

POINT DE VUE

Le gaz, une énergie climato-compatible

Hervé Casterman

À la veille de la conférence de Paris sur le climat (COP21), le gaz naturel apparaît comme une partie de la solution pour relever le défi énergie-climat. Fort de ses nombreuses qualités, il peut satisfaire les besoins de tous les secteurs de consommation dans les meilleures conditions économiques et environnementales. Le système gazier constitue un atout pour la transition énergétique, avec la substitution du gaz naturel au charbon dans la production d'électricité, la réponse apportée à l'intermittence des énergies renouvelables électriques telles que l'éolien et le photovoltaïque, et la capacité des infrastructures à véhiculer un gaz de plus en plus vert avec le bio-méthane et l'hydrogène.

2°C : cet accroissement de la température moyenne du globe, par rapport à la période 1861-1880¹, est le plafond que se sont donnés les scientifiques pour un changement climatique acceptable par l'humanité. Au-delà, ils ont alerté les gouvernements sur les conséquences irréversibles et graves car le rythme de ces changements dépassera les capacités d'adaptation de nombreux écosystèmes et espèces vivantes. Les récents progrès de la connaissance du vivant montrent que le bien-être de l'humanité est fortement dépendant des écosystèmes – pour la production alimentaire, par exemple – qui vivent aujourd'hui une profonde mutation : de nombreux experts en biodiversité estiment que nous vivons le début d'une sixième grande extinction – la cinquième étant celle des dinosaures – avec un rythme de disparition des espèces probablement 1 000 fois plus important que la normale. Les causes en sont multiples, mais le changement climatique en est une raison majeure. En milieu marin par exemple, l'acidification des océans conduit à

La Terre a connu un réchauffement de 0,85°C depuis le début de l'ère industrielle

une perte de phytoplancton évaluée à environ 1 % par an, d'après une récente étude.

Le changement climatique est déjà une réalité : la Terre a connu un réchauffement de 0,85°C depuis le début de l'ère industrielle, un phénomène qui se poursuit. Chacune des trois dernières décennies s'est avérée plus chaude que la précédente, et bien au-delà des décennies antérieures. Depuis 1992, chaque rapport du Groupement d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) – le cinquième vient d'être publié – fait le constat d'une aggravation du phénomène comparé aux projections du rapport précédent. C'est une menace sérieuse, souvent sous-estimée. S'il est assimilé à une légère augmentation de température par de nombreux citoyens, des actions de pédagogie doivent encore être menées pour rappeler que, d'une part, les effets de ce réchauffement moyen ne sont pas linéaires (à l'image de l'augmentation de la température corporelle) et que, d'autre part, les impacts du dérèglement climatique iront bien au-delà du seul changement de température moyenne du globe. Outre le bouleversement rapide de la

1. Période pré-industrielle.

biodiversité engendrant des risques sanitaires, la multiplication et l'amplification possibles² des phénomènes météorologiques extrêmes (tempêtes, inondations, périodes prolongées de sécheresse...), la montée du niveau des océans aura des conséquences majeures sur toutes les activités humaines du littoral, avec des déplacements massifs de populations et des implications géopolitiques. Ainsi, dans son scénario le plus défavorable, le GIEC estime que, avec la fonte des glaces d'eau douce et le fait que l'océan ait absorbé plus de 90 % de l'augmentation nette d'énergie dans l'atmosphère terrestre sur les quatre dernières décennies, la montée des eaux pourrait atteindre presque 1 mètre d'ici la fin du siècle. La lutte contre le changement climatique n'est donc plus une option : c'est une priorité. Les États-membres de l'ONU en sont convenus, en adoptant cet objectif de +2°C lors de la conférence sur le climat de Copenhague, en 2009.

N'ayant pas à disposition de thermostat pour réguler la température moyenne de la basse atmosphère, les gouvernements et autres organisations ont besoin de données plus opérationnelles pour guider leurs actions. Le GIEC a traduit l'évolution de la température en « budget carbone ». Le changement climatique résulte de l'accumulation excédentaire des divers gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère. Certains GES, telle la vapeur d'eau, sont en grande partie indépendants de l'activité anthropique. L'ère pré-industrielle vivait un équilibre à environ 18°C en moyenne planétaire, la concentration en GES étant stabilisée par les effets cumulés d'absorption par les végétaux et les océans. Ces deux derniers siècles, le développement rapide de l'activité humaine, essentiellement industrielle, a rompu cet équilibre en élevant les émissions de GES au-delà des capacités d'absorption de la Terre. Le gaz carbonique étant majoritaire

parmi ces émissions³, il est devenu une référence pour les mesures scientifiques : le « CO₂ équivalent » permet ainsi d'additionner des émissions de GES dont le pouvoir de réchauffement de l'atmosphère varie⁴. À une quantité donnée de concentration de CO₂ équivalent dans l'atmosphère, correspond une température moyenne donnée. Il est dès lors possible de calculer le budget carbone qui permet de respecter l'objectif plafond de +2°C à une probabilité donnée. Pour une probabilité de 2/3, le budget carbone total est de l'ordre de 2 900 gigatonnes (Gt) de CO₂. À ce jour, 1 900 Gt ont déjà été émises dans l'atmosphère : l'objectif +2°C nous impose donc de cantonner les émissions à venir sous la barre des 1 000 milliards de tonnes de CO₂ équivalent. Sachant que le rythme actuel est de l'ordre de 35 Gt par an, il nous reste peu de temps pour évoluer vers une société post-carbone.

Pour donner un ordre de grandeur de l'effort à accomplir, les climatologues ont calculé que les émissions anthropiques mondiales devraient être diminuées de moitié d'ici à 2050.

Un réchauffement de 3,6°C à la fin du siècle !

L'enjeu est de taille : dans le scénario central⁵ de son étude annuelle publiée en 2014, l'Agence internationale de l'énergie (AIE) prévoit qu'en dépit des engagements

et efforts annoncés par l'Europe, les États-Unis et la Chine, ce budget serait épuisé dès 2040, avec un réchauffement de 3,6°C à la fin du siècle !

Un engagement international pris voici plus de 20 ans...

Les conclusions du premier rapport du GIEC ont incité les Nations unies à créer, en 1992⁶, la Convention cadre des Nations unies sur le changement climatique (CCNUCC). Depuis, chaque année, lors d'une conférence des par-

2. Sans qu'il y ait, à ce jour, de consensus des experts, cette éventuelle conséquence du changement climatique est de plus en plus étudiée et mentionnée dans les publications scientifiques.

