

# Les chantiers de la transition

Michel Colombier (Iddri)

Curieusement, le gouvernement n'avait pas souhaité proposer et mettre en débat sa vision stratégique de la transition française, en amont du grand débat national lancé lors de la conférence environnementale de 2012. Le seul cadrage fourni, au-delà d'un discours d'intentions plutôt ambitieux quant aux résultats attendus mais peu articulé quant au cheminement envisagé, renvoie aux engagements internationaux de la France à l'horizon 2020 et à la proposition du candidat Hollande de réduire la part du nucléaire à 50 % d'ici 2025. On aurait pu imaginer aussi que le débat s'accompagne d'un exercice visant, comme au temps du Commissariat Général au Plan, à explorer collectivement les options portées par les différentes parties prenantes à ce débat, mais le temps imparti ne le permettait pas.

Difficile pourtant de mener une telle discussion sans une approche prospective articulée. Il ne s'agit plus, comme dans les années de crise pétrolière, d'envisager une évolution incrémentale : les objectifs environnementaux sont connus et imposent une approche normative de la question. L'horizon de 2050, auquel la science du climat et une vision réaliste de notre place dans le monde impose que nos émissions aient diminuées d'au moins 80 % et ne dépassent pas 1.5 tCO<sub>2</sub> par habitant pour le secteur de l'énergie, est à la fois proche et lointain : proche en ce sens qu'il impose une évolution radicale et un rythme de changement soutenu, lointain en ce sens que l'objectif n'est pas irréaliste mais qu'il est difficile de le penser sans support. La prospective permet de placer les éléments de solution dans une perspective temporelle, spatiale, et dans la cohérence d'un système énergétique complexe ; elle est essentielle pour inscrire cette transition dans une perspective plus large, puisque la transition ne se résume pas à une question environnementale : elle génère des espoirs, ou des craintes, sur le front économique et social, sur sa capacité à apporter des éléments de réponse à la précarité énergétique croissante, sur les opportunités et les responsabilités qu'elle amène dans l'escarcelle des collectivités territoriales, sur les perspectives de création d'emploi et de mise en risque de certaines filières professionnelles. La prospective articule des visions, offre un support à l'évaluation des risques, au repérage du rôle des acteurs (ménages, entreprises, collectivités...), à l'identification des politiques.

De nombreuses parties prenantes de ce débat avaient ainsi choisi de préparer et d'appuyer leur discours sur des exercices prospectifs : en tout, plus de 25 scénarios ou variantes ont été livrés au débat, portés par des acteurs très divers : entreprises du secteur de l'énergie, ONG, ADEME, recherche ; tous les exercices ne couvrent pas l'ensemble de la période, ni surtout l'ensemble du système énergétique : certains se focalisent sur le secteur électrique, beaucoup excluent certains services (transport international) et surtout le secteur agricole et forestier, dont les connexions avec l'énergie sont nombreuses. Tous les exercices ne reprennent pas l'objectif de réduction de la part du nucléaire, tous ne se donnent pas la même ambition de décarbonation à l'horizon 2050. Mais tous apportent une vision du problème et une forme de solution, une intelligence de la transition, et ce travail dans son ensemble a contribué à organiser, confronter, baliser et évaluer les discours.

S'il n'était pas possible, avec le temps et les moyens impartis au débat, de produire un travail original de scénarios, il est apparu utile de construire sur ces soumissions en tentant de repérer, au sein de la diversité des récits proposés, des constantes, des bifurcations, des choix technologiques, organisationnels ou sociétaux qui permettent de cartographier et de peser les grandes options structurantes des visions proposées<sup>1</sup>. Essayer d'organiser tous ces exercices autour de quelques trajectoires de référence, c'était tenter de répondre à un triple questionnement :

