Canada, Norvège, Pays-Bas, Royaume-Uni, Australie, Chine, Japon et Abu Dhabi. Les autres pays, en particulier les autres pays européens, soit s'en détournent, soit même la bannissent comme l'Allemagne.

Aucune des raisons invoquées ne résiste à l'analyse : 1) le coût tout d'abord : le GIEC estime que la dépense pour atteindre l'objectif plus 2°C serait deux fois et demie plus élevée sans CCS qu'avec CCS ; 2) la maturité du procédé, ensuite : la séparation du CO<sub>2</sub> est un procédé courant dans l'industrie, et ce depuis des décennies ; son transport est une activité banale et son injection dans des réservoirs géologiques n'est pas plus compliquée que l'injection de méthane pratiquée dans nos grands stockages de gaz naturel ; 3) puis le danger en cas de fuite : faut-il rappeler que le CO<sub>2</sub> n'est pas toxique, qu'il existe dans notre atmosphère et donc que nous le respirons ? À supposer qu'un réservoir perde 10 % de son CO<sub>2</sub> (ce qui n'est pas le cas des installations actuelles), cela signifierait que 90 % du gaz a pu être stocké, c'est quand même beaucoup mieux que s'il avait été entièrement rendu à l'atmosphère ! 4) Enfin, reste le grand argument politique : pratiquer le CCS, c'est encourager le maintien de l'utilisation du charbon. Malheureusement, comme nous l'avons déjà souligné, on ne se passera pas du charbon, ni du gaz, à l'horizon 2050. Et nous ne pourrions nous passer ni des cimenteries, ni de la sidérurgie, pas plus que de l'industrie agro-alimentaire.



Installations de capture du carbone d'une centrale électrique au sud-ouest de Houston (Texas).

« Seule une petite dizaine de pays ont aujourd'hui recours à la capture du CO<sub>2</sub>. »

En résumé, l'objectif zéro dans le cas des émissions concentrées est parfaitement atteignable, si et seulement si l'on accepte de se servir des trois outils à notre disposition : les énergies renouvelables, le nucléaire et le CCS.

### Les émissions diffuses : les réduire au minimum (mais ce ne sera pas zéro)

Une chose est claire : il ne sera pas possible d'appliquer le CCS aux émissions des gaz d'échappement des voitures, des avions, des chaudières à charbon, au fioul ou à gaz. Pour toutes les émissions diffuses, l'objectif doit donc être, d'une part, de réduire les consommations (nous y reviendrons) et, d'autre part, d'utiliser au maximum des vecteurs énergétiques non carbonés : l'électricité, l'hydrogène ou la biomasse, qui contient du carbone, mais du carbone puisé dans l'atmosphère et donc recyclé. C'est possible, mais encore faut-il se méfier des slogans et des raisonnements faux. Exemples :

- Les voitures électriques ont besoin de batteries, qui contiennent un certain nombre de métaux (lithium, en particulier), dont la métallurgie réclame des quantités énormes d'énergie, généralement fossiles, compte tenu des pays dans lesquels elle est pratiquée. D'où une première conclusion : la voiture électrique permet de réduire les émissions de gaz à effet de serre si la recharge est effectuée avec une électricité décarbonée, mais elle ne permet pas, pour l'instant, d'atteindre le « zéro émission ». Une révolution dans la technologie des batteries est-elle possible ? Sera-t-elle conduite en Europe, afin

d'échapper à la domination absolue de la Chine sur la technologie Lithium-ion ? Il faut s'en donner les moyens, sans pour autant négliger les autres pistes de progrès, comme l'objectif d'une voiture « 2 litres/100 km ».