3. Les autres principaux gaz à effet de serre sont les CH₄, N₂O, HFC, PFC, SF₆.

4. En fonction de la nature et de la forme de la molécule, de sa durée de vie et de son évolution (recombinaison).

5. Scénario relativement proche d'un *business as usual*.

6. Au Sommet de la Terre à Rio.

ties sur le climat (COP), les gouvernements négocient âprement pour engager de concert les actions nécessaires de lutte contre le changement climatique. Ces efforts n'ont pas été vains avec, en particulier, l'adoption en 1997 du protocole de Kyoto qui engageait les pays signataires (une partie des pays occidentaux et de l'ancien bloc soviétique) à baisser leurs émissions en moyenne globale de 5,2 % (avec des objectifs très différenciés selon les pays) sur la période 2005-2012, en référence à l'année 1990. Il faut voir cet accord comme une première étape, une « mise en jambe », car il s'est révélé si ce n'est infructueux (l'objectif global a été atteint), du moins insuffisant. Diverses raisons à cela : l'absence des plus gros émetteurs, USA et Chine en particulier, a contraint le périmètre du protocole à environ 1/4 des émissions mondiales ; les résultats ont été obtenus en grande partie par le ralentissement – voire la récession à certains moments – de l'activité économique ; enfin, l'approche de réduction (*top down*) a été perçue par de nombreux États comme une atteinte à leur souveraineté ou une entrave à leur développement.

La conférence de 2009 à Copenhague devait donner une suite à cette première étape. L'accord conclu n'a pas répondu aux attentes, en particulier parce qu'il s'est limité à quelques pays dans une forme de négociation qui, pour un temps, a pu laisser croire à la fin de la CCNUCC. Il a néanmoins permis d'obtenir des engagements quantitatifs de la part de pays qui n'avaient pas ratifié le protocole de Kyoto. Il a ouvert la porte à une approche plus réaliste, moins contraignante, tenant compte de la croissance économique (dite *bottom up*), plus susceptible de rallier l'ensemble du cortège des États dans la cause climatique. Les conférences ultérieures se sont attachées à réorienter les négociations au sein du processus de la CCNUCC et à préparer la conférence COP21 qui se tiendra à Paris fin 2015.

La COP21 est d'une grande importance car elle est vue comme la dernière chance d'un accord post-2020 (compte tenu des délais de mise en œuvre) jugé indispensable pour le

respect de l'objectif +2°C. Cet accord, applicable à tous les pays, aura une valeur juridique⁷ dont les modalités restent à définir. En complément des contributions nationales (INDC⁸), ces engagements que les États sont convenus de transmettre avant la COP21, qu'il devra organiser dans la durée pour leur renforcement à échéance régulière afin de coller à l'objectif à long terme⁹, cet accord devra également fixer les règles de transparence et de vérification nécessaires au succès de l'action engagée.

La COP21, réunion de la dernière chance ?

En parallèle, l'ONU a lancé un « agenda des solutions » afin de mobiliser des acteurs non étatiques, en appui des négociations des gouvernements, pour démontrer la faisabilité d'engagements à d'autres niveaux que ceux des politiques, que ce soit par des accords sectoriels, des partenariats public-privé ou d'autres formes. On peut voir cette démarche innovante – la présence du secteur économique dans les négociations s'était jusqu'à présent cantonnée à un rôle d'observateur – comme une réponse au risque d'attentisme de nombreux pays. Parmi eux, des pays de l'OCDE aux difficultés économiques structurelles qui rechignent à mettre en œuvre des politiques climatiques jugées trop coûteuses.

La question des financements apparaît comme une condition-clé de la réussite de la COP21. Le *Green Climate Fund* qui se met en œuvre doit être doté de 100 milliards \$ par an¹⁰ afin d'aider les pays en développement à s'engager dans une économie bas carbone et à se développer. Parce qu'il est étroitement lié à la question de l'équité (équité de l'accès à ces financements, prise en compte

7. Selon la décision prise à Durban.

8. *Intended Nationaly Determined Contribution*.

9. À l'image des engagements post-Copenhague, il est très probable que la somme des INDC ne suffise pas à inscrire l'action globale sur une trajectoire compatible avec +2°C.

10. Il est doté à ce jour d'un peu plus de 10 milliards \$.

de la responsabilité différenciée historique des États...), le financement apparaît comme un pilier fondamental pour le succès des négociations.

Cette question est aussi indissociable de la problématique de l'adaptation. Quelle que soit l'évolution du climat, tous les pays auront à s'adapter aux impacts du dérèglement climatique qui ne seront pas négligeables et dont les premiers effets se ressentent déjà. Le coût d'adaptation a été évalué à environ 150 milliards € par an entre 2025 et 2030 et de l'ordre de 230 à 450 milliards € en 2050¹¹. Il sera plus élevé encore si l'on ne parvient pas à contenir à 2°C la hausse de température. Les pays du Sud sont les plus vulnérables. Ne disposant pas des capacités technologiques, pour la plupart, et de financement des actions d'adaptation, ils seront de fait très sensibles au volet financement de l'accord à venir.

Que Paris COP21 soit un succès – ce que nous appelons de tous nos vœux – ou non, cet événement ne sera qu'une étape dans un processus long et complexe : parce qu'il faudra piloter la mise en œuvre de l'accord souhaité, parce que ce processus est une tentative de gouvernance mondiale sur un sujet qui touche directement le développement des nations (il faut inventer une nouvelle économie compatible avec le climat), leur souveraineté (il faut développer des règles communes à la fois internationales et différenciées, éviter le dumping environnemental¹²) et l'ensemble des citoyens (en l'état actuel de la technologie, une société post-carbone n'est pas envisageable sans prise de conscience des individus et changement de comportement).

L'énergie, qui représente environ 2/3 des émissions mondiales, et à un degré moindre la production alimentaire sont au cœur du débat. Jusqu'à ce jour, la politique dans ces domaines a rencontré peu de succès dans ses tentatives

d'harmonisation supranationale¹³. La gouvernance mondiale du climat est un formidable challenge !

La question du climat est aussi une question d'énergie

À ce jour, il est impossible d'imaginer le développement humain sans recours à l'énergie. De fait, la demande d'énergie est tirée par la croissance démographique et par la croissance économique, celle de l'activité humaine. Avec la perspective d'héberger environ 2,5 milliards de personnes supplémentaires sur notre planète d'ici à 2050 – la quasi totalité dans les pays en développement – et d'une croissance économique dont le modèle repose sur la consommation d'énergie, l'augmentation des besoins en énergie dans les prochaines décennies apparaît inéluctable. Elle sera concentrée dans les pays émergents et en développement.