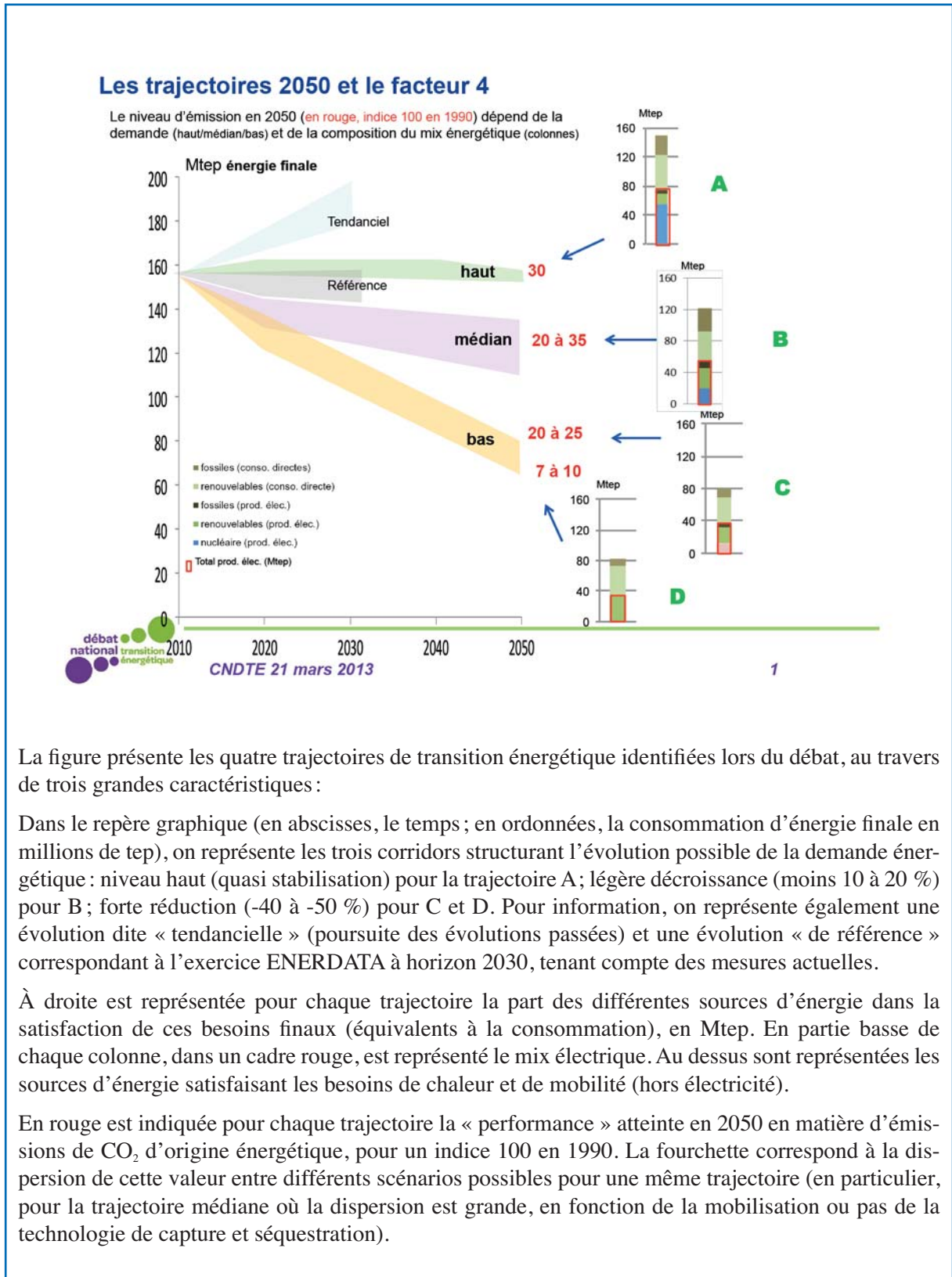
1. Existe-t-il, au-delà de la diversité (et des intérêts divergents) des auteurs de ces scénarios, des cohérences propres à chaque grande trajectoire qui se retrouvent dans plusieurs exercices, tout en étant suffisamment robustes pour légitimer une typologie ?
2. Quelles sont alors les divergences majeures qui permettent d'expliquer que la transition puisse prendre différentes formes ? Y a-t-il au contraire des constantes ou du moins des éléments communs entre plusieurs trajectoires ?
3. Quelles informations en tire-t-on pour construire l'action aujourd'hui ?