- L'hydrogène – comme cela a déjà été mentionné plus haut – est coûteux à produire, sauf si l'on a recours au craquage du méthane, avec bien sûr mise en œuvre du CCS. Il est également coûteux à distribuer en station-service. Enfin, les piles à combustible, qui utilisent l'hydrogène pour propulser les véhicules, sont également d'un prix exorbitant. Conclusion : la mobilité n'est sans doute pas l'utilisation la meilleure pour l'hydrogène (en tout cas pour les voitures individuelles), qui aura en revanche toute sa place dans les processus industriels.
- La biomasse peut être une solution intéressante, mais l'on se heurte à deux contraintes : son utilisation peut provoquer de la pollution locale (contrairement à l'électricité et à l'hydrogène) et surtout sa production entrera souvent en concurrence avec d'autres usages du sol, en particulier pour l'alimentation humaine ; or, ces situations de concurrence risquent elles-mêmes d'être exacerbées par... le changement climatique inéluctable !
- L'idée bucolique de l'énergie répartie, selon laquelle chaque foyer ou chaque communauté locale produit l'énergie qu'il consomme sur place, est une idée sympathique ; elle peut être encouragée là où c'est possible, mais à la condition d'avoir conscience que cela ne peut concerner qu'une petite fraction de la consommation d'énergie : celle consommée en zone rurale ou péri-urbaine. Or, s'il est un point sur lequel les experts sont

d'accord, c'est sur l'augmentation inéluctable de l'habitat urbain, surtout dans les grandes métropoles, là où la production locale d'énergie devient acrobatique.

En résumé : n'exclure aucune piste, mais se méfier des solutions miracles, et ne pas oublier de prendre en compte la totalité des émissions et la totalité des coûts tout au long du cycle de vie.

## Des émissions négatives ?

Puisque les émissions ne vont pas disparaître, en tout cas dans le secteur diffus, l'objectif zéro émission suppose des émissions négatives quelque part ailleurs. On ne voit guère que deux possibilités, bien entendu avec recours au CCS dans les deux cas : la capture directe du CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère (DCR, pour Direct Carbon Removal) ou l'utilisation énergétique de la biomasse (BECCS). La première piste a donné lieu à des prototypes de faible capacité, elle est très gourmande en énergie ; la seconde aura en permanence à affronter le problème de la concurrence avec les usages alimentaires des sols. Donc des pistes, mais pas des solutions miracles.

## Quelles conséquences pour les grands groupes français du secteur ?

On ne peut pas imaginer que les changements radicaux qu'exige l'atteinte de l'objectif « plus 1,5°C » seront sans conséquence sur le tissu industriel français, et plus généralement européen. Le sujet nécessiterait une étude approfondie. Bornons-nous à quelques remarques superficielles concernant les principaux acteurs du secteur.

- L'industrie pétrolière, et en particulier Total, verra à terme son activité traditionnelle se dérober sous ses pieds. L'inquiétude doit être néanmoins tempérée : tout d'abord, le taux de déclin des gisements actuels est plus élevé que le taux de réduction prévisible de la demande, ce qui éloigne le spectre de devoir constater des actifs inutilisables (les *stranded assets*). Ensuite et surtout, la véritable compétence du secteur pétrolier mondial, qu'il est à peu près le seul à détenir, est de savoir lancer et gérer des projets d'un montant de plusieurs dizaines de milliards, techniquement, financièrement et commercialement. Le basculement progressif vers l'électricité et les énergies renouvelables ne se produira pas, quoi que l'on ait pu parfois dire, sans ces « méga-projets ». Le virage sera sans doute délicat à négocier, notamment pour l'industrie du raffinage, dont la répartition des produits est amenée à se modifier considérablement (disparition du fuel lourd, forte réduction des carburants, maintien du kérosène, développement des bases pétrochimiques légères...). Mais l'inquiétude n'est pas de mise... L'industrie gazière peut, avec des nuances, être rangée dans la même catégorie. Elle possède en outre les compétences pour se lancer dans le biogaz.
- EDF, on l'a vu, bénéficie d'un secteur particulièrement porteur. Mais elle doit impérativement résoudre un problème spécifique : la rentabilité du nucléaire du futur. Il n'y a pas pour cette entreprise de défi stratégique plus important.