Ainsi, l'AIE prévoit un bond de 37 % d'ici à 2040¹⁴, malgré une réduction de l'intensité énergétique de la croissance – ralentissement de la demande, d'un peu plus de 2 % par an ces deux dernières décennies à 1 % par an après 2025 – justifiée par un développement accru des activités de services par rapport à l'industrie¹⁵.

La satisfaction de cette demande croissante d'énergie nécessite, en l'état actuel de la science et des technologies, de faire appel à toutes les énergies. De ce fait, la part des énergies fossiles, restée relativement constante aux alentours de 80 % ces trente dernières années, devrait baisser à un peu moins de 75 % d'ici à 2040, avec un recul du charbon et du pétrole et un accroissement de la part du gaz et des énergies non carbonées. Le gaz passerait de 21 à 24 % du total (ce qui correspond à un accroissement de 56 % en volume), le nucléaire de 5 à 7 %, les énergies renouvelables (ENR) de

11. Le 5^e rapport du GIEC mentionne un coût de 70 à 100 G\$/an pour les pays en développement d'ici à 2050, mais reconnaît que ces chiffres sont probablement très sous-estimés (ils pourraient doubler ou tripler après 2030 et être de l'ordre de 4 à 5 fois le niveau estimé à l'approche de 2050).

12. Fuites de carbone.

13. La Politique agricole commune et la politique énergétique européenne illustrent toute la difficulté de la tâche.

14. Scénario central du *World Energy Outlook* 2014.

15. Au niveau mondial et à niveau de valeur ajoutée équivalent, les activités de services sont environ 10 fois moins énergivores que celles de l'industrie.

14 à 19 %. Les scénarios alternatifs de l'AIE ne modifient pas ces tendances : dans le scénario 450 ppm (parties par million), correspondant à l'objectif +2°C, la part des énergies fossiles reste majoritaire avec 70 % en 2030 et 23 % pour le gaz.

L'AIE estime que le secteur électrique est sans doute celui qui peut le plus aisément réduire ses émissions de GES : 7 200 GW de nouvelles capacités seront nécessaires d'ici à 2040 pour satisfaire l'accroissement de la demande et le remplacement des 40 % du parc actuel des installations qui atteindront leur fin de vie d'ici là. Les ENR devraient occuper le plus grand rôle dans cet accroissement (plus de la moitié) devant le gaz, puis le charbon et le nucléaire. Seul le pétrole verrait sa capacité en volume diminuer. La part des ENR pourrait atteindre 1/3.

Bien sûr, seul l'avenir pourra nous dire la justesse de ces prévisions. En complément des grands fondamentaux que sont croissances démographique et économique, beaucoup de facteurs modèlent l'évolution du système énergétique, influant sur la demande avec des éléments monétaires (taux de change, inflation ou déflation...), fiscaux (taxes...), sociologiques et politiques, ou pesant sur l'offre avec des éléments géophysiques (découverte de gisement, catastrophe naturelle...), technologiques (stockage de l'électricité, capture et stockage du CO₂ [CSC], fusion nucléaire...) ou géopolitiques (exclusion du charbon, embargo...). De même, les situations resteront très contrastées selon les régions, que ce soit en termes de prix de l'énergie, d'effort d'efficacité énergétique, de réglementation ou de nature de la croissance économique. Un point commun néanmoins, l'aspiration de l'être humain à son développement définit trois conditions¹⁶ pour le système énergétique : sécurité énergétique ; accessibilité et équité ; environnement et durabilité. Si la première a mobilisé les pays industrialisés depuis le début de l'ère industrielle, les deux

suivantes ont pris une importance croissante ces dernières décennies.

Comment le changement climatique peut-il redistribuer les cartes du jeu énergétique ?

Si, longtemps, les bâtisseurs de l'énergie se sont mobilisés sur la satisfaction d'une demande croissant régulièrement et relativement localisée dans les pays industriels, ils sont aujourd'hui confrontés à un cahier des charges beaucoup plus complexe : une arrivée massive de nouveaux consommateurs (hors OCDE) et, de façon simultanée, un niveau d'exigence environnementale encore jamais rencontré. Le système énergétique saura-t-il répondre à ces attentes ?

Ce challenge de la transition énergétique appelle une réponse globale, car les enjeux sont planétaires, et économiquement efficiente. Elle passe d'abord par l'efficacité énergétique dont le rôle est fondamental.

L'efficacité énergétique est une nécessité : elle modère la demande d'énergie pour une activité donnée (amélioration de l'intensité énergétique), réduit la facture d'énergie et les impacts environnementaux. En ralentissant l'évolution de la demande, elle soulage la pression sur le développement des technologies bas carbone (permettant ainsi une gestion économique plus efficiente du délai de mise sur le marché, ou *time to market*). Elle offre également une respiration en compensant les nouvelles demandes d'énergie issues de l'évolution de nos modes de vie (mobilité accrue, nouveaux services de confort tels que domotique et climatisation...)

La fin du siècle dernier a montré des gains rapides dans ce domaine, en particulier dans le secteur industriel. Des marges importantes de progrès subsistent, que ce soit dans le secteur résidentiel et tertiaire¹⁷ ou dans le secteur

L'efficacité énergétique est une nécessité

16. Trilemme du Conseil mondial de l'énergie.

17. Bien que de nombreux obstacles soient présents : financement ; nombre important d'acteurs aux intérêts pas toujours convergents...

électrique¹⁸. Mais ne sous-estimons pas les difficultés. La rentabilité des actions d'efficacité énergétique (que l'on peut aussi approcher par la notion de coût d'abattement du CO₂) est très variable selon les secteurs et dépend évidemment du coût de l'énergie. De même, le facteur comportemental ne doit pas être ignoré, car la baisse de la facture d'énergie amène parfois la tentation de consommer plus. Enfin, la consommation croissante d'énergie induite par la substitution capital-travail a généré d'importants gains de productivité à l'ère industrielle ; les efforts de maîtrise de l'énergie peuvent être perçus comme une menace sur la recherche de productivité. Pour ces différentes raisons, il est crucial que les politiques *ad hoc* et les prix des énergies donnent les bons signaux pour « changer de braquet ». L'effort ne sera toutefois pas suffisant.