Nous avons finalement identifié quatre grandes trajectoires à l'horizon 2050 :

1. La première (A) structure ses choix autour de quatre grandes hypothèses : l'efficacité énergétique doit être encouragée « au fil de l'eau », mais des politiques volontaristes génèreraient des dépenses trop importantes ou des contraintes inacceptables ; le nucléaire constitue un atout pour la transition : il doit donc être développé pour permettre à l'électricité de conquérir de nouveaux marchés (chauffage, transports) ; les technologies intermittentes (éolien, solaire) sont trop coûteuses et présentent un risque pour la sécurité des réseaux électriques, leur développement doit rester limité. La demande finale évolue peu, mais se reporte à près de 50 % sur l'électricité (environ 600 TWh) et requiert un investissement important dans de nouvelles capacités nucléaires et un complément fossile pour la pointe ; le recours à la biomasse est très important (35 Mtep, essentiellement sous forme de biocarburants pour satisfaire la demande du secteur transport) ; les énergies fossiles voient leur part dans le bilan fortement réduite, mais la demande reste élevée en valeur absolue et les émissions sont réduites à 30 % environ du niveau actuel.
2. La trajectoire (B) s'appuie sur la diversification des sources et le volontarisme technologique pour compenser une évolution de la demande à la baisse (-20 % environ), mais moins favorable à l'atteinte de l'objectif environnemental que les deux suivantes (C et D). En effet, les facteurs d'activités demeurent élevés, notamment dans les transports où la mobilité croît encore ce qui se traduit par une demande finale de 30 Mtep malgré une généralisation de véhicules 2 litres mais aussi dans le secteur résidentiel qui atteint encore 50 Mtep en fin de période, les gains des actions de rénovation étant en partie compensés par l'effet rebond sur le confort et les usages spécifiques. Malgré cette diversification, le parc électrique conserve une taille comparable à aujourd'hui, mais la production nucléaire se stabilise à 50 % du total, complétée par l'éolien et le solaire, tandis que le recours à la biomasse est limité (17 Mtep contre 12 aujourd'hui) essentiellement dans le secteur transport. Les fossiles apportent encore près de 40 Mtep en 2050, et le niveau final d'émission dépend fortement de la possibilité de recourir à la capture et séquestration du carbone sur la fin de la période : sans elle, les émissions atteignent encore plus du tiers de leur niveau de 1990.
3. La trajectoire (C) s'appuie sur la mobilisation systématique des potentiels d'efficacité énergétique et d'énergies renouvelables jugés techniquement et économiquement réalistes : la rénovation du bâti et un effort particulier sur l'électricité spécifique permet de réduire la demande du secteur résidentiel tertiaire à 35 Mtep. Les politiques encouragent aussi la sobriété notamment au niveau des transports (modes doux, transfert modal vers le transport collectif passagers, moindre croissance du fret, etc.) qui permettent de contenir la mobilité globale, de réduire légèrement l'usage des véhicules particuliers, et de limiter la demande finale du secteur à 20 Mtep en 2050. La demande totale en énergie finale est ainsi réduite de près de 50 %, l'électricité représente près de 40 % du bilan final mais la production chute à environ 400 TWh. Le recours à la biomasse est important (33 Mtep environ) mais plus diversifié que dans la trajectoire (A). Il n'y a pas de contrainte initiale sur la question nucléaire,

<sup>1</sup> - Voir le rapport du groupe d'expert « dossier technique, trajectoires et critères » sur le site du DNTE.

au-delà de l'objectif présidentiel qui est respecté. La contribution des énergies fossiles est limitée en volume par l'objectif d'émission final, qui se situe entre 20 % et 25 % du niveau initial (facteur 4 à 5). Les émissions totales dépendent fortement de la stratégie nucléaire qui, selon les variantes, peut représenter jusqu'à 25 % de la production d'électricité (100 TWh), les fossiles assurant essentiellement l'intermittence et la pointe (20 TWh).