- Veolia et Suez – les « utilités environnement », comme on les appelle – sont elles aussi sur des marchés appelés à progresser, en particulier le recyclage des métaux rares et ce que l'on appelle la « mine urbaine ». En outre, elles disposent au plan mondial d'un savoir-faire inégalé en matière de délégation de service public, ce qui devrait leur permettre de créer et de développer les nouveaux métiers liés à la capture et à la séquestration du CO<sub>2</sub>.
- L'industrie automobile, quant à elle, doit faire face à un défi autrement plus redoutable : alors qu'elle s'est spécialisée en Europe dans les moteurs à combustion interne, avec le succès remarquable que l'on connaît, voilà que l'avenir semble appartenir aux véhicules électriques ou hybrides, donc... à l'Asie, en particulier à la Chine. Les Européens parviendront-ils à s'imposer sur ce nouveau marché ? Avouons qu'ils partent avec un certain retard, aggravé par la suprématie asiatique dans le domaine des batteries. Dans ce dernier secteur, le sursaut est doublement indispensable : en premier lieu, pour éviter une domination technologique totale, mais aussi parce que la technologie actuelle, très gourmande en énergie, n'est pas satisfaisante dans la mesure où elle ne permet pas d'atteindre les objectifs climatiques.
- Il va de soi que plus d'électricité et plus d'urbanisation supposent plus de technologies de l'information et de la communication. Mais le problème n'est pas spécifique à la transition énergétique : l'Europe saura-t-elle résister aux GAFA ?

## L'opinion française est-elle prête ?

La description des solutions possibles, de leur potentiel respectif, de leurs limites et des difficultés de leur mise en œuvre, à laquelle nous venons de procéder, donne l'impression que la préconisation du GIEC est une « mission impossible ». Et pourtant, il faudra bien y arriver, ou du moins s'en rapprocher le plus possible. Rien ne sera possible si les citoyens n'adhèrent pas pleinement aux changements nécessaires.

De ce point de vue, l'épisode des Gilets jaunes est pré-occupant. Comme toutes les solutions sont imparfaites, avec des avantages et des inconvénients, le risque existe qu'une partie de l'opinion s'empare d'un choix politique, monte en épingle ses aspects négatifs, et de ce fait le rejette, sans apprécier les contreparties positives, ou avec l'impression que ceux qui en pâtissent ne sont pas les mêmes que ceux qui en profitent. Il est clair que la transition énergétique ne pourra pas être imposée d'en haut. Quelques précautions paraissent indispensables : éviter le gaspillage des fausses pistes (voir *supra*), décrire avec clarté les avantages et les inconvénients de chaque politique, afin d'éviter, si cela est possible, les propositions du type « Y a qu'à », s'assurer que le coût de la politique ne pèse pas abusivement sur les catégories les plus modestes, compenser ce coût pour celles-ci, avec effet immédiat et non pas différé. Contrairement à ce que l'on entend souvent, le produit financier d'une éventuelle taxe carbone ne doit pas être consacré au financement de mesures visant à réduire les émissions, puisque la taxe a cet effet par elle-même. Il doit être utilisé pour en effacer

le coût pour les citoyens les moins favorisés et les moins en mesure de réduire leur consommation.

Enfin, sans doute faudra-t-il se résoudre à accepter l'idée, sinon d'une décroissance économique, puisque nos économies ne savent pas le faire sans détruire des emplois, du moins d'une guerre sans merci – mais au moindre coût – au gaspillage des ressources énergétiques et minérales. Si l'austérité est triste, la sobriété peut être joyeuse. Ce ne sera pas là le moindre des changements de comporte-

ments auxquels nos sociétés vont être appelées à opérer. Et il faut bien reconnaître que si nous sommes convaincus de la nécessité de réduire les consommations d'énergie, nous pensons plus à celles du voisin qu'aux nôtres.

Face à l'impératif de réussir en dépit des difficultés de la tâche, il nous faut plus que jamais reprendre à notre compte la maxime de Guillaume d'Orange : « Point n'est besoin d'espérer pour entreprendre, ni de réussir pour persévérer. »