Les énergies renouvelables sont indispensables. Mais, à ce jour, elles ne répondent que partiellement à l'équation énergétique. Si elles ont, pour la plupart, des impacts environnementaux relativement limités, elles ne garantissent pas complètement accès à l'énergie et sécurité énergétique. À l'exception de l'hydraulique, ces technologies en cours de développement, à des stades variables, n'ont pas encore atteint la maturité économique leur permettant de faire jeu égal avec les énergies fossiles. Hormis l'hydraulique, la géothermie et, dans une moindre mesure, la biomasse, ces énergies sont limitées par une densité énergétique très faible et l'intermittence de la ressource. Dès lors, la question se pose du rythme de leur développement et de leur déploiement. Dans la lutte contre le changement climatique, certains gouvernements se sont focalisés sur la solution ENR, confondant objectif de réduction des GES et moyens (dont les ENR) et minimisant parfois les obstacles à franchir, que ce soit en termes de maturité technico-économique, d'intégration dans le

système énergétique, d'acceptabilité par les populations riveraines des équipements ou utilisatrices. Il n'y a pas de doute sur le fait que la direction donnée soit la bonne réponse¹⁹, mais les chemins pour y parvenir font débat. La transition énergétique ne peut être instantanée. En conséquence, il est essentiel que les pouvoirs publics veillent à l'optimisation de la combinaison ENR et énergies fossiles afin d'assurer notamment continuité de fourniture, résilience et acceptabilité économique.

L'intervention publique est nécessaire pour guider la transition énergétique. Depuis les débuts de l'industrie, les États se sont emparés des choix énergétiques, avec des objectifs divers : se donner les moyens de leur croissance, minimiser leur dépendance énergétique, s'assurer de nouveaux revenus...

La nouvelle donne impose cependant une révision des pratiques de politique énergétique pour répondre à de multiples questions : quels critères faut-il prendre en compte pour une transition énergétique : le rendement pour consommer au mieux les ressources primaires en fonction des technologies actuelles ; le critère économique pour consommer au moins cher ou au plus grand bénéfice économique ; l'évolutivité et la flexibilité ; la sécurité et une moindre vulnérabilité... ? Comment traiter la question du budget carbone ?

L'intervention publique est nécessaire pour guider la transition énergétique

Généraliser le prix du carbone, un accélérateur de transition

La question énergétique est bien sûr politique. Elle impose des arbitrages temporels car la lutte contre le changement climatique est un sujet intergénérationnel (alliance court et long termes). La nécessité de solutions bas carbone a boosté l'évolution technologique dans le domaine de l'énergie (des options plus

18. Le Conseil mondial de l'énergie a calculé que, si toutes les centrales avaient la même efficacité que celles du premier quartile, l'économie annuelle serait de l'ordre de 1 Gt CO₂ et de 20 G\$.

19. On peut se réjouir de la croissance rapide des investissements dans ce domaine. Ils ont atteint 120 milliards \$ en 2013 et continueront à progresser dans les prochaines années.

nombreuses, des paris à faire en termes de choix de technologies ou d'évaluation de l'évolution de leur maturité). Alors qu'aujourd'hui 70 % de l'effort de réduction des émissions de GES relève du secteur privé, les pouvoirs publics doivent prendre le relais. Ils ont à leur disposition de nombreux outils : appui à la R&D (pour raccourcir le *time to market*), mise en œuvre de standards de performance (normalisation et réglementation), investissements d'envergure dans l'après-carbone (mécanisme d'actifs carbone remboursables, par exemple), aides aux transferts de technologies bas carbone ou prix du carbone.

La généralisation de prix du carbone pourrait accélérer la transition énergétique. C'est une solution économiquement viable et qui peut couvrir tous les types d'émissions de GES²⁰ selon la forme qui lui est donnée (marché de quotas, taxes, bonus-malus, formules hybrides...). Cette intégration du coût de l'externalité climatique favorise l'innovation car elle permet de rentabiliser les solutions bas carbone²¹. Donner un prix au carbone permet d'orienter les choix d'investissement des entreprises pour anticiper plutôt que de subir. Des signaux de prix lisibles et cohérents dans la durée sont créateurs de confiance pour les acteurs économiques, les incitant à s'engager dans la transition énergétique et écologique.

Cette approche séduit un nombre croissant de pays²², mais la généralisation au niveau mondial apporterait un effet de levier supplémentaire en élargissant le périmètre des activités concernées et en minimisant les risques de distorsion de concurrence. Dans une optique de progressivité de l'évolution du système énergétique et d'efficacité économique, un ajustement du prix du carbone en relation avec l'écart de prix entre le gaz et le charbon (le *spread gaz-charbon*) encouragerait le recul du

20. Y compris les émissions fugitives de méthane par la mise en œuvre de crédits fongibles sur le marché carbone (car les émissions de CH₄ se prêtent difficilement à un mécanisme de type *cap & trade*).

21. Par exemple, bien que les réductions de coût de l'éolien et du solaire aient permis une première phase de déploiement, un prix du CO₂ d'environ 50 € la tonne est jugé nécessaire pour leur développement massif.

22. Pour exemple, la Chine vient de décider la mise en place d'un marché national du carbone d'ici à 2016.

charbon pour la production d'électricité dans un premier temps, prix qui pourra ensuite s'élever en fonction de la viabilité technique et économique des ENR.

Avec les scénarios de l'AIE, nous avons vu précédemment que l'évolution du système énergétique devrait être progressive. Les temps de l'énergie ont, jusqu'à ce jour, été des temps longs, justifiés par le besoin de puissance énergétique appelant des infrastructures lourdes et centralisées. Selon toute vraisemblance, les mouvements amorcés de décentralisation du système énergétique et d'un recours croissant au vecteur électrique se poursuivront sur plusieurs décennies. La croissance de la demande viendra surtout des pays émergents qui sont incités à privilégier les énergies conventionnelles dans les conditions actuelles, une densité énergétique et un coût réduit qui permettent de donner l'accès au plus grand nombre.

Mais la prévision énergétique est délicate²³. De nombreux facteurs peuvent changer la donne : l'évolution technologique, essentiellement dans les ENR ; des politiques nationales déterminées dont l'effet reste néanmoins incertain²⁴ ; l'enchaînement de phénomènes météorologiques extrêmes ; une crise économique durable ; des tensions géopolitiques exacerbées.

Les raisons du développement historique du gaz

Le gaz naturel est la plus performante des énergies carbonées car son ratio hydrogène-carbone est élevé, ce qui lui permet d'émettre à la combustion 40 % de moins de CO₂ que le charbon et de 20 à 30 % de moins que le pétrole. Son état gazeux et sa composition autorisent une combustion facilement contrôlée, peu émissive en NOx et CO et autres types de polluants, telles les particules. Fort de ces qualités, le gaz s'est développé à la fin du XX^e siècle, essentiellement en substitution

23. Pour s'en convaincre, se référer au développement rapide du gaz de schiste aux États-Unis conduisant à l'abandon de nombreux projets de terminaux méthaniers entre 2005 et 2010.

