

Les scénarios énergétiques de l'Ancre

L'Alliance nationale de coordination de la recherche pour l'énergie (Ancre), qui rassemble l'ensemble des organismes publics français de recherche impliqués dans le domaine de l'énergie, a souhaité apporter sa contribution aux réflexions engagées dans le cadre du débat lancé à l'automne 2012 et de la préparation de la loi sur la transition énergétique, en donnant un éclairage — correspondant à son expertise en matière de recherche, de développement technologique et d'innovation — sur les barrières, notamment technologiques, à surmonter pour atteindre les objectifs de réduction drastique des émissions de gaz à effet de serre. Le but était en outre d'évaluer les conditions nécessaires et les impacts de différentes trajectoires susceptibles d'atteindre cet objectif ; cette approche vise à éclairer les choix sur la base de critères d'efficacité tant sur le plan de la politique énergétique que sur celui de la dynamique économique et industrielle française.

Les lignes directrices des scénarios de l'Ancre

L'Ancre a retenu un cadre défini par l'objectif de division par 4 des émissions de gaz à effet de serre à l'horizon 2050, l'hypothèse gouvernementale d'une réduction à 50 % à l'horizon 2025 de la part de l'énergie nucléaire dans le mix électrique, l'évolution d'un mix vers davantage d'énergies renouvelables et un effort soutenu de sobriété et d'efficacité énergétique. Les trajectoires proposées partent d'une analyse des déterminants de la demande — globale et par secteur — et de l'offre énergétiques, ainsi que des émissions de CO₂. Elles prennent en compte les marges de manœuvre en termes d'usages de l'énergie — y compris en matière de transfert entre vecteurs énergétiques — et les évolutions permises par le progrès technologique.

La décarbonisation du système énergétique à l'horizon 2050 suppose des changements structurels très profonds. Elle devra s'appuyer sur la maîtrise de la demande, par la promotion de l'efficacité énergétique et par des changements plus ou moins marqués dans les comportements des consommateurs, ménages et entreprises, par le développement d'une offre énergétique adaptée,

et, enfin, par la gestion des réseaux et des vecteurs énergétiques de la manière la plus adaptée possible.

Dans cet esprit, l'Ancre a défini trois scénarios principaux et deux scénarios alternatifs décrivant des visions contrastées d'un avenir énergétique pour la France, à l'horizon 2050 (tab. 1).

Le scénario "Sobriété renforcée" (SOB)

La trajectoire proposée dans ce scénario repose sur trois axes : un comportement très vertueux, "sobre", du consommateur vis-à-vis de sa consommation énergétique, d'une part, l'efficacité énergétique, avec notamment des investissements importants pour la rénovation des bâtiments existants et la récupération des chaleurs fatales, d'autre part, enfin, le développement des énergies renouvelables variables (EnR).

Les hypothèses sur les modifications de comportement prises en compte dans le scénario SOB concernant :

- le secteur des transports avec une évolution à la baisse de la mobilité et du taux de motorisation individuels, le développement de modes de déplacements doux, du covoiturage, de l'autopartage, etc. ;

Les scénarios énergétiques de l'Ancre

- le secteur du bâtiment avec une moindre croissance des surfaces, une proportion plus importante de logements collectifs, l'absence d'effet rebond, un ralentissement de la croissance des consommations d'électricité spécifique, etc.

Ces évolutions de comportement résultent notamment (mais pas uniquement) de la mise en place de dispositifs incitatifs appropriés (signaux tarifaires) ou réglementaires.

Le scénario "Décarbonisation par l'électricité" (ELE)

La trajectoire proposée dans ce scénario met en avant le vecteur électrique et l'efficacité pour réussir la transition énergétique. La décarbonisation repose dans ce scénario sur un triptyque efficacité énergétique, électricité d'origine renouvelable (variable ou "dispatchable") et nucléaire.

La caractéristique essentielle de ce scénario est qu'une électricité fortement décarbonée se développe comme vecteur et pénètre sur de nouveaux usages (industrie, transports automobiles, production d'hydrogène etc.) permettant ainsi de réduire la demande en énergies fossiles.

Le scénario "Vecteurs diversifiés" (DIV)

La trajectoire proposée dans ce scénario repose sur l'utilisation importante de "nouveaux" vecteurs au sein du système énergétique, et ce, plus particulièrement, au niveau local :

- valorisation des sources de chaleur fatale (récupération de chaleur basse température, chaleur des centrales électriques et sources renouvelables) ;
- incorporation de bioénergies aux vecteurs énergétiques conventionnels, liquides ou gazeux ;
- efficacité énergétique.