La figure présente les quatre trajectoires de transition énergétique identifiées lors du débat, au travers de trois grandes caractéristiques :

Dans le repère graphique (en abscisses, le temps ; en ordonnées, la consommation d'énergie finale en millions de tep), on représente les trois corridors structurant l'évolution possible de la demande énergétique : niveau haut (quasi stabilisation) pour la trajectoire A ; légère décroissance (moins 10 à 20 %) pour B ; forte réduction (-40 à -50 %) pour C et D. Pour information, on représente également une évolution dite « tendancielle » (poursuite des évolutions passées) et une évolution « de référence » correspondant à l'exercice ENERDATA à horizon 2030, tenant compte des mesures actuelles.

À droite est représentée pour chaque trajectoire la part des différentes sources d'énergie dans la satisfaction de ces besoins finaux (équivalents à la consommation), en Mtep. En partie basse de chaque colonne, dans un cadre rouge, est représenté le mix électrique. Au dessus sont représentées les sources d'énergie satisfaisant les besoins de chaleur et de mobilité (hors électricité).

En rouge est indiquée pour chaque trajectoire la « performance » atteinte en 2050 en matière d'émissions de CO<sub>2</sub> d'origine énergétique, pour un indice 100 en 1990. La fourchette correspond à la dispersion de cette valeur entre différents scénarios possibles pour une même trajectoire (en particulier, pour la trajectoire médiane où la dispersion est grande, en fonction de la mobilisation ou pas de la technologie de capture et séquestration).

4. À l'opposé de (A), la trajectoire (D) se construit autour de la volonté d'abandonner simultanément le recours aux fossiles et au nucléaire et de proposer à terme un système énergétique 100 % renouvelable. Elle s'inscrit dans une vision plus large de transition écologique, qui s'appuie sur un développement de l'économie circulaire (industrie, agriculture) et fait de la sobriété un enjeu de politique publique : au-delà de l'efficacité énergétique, les modes de consommation et leurs drivers (forme des villes, nature de l'habitat, localisation des activités, usages) sont mis à contribution pour permettre une réduction de plus de 50 % de la demande finale d'énergie. C'est cette réduction drastique qui permet d'envisager un recours quasi exclusif aux énergies renouvelables (75 Mtep), avec une contribution massive de la biomasse (40 Mtep) au niveau local (notamment dans les réseaux de chaleur) mais aussi national (carburants), à l'origine plus diversifiée. La part de l'électricité augmente fortement, mais la taille du système électrique est réduite d'un tiers environ (350 TWh). Le recours au stockage (gravitaire, véhicules, méthanation), au pilotage de la demande et à la biomasse doit compenser l'abandon des fossiles pour équilibrer le système électrique.

Ce travail a permis d'apporter quelques éléments de clarification sur certains points de controverse majeure en entrée du débat, mais aussi de révéler des questions importantes qui n'avaient pas nécessairement été repérées et qui sont encore restées peu explorées à ce jour :