24. Cf. l'exemple allemand et le risque de perte de compétitivité.

des fiouls. S'appuyant sur un coût de production relativement faible du fait de sa forte compressibilité et de sa faible viscosité, il s'est créé un marché avec l'indexation de son prix sur celui des produits pétroliers en concurrence et la densification de son infrastructure. Cette infrastructure a permis une transition rapide entre le gaz de ville, produit localement à partir de charbon pour l'éclairage et la cuisson, et le gaz naturel, abondant, dont les qualités intrinsèques ont favorisé son utilisation pour satisfaire les besoins de chauffage et d'eau chaude.

Les technologies gaz naturel à haut rendement continueront à faciliter son usage dans le secteur résidentiel tertiaire (les chaudières à condensation se combineront demain à d'autres équipements à haute performance telles que les pompes à chaleur pour des solutions hybrides ou de la micro-cogénération et seront modulables pour s'adapter à des bâtiments à très faible consommation) et dans l'industrie (chaudières à 95 % de rendement équipées de technologies ultra-bas NOx²⁵ et d'économiseurs d'énergie²⁶, cogénérations). Le gaz s'est récemment développé dans la production d'électricité, tirant de ce secteur l'essentiel de sa croissance, en Europe par exemple. Bien qu'avantageux pour les transports, il n'a pas vraiment percé faute d'infrastructures de ravitaillement dans de nombreux pays.

L'essor du gaz naturel liquéfié (GNL) – l'AIE prévoit qu'il représentera 11 % de la consommation mondiale de gaz en 2035²⁷ – dans les approvisionnements de gaz a introduit plus de flexibilité dans les trois grands marchés du gaz et lui donne progressivement une dimension internationale.

La capacité du gaz à satisfaire les besoins de tous les secteurs de consommation dans les meilleures conditions économiques et environnementales, ses ressources abondantes,

25. Par exemple, combustion sans flamme ou sans flamme « visible ».

26. Avec un gain de l'ordre de 4 à 6 %.

27. *World Energy Outlook* 2014.

Le gaz naturel est la plus performante des énergies carbonées

le développement du commerce de GNL sont autant d'éléments qui justifient le rôle croissant qu'il devrait jouer dans le système énergétique des prochaines décennies, comme le souligne l'AIE²⁸. Et l'évolutivité du système gazier ainsi que la faculté du gaz à répondre aux limites réelles du réseau électrique et des ENR laissent à penser que cette contribution sera durable.

La transition énergétique est un formidable défi pour notre société moderne. Il s'agit d'orchestrer des partitions très différentes, dont la réconciliation est loin d'être évidente, sans cacophonie : satisfaire une demande en forte croissance, faire évoluer rapidement des infrastructures très capitalistiques, gérer un système complexe vital pour tous les acteurs (étatiques, économiques et autres), garantir l'efficacité économique, réduire drastiquement les impacts environnementaux...

Si nous n'avons pas de thermostat pour réguler le climat, nous n'avons pas non plus de baguette magique pour cet exercice. Les fondamentaux de l'économie mondiale et du système énergétique nous enseignent que le scénario le plus probable est celui d'une transition progressive vers une société post-carbone. Le besoin massif d'énergie des pays émergents ne peut être satisfait sans recours aux énergies fossiles dans les conditions économiques et délais souhaités. Le gaz naturel est une très bonne option dans ce contexte. C'est un principe de réalité.

Autre avantage : le gaz recèle des caractéristiques qui le positionnent comme le meilleur choix des énergies fossiles. Le gaz naturel est l'hydrocarbure le moins émissif en termes de gaz à effet de serre. L'analyse de cycle de vie (ACV), incluant les fuites de méthane et consommations

diverses sur l'ensemble de la chaîne, montre qu'il devance largement les autres combustibles fossiles sur l'ensemble des impacts environnementaux. Il est disponible et

28. *The golden age of gas* (AIE, 2011).

Le gaz est le meilleur choix des énergies fossiles

économique. Les réserves mondiales de gaz sont abondantes et bien réparties. La prise en compte des gaz non conventionnels augmente le volume des réserves (2 siècles) et améliore leur diversité géographique. Beaucoup de champs peuvent être développés et produits à des coûts relativement bas. Même si la question climatique a relativisé l'importance de la durée de vie des réserves, la disponibilité en de nombreux points du globe et l'assurance d'en disposer dans de bonnes conditions économiques est un atout indéniable.

À la différence des autres combustibles fossiles, le gaz joue un rôle important dans la plupart des secteurs économiques. Depuis 1990, pétrole et charbon se sont progressivement spécialisés : le secteur transport est passé de 46 à 55 % des usages du pétrole, celui de la production électrique de 52 à 60 % des usages du charbon. Cette tendance est moins marquée pour le gaz dont l'usage principal, l'électricité, reste mesuré : 29 % en 1990, 37 % aujourd'hui.

Enfin, le gaz naturel contribue au développement des énergies renouvelables. Dans la lutte contre le changement climatique, les ENR sont un choix indiscutable, qu'elles soient de nature électrique, très présente aujourd'hui dans les politiques de décarbonation de l'électricité, ou thermique, une forme appelée à se développer. Elles ne constituent cependant pas la panacée car, à l'image de toutes les autres énergies, elles pâtissent de quelques imperfections. Dans de nombreux cas, leur combinaison avec le gaz naturel pallie ces faiblesses et fournit un excellent compromis, eu égard aux qualités environnementales du gaz, en matière de qualité de l'air par exemple. Qu'il s'agisse de besoin de puissance énergétique important, de questions de nature économique telles que la pérennité des emplois créés ou la capacité de clients précaires à accéder à l'énergie, le gaz naturel est un précieux complément.

Une filière novatrice en plein essor : le *power to gas* (Fig. 1)

Cette alliance est souvent mentionnée comme réponse au problème d'intermittence des ENR électriques que sont l'éolien et le

solaire photovoltaïque. Dès aujourd'hui, les centrales gaz, très flexibles, permettent d'assurer dans de très bonnes conditions techniques²⁹ une fonction de *back up* lorsque ces ENR occupent une part importante du système électrique. Demain, c'est peut-être l'ensemble du réseau gaz qui apportera une nouvelle flexibilité, celle du *power to gas*. Une étude récente décrit le procédé et son intérêt³⁰ :

« Les productions d'énergie renouvelable, parfois variables dans le temps et faiblement pilotables, sont à même d'être continuellement absorbées par les réseaux énergétiques grâce à des interconnexions qui permettent de basculer d'un réseau à l'autre selon le niveau instantané de la demande et les capacités de stockage offertes par les différentes infrastructures. Filière novatrice et en cours de développement, le power to gas consiste en l'utilisation de technologies permettant la conversion de l'électricité en gaz comme procédés de valorisation de l'électricité excédentaire.