1. **Demande énergétique et nucléaire :** la première conclusion que l'on peut tirer de ce qui précède, c'est qu'une réduction forte de la demande énergétique est un attendu incontournable de la transition, et ce indépendamment de la place que l'on souhaite accorder au nucléaire. Sur la base des scénarios proposés, seules les trajectoires s'appuyant sur ce levier permettent d'atteindre l'objectif final, compte tenu des contraintes qui pèsent sur les autres secteurs (agriculture notamment) en matière de réduction des émissions. À l'inverse, les trajectoires à forte demande conservent un fort appétit en énergies fossiles, malgré un recours déjà considérable aux renouvelables, et ce même lorsque le parc nucléaire est développé et l'électrification de la demande finale accrue. Ceci s'explique à la fois par le besoin de compléter le nucléaire pour la demande d'électricité, et de répondre aux autres besoins sectoriels que l'électricité et la biomasse ne peuvent pas couvrir en totalité. Seul un recours à la capture/séquestration (et, dans le secteur des transports, à l'hydrogène) permettrait alors de contenir les émissions. Mais les deux propositions ne sont pas symétriques du point de vue de la décision publique : la réduction de la demande soulève des controverses et des incertitudes, mais celles-ci peuvent être explorées aujourd'hui, par une démarche proactive d'action publique et d'évaluation : il est par exemple tout à fait intéressant de constater que les différences assez importantes de demande finale en chauffage (environ 15 Mtep) entre les trajectoires (B) et (C) ne tiennent pas tant à la nature technique des actions à engager en matière de rénovation du parc bâti qu'aux hypothèses qui sont faites quant à leur rythme de déploiement (nombre de logements par an) et à l'ampleur de l'effet rebond, mieux contrôlé dans les trajectoires C par une taxe carbone plus élevée (40 € en 2030 pour (B) contre 80 € pour (C) et 120 € en suède aujourd'hui). Inversement, la capture/séquestration soulève des questions complexes de faisabilité, de coût et de risque, mais qui ne peuvent être levées aujourd'hui et échanger l'une contre l'autre relève, à ce stade, du pari quant à la disponibilité future de cette solution.
2. **Sobriété, décroissance, désindustrialisation et modes de vie :** dès le début du débat, la controverse a été vive entre ceux qui proposent de faire de la sobriété un levier explicite de l'action publique et ceux qui refusent de contraindre les modes de vie et de parier sur la désindustrialisation du pays. De fait, rien dans les trajectoires proposées ne vient vraiment justifier un tel débat. Pour ceux qui s'y réfèrent, les taux de croissance envisagés dans les différents scénarios sont très proches. En réalité et vu le mode de réalisation de ces exercices, la référence à la croissance est assez rhétorique et il est plus parlant de regarder les niveaux d'activité par secteur. Les niveaux de production industrielle sont eux aussi très comparables, tandis que des divergences plus importantes peuvent être repérées pour les secteurs du bâtiment et des transports. Dans le bâtiment, certains scénarios explicitent des retours de tendance sur la décohabitation et la taille des ménages, ou le taux de logements individuels, mais étant donné l'inertie du secteur, l'effet réel en 2050 apparaît négligeable. Plus significatives sont les divergences sur les surfaces tertiaire, le volume de fret et la mobilité personnelle : dans les trois cas, les évolutions envisagées opposent une poursuite des tendances des deux dernières décennies (et donc une augmentation de 30 à 50 % de ces indicateurs d'ici 2050 ce qui, paradoxalement, correspond à

un véritable changement des modes de vie) contre un progressif plafonnement rendu possible par un meilleur contrôle du développement urbain, un cadre fiscal incitatif, une évolution de l'organisation du travail, des services et de la logistique (plafonnement cachant, par contre, une importante évolution structurelle). Comme l'ont montré par ailleurs les débats territoriaux, il s'agit là d'un véritable enjeu politique qui dépasse de loin la question énergétique et qui met les collectivités locales au cœur de la transition. Plus marginales peut-être mais emblématiques sont les mesures parfois proposées visant à limiter les consommations « abusives », comme l'éclairage des bureaux la nuit ou les écrans publicitaires ; nos sociétés ne s'en remettent pas systématiquement au marché et jugent parfois utile de produire des normes, controversées, visant à encadrer certains comportements afin de limiter les risques (normes industrielles, limitations de vitesse, tabac, etc.). La question, dans le cadre d'un débat, apparaît légitime.