L'électrolyse³¹ permet la conversion d'énergie électrique en énergie chimique sous forme d'hydrogène, par décomposition de molécules d'eau. Le gaz produit peut être valorisé de plusieurs manières sur place : par un industriel pour ses propres besoins de procédé ou par une station-service de remplissage de véhicules fonctionnant à l'hydrogène (piles à combustible) ou encore être localement stocké pour être reconverti ultérieurement en électricité via une pile à combustible. Mais il peut aussi être injecté directement dans les réseaux de gaz naturel, créant de fait un couplage entre les différents réseaux et vecteurs énergétiques : ainsi les possibilités de valorisation des excédents d'électricité sont démultipliées tant en termes d'usages

29. Le réseau électrique européen, où de nombreuses centrales gaz ont été mises sous cocon dans un contexte de prix déprimés du charbon et du CO₂, montre la nécessité d'une politique cohérente de l'ensemble des vecteurs énergétiques (mise en place d'un mécanisme de capacité pour le *back up*, par exemple).

30. Étude Ademe, GrDF, GRT Gaz sur l'hydrogène et la méthanation comme procédé de valorisation de l'électricité excédentaire, septembre 2014.

31. Selon l'étude *E-cube strategy* (2013), à l'horizon 2050, la production d'hydrogène par électrolyse pourrait permettre de gérer environ 25 TWh/an de surplus de production électrique en France.

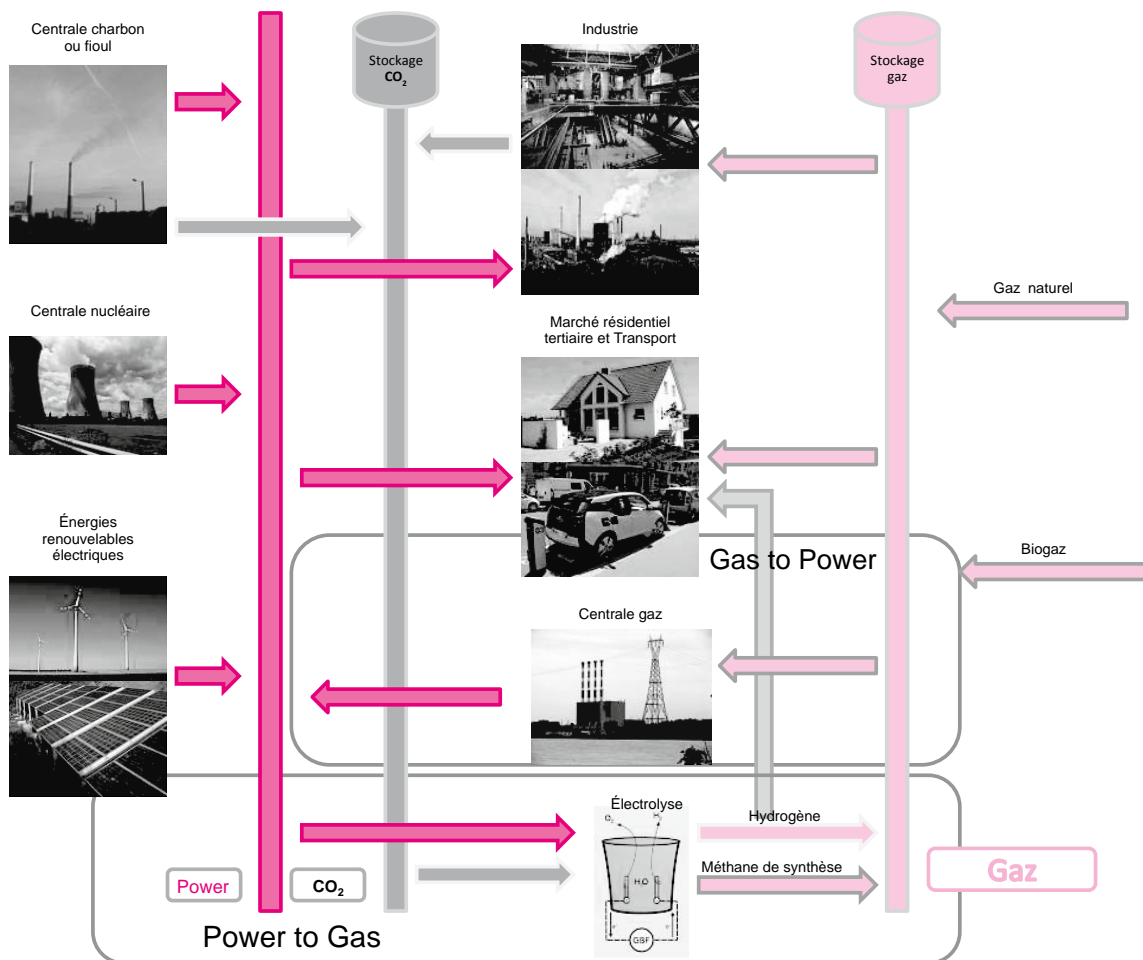


Figure 1. Schéma du *power to gas*

finaux qu'en termes temporels et spatiaux. La possibilité d'injection d'hydrogène dans le réseau gazier³² donne un accès direct à ses très grandes capacités de transport et de stockage ».

De plus, couplé à du CO₂, l'hydrogène permettra de produire du méthane de synthèse, là aussi compatible avec les infrastructures actuelles.

Le méthane est un GES naturellement relâché dans l'atmosphère par les zones humides, les tourbières et le permafrost. De même, la décomposition de la biomasse émet du CH₄. C'est donc aussi une énergie renouvelable. Elle peut être produite délibérément (bio-méthane)

32. D'ores et déjà, on peut injecter de l'hydrogène à hauteur de 6 % sans modification des équipements gaz en France (et sans doute plus à l'avenir).

par méthanisation de déchets organiques, avec l'avantage d'échapper au problème de l'intermittence, ou par d'autres procédés.

Le gaz naturel constitue à l'évidence un atout pour une électricité moins carbonée. Dans la mesure où l'électricité s'est largement imposée dans nos modes de vie modernes et où ses usages continuent à croître, il est crucial de décarboner le système électrique. Le gaz peut jouer là un rôle majeur. En se substituant au charbon, il permet de réduire notablement les émissions de GES³³ et apporte des bénéfices

33. Quelques rares études mettent en doute ce point, affirmant que les émissions fugitives de méthane de l'industrie gazière sont susceptibles d'annihiler l'avantage du gaz face au charbon. L'étude Caldeira (Carnegie) a montré que, pendant la phase d'exploitation, un taux de

immédiats sur la santé des populations avec une réduction très forte des polluants atmosphériques (pas de particules fines, -75 % de NOx et -95 % de SOx³⁴) comme des métaux lourds, mercure, arsenic et autres toxiques³⁵. La flexibilité des centrales au gaz – le démarrage d'une CCGT nécessite environ deux heures contre 3 à 5 fois plus pour une centrale charbon – facilite également l'intégration des ENR intermittentes, fiabilise l'offre électrique et permet de passer la pointe électrique dans les pays telle la France où la courbe de charge est très accentuée.

Cette substitution est une stratégie économiquement efficiente³⁶ pour baisser rapidement les émissions là où le charbon est présent. Par sa rapidité de mise en œuvre, elle permet aussi au système électrique une intégration progressive et maîtrisée des nouvelles technologies (aspects temporels pour se rapprocher au mieux de la phase de viabilité économique des technologies non matures, aspects techniques pour garantir le bon fonctionnement du réseau et la qualité de service attendue).

Si le gaz naturel tire une grande partie de sa croissance du secteur de la production électrique, ce n'est pas un hasard : il se prête aux technologies les plus performantes (le rendement d'une CCGT peut atteindre 60 %, celui d'une cogénération frôle 90 % à des conditions tout à fait compétitives) et peut assurer tous types de production, base, semi-base ou pointe. Une centrale gaz peut être construite en 20 mois environ pour moins de la moitié du coût en capital d'une centrale charbon, 5 fois moins qu'une centrale nucléaire et 4 fois moins que l'éolien *offshore*³⁷. Elle durera 20 ans en

fuite supérieur à 6 % (donc bien supérieur aux estimations actuelles) était nécessaire pour annihiler l'avantage d'une nouvelle CCGT gaz face à une centrale charbon, sachant que sur le long terme le gaz fait toujours mieux, même avec un taux de fuite de plus de 9 %.

34. Sources : *International Gas Union* et textes réglementaires européens.

35. À noter aussi que les centrales gaz peuvent être refroidies par aérocondenseur, minimisant ainsi leur impact sur la ressource en eau dans un contexte de changement climatique qui accentuera les risques de stress hydrique.

36. Une étude du MIT sur le système électrique américain évalue le potentiel de réduction des émissions à environ 20 % pour un coût inférieur à 20 \$/t de CO₂ évité.

37. Rapport de la Commission européenne, 2014.

moyenne (compte tenu de son faible coût en capital) et pourra passer d'un régime en base aujourd'hui à une utilisation en *back up* lorsque les ENR auront pris le relais de la production thermique d'électricité. De plus, la technologie du CSC est applicable aux centrales gaz.

Autre atout du gaz dans ce secteur : sa capacité à participer à un système décentralisé d'énergie électrique – production plus modeste et proche des lieux de consommation – qui génère moins de perte en réseau, plus de fiabilité et de réactivité, et une réduction des besoins de pointe. Face aux incertitudes liées au stockage massif de l'électricité et aux caractéristiques de certaines ENR électriques, cette évolution du système électrique est déjà engagée.

Le gaz naturel : un atout pour l'adaptation au changement climatique

Le gaz naturel représente également un complément au système électrique centralisé dans une logique d'adaptation au changement climatique. Compte tenu des enjeux qui pèsent sur le système énergétique de demain, un mix équilibré et cohérent s'appuyant sur l'ensemble des vecteurs doit être recherché. Cet objectif doit guider les choix politiques, mais sa mise en œuvre n'est pas chose aisée. Ainsi, la France doit faire face à une demande de pointe électrique hors norme³⁸ et en croissance continue depuis quelques années, alors qu'elle dispose d'un réseau de gaz sous-utilisé et pourtant capable d'absorber des variations de charges beaucoup plus élevées que ne peut le faire le réseau électrique (un rapport demande de pointe-demande « creuse » d'environ 2 pour l'électricité et de 8 pour le gaz). Le développement des complémentarités gaz-électricité est un facteur clef de l'optimisation globale du système énergétique. Des réseaux de gaz « intelligents » au bénéfice des politiques locales de l'énergie s'appuyant sur des technologies de cogénération, de micro-cogénération et sur des solutions bi-énergie telles que les pompes à chaleur hybrides, apportent une souplesse qui fait aujourd'hui défaut au système

38. Comparée à celle de ses voisins européens.

électrique, en offrant la possibilité d'arbitrages en temps réel en fonction de la disponibilité des infrastructures.

Cette nécessaire complémentarité trouve également sa justification en termes d'adaptation au changement climatique. La place croissante de l'électricité dans le système énergétique est une source de fragilité pour l'économie mondiale : comme le dit le vieil adage populaire, il n'est pas bon de mettre tous ses œufs dans le même panier. Les dernières tempêtes dans le centre de l'Europe ou en Amérique du Nord, les incendies dus à la sécheresse montrent la vulnérabilité et l'exposition des réseaux électriques. Ces événements extrêmes ont aussi un impact sur la production renouvelable, éolienne ou hydraulique. Les infrastructures gazières, avec des capacités de stockage importantes, avec des canalisations enterrées beaucoup moins sensibles à la météorologie que les réseaux électriques aériens, accroissent la résilience du système énergétique.

L'interaction gaz naturel – efficacité énergétique

Nous avons vu que le gaz se prêtait parfaitement à l'utilisation de technologies à très haut rendement aujourd'hui, pour la plupart, largement éprouvées et dont la maturité économique permet de les déployer dans l'ensemble des secteurs³⁹. Dans le bâtiment, compte tenu de la durée de vie des constructions, l'expérience montre que la rénovation à grande échelle se heurte à de nombreuses difficultés liées, d'une part, à la multitude des parties prenantes et, d'autre part, au volume des investissements à mettre en œuvre. Les équipements gaz de nouvelle génération à très haute performance, hybrides ou non, constituent une solution économiquement efficace pour engager la transition de ce secteur. L'emploi du gaz contribue ainsi à freiner la croissance de la demande d'énergie tout en répondant aux exigences environnementales. C'est sans doute l'une des voies les plus performantes pour la

mise en œuvre rapide d'une politique d'efficacité énergétique.