3. **Le coût de l'efficacité énergétique :** des appréciations très divergentes des coûts de l'efficacité énergétique ont été mis en évidence dès le début du débat, et expliquent notamment le recours plus ou moins important à ce levier dans les stratégies déployées, notamment entre la trajectoire (A) et les autres. L'explicitation des hypothèses de travail a permis de comprendre que l'essentiel de cette divergence tenait à deux facteurs : le taux d'actualisation utilisé et le référentiel retenu pour la mise en œuvre des actions. Les deux questions n'impactent pas seulement les exercices de prospective, mais ont des conséquences majeures sur la conception des politiques publiques. La question du taux d'actualisation est classique et renvoie à l'écart béant entre le taux implicite constaté chez les agents décentralisés (ménages, PME, etc.) et les taux à l'œuvre pour les investissements de production. Cette différence, bien réelle, révèle aussi l'inefficacité du mode d'allocation des ressources entre producteur et consommateur si rien n'est fait pour le corriger : dans une vision normative, il est donc utile de comparer les options avec un taux unique, puis de s'interroger sur les dispositifs d'accompagnement (financiers, à l'image du tiers financement et du partage des risques, technique pour le montage des projets et l'aide à la décision) qui peuvent permettre de corriger cette asymétrie : c'est notamment tout l'enjeu du débat sur le financement de la rénovation thermique, où les instruments habituels (subventions, prêts partiels, crédits d'impôts) se révèlent inopérants et coûteux. Par ailleurs, il est important de s'accorder sur le contexte de l'investissement en efficacité énergétique : les coûts les plus élevés correspondent en effet à une évaluation en coût complet, qui signifie que l'on engage des travaux d'isolation, ou que l'on change d'auto ou de réfrigérateur pour faire des économies ; on peut au contraire se placer en situation d'alternative d'investissement : dois-je refaire mes façades à l'identique, ou profiter des travaux pour les isoler ? quelle auto, quel frigo choisir lors de l'achat ? Bien évidemment, cette seconde approche minimise le coût. Très concrètement, elle signifie qu'il faut privilégier les actions opportunistes et en particulier, dans le cas de la rénovation, inscrire l'amélioration thermique dans le calendrier de maintenance des immeubles. À l'inverse, cela plaide pour une forme de systématisation de la contrainte thermique dans les cahiers des charges de travaux (objectif de performance), ou de renouvellement des équipements (normes, en particulier pour les équipements électriques).
4. **Place de l'électricité, rôle des autres vecteurs, espaces de la transition :** la transition est souvent associée à l'idée d'accorder une part croissante à l'électricité dans la consommation finale, ce que confirment l'ensemble des trajectoires représentées ici. Mais il serait dommageable d'oublier le rôle important de diversification des sources que jouent dans deux trajectoires au moins (C et D) les réseaux de chaleur qui permettent maintenant de valoriser des sources à basse température (rejets urbains ou industriels) ; surtout, alors que le sujet est peu abordé, trois des quatre trajectoires (B, C et D) accordent un intérêt tout particulier au méthane et font le pari que celui-ci pourra progressivement devenir un vecteur par l'injection de biogaz et, à plus long terme, de gaz synthétique. À l'autre bout de la chaîne, la logique de la transition veut que la consommation de gaz dans le secteur du bâtiment diminue très fortement, même s'il restera (surtout s'il est neutre en carbone) une solution adaptée à bien des situations de l'habitat existant. Mais le capital que constitue le réseau national de distribution peut également permettre d'offrir le gaz comme solution transport avec un maillage fin à moindre coût, et proposer une alternative crédible pour les véhicules particuliers hybrides, ou le transport routier. On voit alors que l'enjeu de la transition peut être de développer et d'hybrider ces



trois vecteurs, puisque la valorisation des basses températures s'appuie sur la pompe à chaleur, et que la fabrication de méthane de synthèse pourrait être un moyen de stocker la production électrique excédentaire dans une transition progressive et peut-être plus réaliste que l'hydrogène. Envisager la transition ainsi, c'est également réaffirmer l'importance du territoire, des réseaux et des entreprises dans cette « écologie énergétique » locale, pour mettre en adéquation les opportunités de demande, d'offre et de transformation : c'est un enjeu de développement local auquel les collectivités territoriales sont très attentives.