Le gaz est une énergie d'avenir. Les qualités qui ont contribué à son essor seront encore mieux valorisées dans le modèle énergétique de demain. En particulier, et bien qu'elles autorisent déjà d'excellents rendements, les technologies gazières continueront à évoluer, qu'il s'agisse d'intégration du CSC ou de combinaison optimisée avec des énergies non carbonées. Le gaz est aussi un vecteur énergétique, par les infrastructures sur lesquelles il s'appuie. Cette capacité d'évolution est fondamentale et renforce encore son attractivité. Ces infrastructures peuvent accueillir des productions locales de gaz « vert » tout en garantissant la solidarité et la coopération entre les territoires par le maillage et les capacités de transits inter-régionaux des réseaux. Fortes d'une capacité de stockage d'énergie importante et autorisant une variation des usages et des ressources (gaz naturel, bio-méthane, hydrogène ou gaz de synthèse), les infrastructures gazières sécurisent la fourniture d'énergie à des conditions très concurrentielles : le coût de transport du gaz à haute pression est environ 10 fois plus faible que celui du transport électrique.

Cette caractéristique du gaz à être aussi un vecteur a facilité une première transition du gaz de ville manufacturé, vers le gaz naturel issu du sous-sol. Nous vivons probablement les prémices d'une deuxième transition : celle du gaz naturel vers le gaz vert ou renouvelable. À ce jour, la méthanisation des déchets, alliant les avantages de l'économie circulaire et de la territorialité, fait l'objet d'un engouement croissant de la part des décideurs politiques⁴⁰. D'ores et déjà, des démonstrateurs sont en place pour expérimenter la gazéification de la biomasse. Demain, des micro-algues ou des solutions d'électrolyse permettront la production d'hydrogène (pour les piles à combustible) ou de gaz de synthèse (méthanation). De telles solutions locales ouvriront un champ nouveau : l'accès à l'énergie aujourd'hui restreint dans nos consciences à une problématique exclusivement électrique.

39. Si le déploiement dans les secteurs de la production électrique, de l'industrie et du résidentiel-tertiaire ne pose pas question, c'est aussi vrai pour les transports.

40. Cf. le projet de loi de transition énergétique en France ou les nombreuses réalisations existantes en Allemagne.

Le gaz dispose d'atouts pour pénétrer le secteur des transports, un autre champ de développement. Sous la forme de GNL, il est tout à fait adapté pour se substituer en partie aux produits pétroliers dans les navires ou les transports terrestres sur longue distance. Sous la forme de gaz comprimé, il réduit les émissions de CO₂ de l'ordre de 10 à 20 % (80 % si l'on emploie du biométhane carburant) par rapport à l'essence. La qualité de l'air, particulièrement en zone urbaine, est un autre atout du GNV : ses émissions sont largement en deçà des limites imposées par les règlements EURO⁴¹. Le développement du GNV en Allemagne, en Italie et dans certaines grandes métropoles montre que c'est une solution économique⁴², y compris face au véhicule électrique⁴³. Le véhicule gaz naturel est sans doute le meilleur compromis qualité de l'air-coût-autonomie.

Conclusion

Ne nous trompons pas : le challenge est d'une telle ampleur que toutes les actions doivent être entreprises. À l'aune des différentes considérations précédentes, le gaz apparaît comme une composante de la solution et devrait être appelé à jouer un rôle encore plus important car, en complément de ses qualités énergétiques, il est l'un des moyens les plus efficaces pour réduire les GES. Son développement doit se faire en cohérence avec celui des ENR électriques (sans oublier que, demain, une grande partie du gaz pourra être

41. Selon les chiffres SCANIA (test d'homologation de poids lourds EURO VI sur un carburant de référence G20 à 85 % CH₄), un modèle GNV 280 ch produirait 81 % de CO en moins, 30 % de NOx en moins, 81 % de particules en masses de moins que la limite fixée par la norme. Le carburant de référence G25 (100 % CH₄), proposé en station dans de nombreux pays, permettra une performance environnementale encore meilleure.

42. Le coût d'un véhicule GNV est comparable à celui d'un véhicule essence ; celui d'un véhicule diesel en Europe sera notablement accru par la norme EURO 6.

43. À ce jour, c'est la piste privilégiée pour le véhicule particulier (les solutions hydrogène sont encore trop peu matures), sous réserve que l'électricité alimentant le véhicule soit décarbonée ou faiblement carbonée. Il semble que le coût des infrastructures de ravitaillement soit à l'avantage du GNV dans les pays où le réseau de gaz est déjà bien développé.

renouvelable) et des économies d'énergie, et ceci sans les opposer. Le rôle des politiques est ici crucial, pour :

- Orienter les investissements vers une société bas carbone, en donnant un prix au carbone, en levant les barrières réglementaires sur le développement des technologies à haut rendement⁴⁴, en assurant la promotion des solutions décentralisées.
- Optimiser les systèmes existants en recherchant la complémentarité des solutions énergétiques plutôt qu'en les opposant⁴⁵, en veillant à utiliser et développer au mieux les infrastructures en place (dont le réseau gaz), en s'appuyant sur des outils de mesure à large spectre telle l'ACV pour comparer les solutions et choisir une combinaison optimale.
- Mettre en place des politiques de maîtrise de l'énergie très volontaristes pour éviter les écueils essentiellement d'ordre comportemental constatés lors de ce type d'action, en introduisant des standards d'efficacité énergétique pour les équipements, en développant des mécanismes de revenu vertueux (découplage revenu-vente d'énergie, politique de compensation de perte de revenu).
- Favoriser l'innovation sur les solutions bas carbone pour changer d'échelle (incitations financières et fiscales, programmes de R&D et d'investissements).

Aux côtés des politiques, l'industrie gazière a déjà engagé des actions avec une double responsabilité pour continuer à satisfaire les plus hauts niveaux d'exigence en matière d'énergie et d'environnement et contribuer à la transition vers un modèle énergétique « soutenable ». Consciente que toute marge de progrès sur les impacts climatiques du gaz doit être entreprise, elle prend des initiatives conformes à l'agenda des solutions souhaité par l'ONU. La *Climate and Clean Air Coalition* au niveau international et l'initiative que présentera prochainement l'Association française du gaz témoignent de la volonté de l'industrie gazière d'apporter son plein concours en réponse au défi énergie-climat. ■

44. Pour la cogénération en France, par exemple.

45. Ce qui justifie une approche par vecteur énergétique.