**5. Place du nucléaire, développement des renouvelables, coût de la transition :** Si l'électricité est appelée à tenir une place croissante dans le bilan, les 4 trajectoires se distinguent par contre par un volume très contrasté de consommation (facteur 2 entre (A) et (D)). Cet effet volume entraîne bien évidemment des conséquences différentes sur le parc nucléaire et sa prolongation éventuelle. Si l'on regarde de plus près les trajectoire (B) et (C) qui ont polarisé le débat en fin d'hiver, on constate des choses surprenantes : la réduction de la puissance installée à l'horizon 2030 varie de 20 à 30 tranches en maintenant le taux d'exportation actuel (– 140 TWh dans la trajectoire (B) à – 200 TWh dans la trajectoire (C)). Inversement, le programme d'investissement à réaliser sur l'éolien et le photovoltaïque est sensiblement identique entre (B) et (C) jusqu'en 2030, ce qui peut paraître paradoxal quand on sait à quel point ces deux stratégies ont été opposées l'une à l'autre sur ce point au cours du débat. Toujours à 2030, le coût de production du kWh est identique, tandis que le coût total du système électrique (amortissement et coûts d'exploitation) est 30 % plus élevé dans (B). Pour le système énergétique au complet (incluant les investissements pour la maîtrise de la demande), le coût annuel d'investissement à 2030 est estimé à 45 milliards d'euros pour (B) contre 50 pour (C), à comparer à un gain annuel sur la facture pétrolière de 85 milliards d'euros (B) et 100 milliards (C). Ce qui est remarquable aussi, et ouvre la discussion sur la redistribution dans l'espace, et entre catégories d'acteurs, des dépenses et des gains liés à la transition, est la répartition sectorielle des investissements. La seule production d'électricité représente la moitié de l'investissement total dans (A) et (B), contre le tiers seulement pour (C) et (D), où les investissements dans le bâtiment, les réseaux de gaz et de chaleur et la biomasse représentent 60 % du total. Au bout du compte, chaque trajectoire induit des gains économiques supérieurs aux investissements annuels requis sur l'ensemble de la période, les gains les plus élevés, investissement déduit, étant assurés par les trajectoires de faible demande (C) et (D)<sup>2</sup>. Ce sont également les trajectoires les plus résilientes économiquement face aux incertitudes et en particulier face aux aléas sur le prix des fossiles (à la hausse comme à la baisse).

Toutes ces questions ont été abordées dans le débat, mais sont finalement assez mal reflétées dans ce qu'il en est sorti et dans les échanges autour de la préparation du projet de loi. Cette représentation ne permet pas non plus, loin s'en faut, de discuter tous les éléments de controverse sur l'équilibre du système électrique, ou les impacts macroéconomiques de la transition, même s'ils permettent de formuler quelques intuitions. Certains points semblent relativement robustes pour engager l'action (soit qu'ils opposent clairement deux trajectoires, soit qu'au contraire ils semblent acquis quel que soit l'orientation prise), d'autres sont loin d'être tranchés : mais c'est aussi le rôle d'une loi sur la transition de lancer des dynamiques exploratoires, de tester les outils, d'assurer une évaluation pluraliste des politiques menées. Nous allons, dans ce numéro et le suivant, approfondir quelques dossiers essentiels de la transition énergétique française, et apporter un éclairage plus sectoriel aux questions soulevées ici.

<sup>2</sup> - Voir à ce sujet le rapport du groupe de travail 4 du DNTE.