Les autres scénarios

La variante "Nucléaire et EnR" (ELEC-V)

Un quatrième scénario a été élaboré ultérieurement afin d'évaluer les conséquences d'un mix électrique qui demeurerait plus proche du mix actuel pour le nucléaire, mais avec néanmoins une progression significative des énergies renouvelables variables (EnR).

Ce scénario conserve la base des hypothèses du scénario ELE, c'est-à-dire un effort d'efficacité énergétique important et une utilisation du vecteur électrique pour assurer la décarbonisation de nouveaux usages de l'énergie. Mais, dans ce cas, la part de l'énergie nucléaire dans l'électricité décroît moins et reste supérieure à

50 % en 2025. Une part de cogénération nucléaire est également intégrée dans ce scénario. Un espace suffisant est néanmoins créé pour un développement significatif des énergies renouvelables variables, compatible avec les objectifs européens dans ce domaine.

La trajectoire "tendancielle" (TEND)

À des fins de comparaison et d'évaluation, une trajectoire dite "de référence" a été construite. Elle permet d'illustrer ce que serait la dynamique du système énergétique français si l'on prolongeait les tendances actuellement observées, tenant compte des engagements gouvernementaux, des politiques énergétiques et de climat. Notamment, cette trajectoire n'est donc pas "à parc constant" puisqu'elle prend en compte les dynamiques récentes, par exemple, en termes de rythmes d'installation des EnR.

Tableau 1

Évolution des modes de vie selon les scénarios

	2010	2030			2050		
Population (Millions d'habitants)	62,8	68,5			72,3		
Scénario		TEND	ELE/ DIV	SOB	TEND	ELE/ DIV	SOB
HABITAT							
Mm ²	2 539	3 063	3 063	2 957	3 559	3 559	3 377
m ² /hab	40	45	45	43	49	49	47
Part de l'habitat collectif (% logements)	43 %	44 %	44 %	46 %	45 %	45 %	49 %
TERTIAIRE							
m ² /emplois	52	55	55	52	55	55	52
MOBILITÉ							
Traffic passager (hors aérien) Gpkm	971	1 088	1 088	980	1 219	1 219	976
Parc de véhicules particuliers (Millions de véhicules)	31	37	36	32	43	39	17

Sources : INSEE, projections de l'Ancre

Méthodologie

Les travaux de l'Ancre ont été réalisés selon le processus suivant : une analyse et une agrégation des évolutions des besoins énergétiques des différents secteurs ; une estimation des impacts de ces évolutions sur le secteur de l'énergie (production d'électricité, raffinage de pétrole, transport et distribution de gaz et de chaleur) et enfin une évaluation de l'évolution en conséquence du mix énergétique.

Les scénarios énergétiques de l'Ancre

La prise en compte des objectifs initiaux (atteinte du facteur 4 et part du nucléaire de 50 % en 2025) contraint le système et impose des choix technologiques pour assurer à la fois la production et l'équilibre de l'ensemble. Probablement davantage que toute autre industrie, le secteur de l'énergie se caractérise par des constantes de temps très longues et toute inflexion, même d'envergure et résultant d'une volonté politique, ne se concrétisera que des décennies après son implémentation.

La demande globale est supposée rompre avec la tendance historique d'augmentation continue de la consommation énergétique par habitant. Cette inversion relève à la fois d'une nécessité de réduction de la consommation de ressources épuisables et d'une prise de conscience collective de l'impact de nos sociétés sur l'environnement. Tous les scénarios misent sur un renforcement plus ou moins poussé de la sobriété énergétique et de l'efficacité de production et d'utilisation rationnelle de l'énergie.

Résultats des scénarios

L'Ancre s'est proposée d'explorer les voies permettant d'atteindre le facteur 4 pour la réduction des émissions de CO₂ en 2050 à travers l'analyse comparative de ces trois scénarios contrastés. Deux résultats principaux sortent de notre étude :

- les trois scénarios permettent d'atteindre le facteur 4 sur les émissions de CO₂ énergétique. Pour cela, ils actionnent plusieurs leviers : un investissement important pour les options d'efficacité et de renouvelables, et des évolutions de comportements. Ces scénarios impliquent des ruptures technologiques qui, par nature, ne sont pas acquises ;
- les scénarios permettent une baisse de 65 à 70 % de la totalité des émissions de GES.

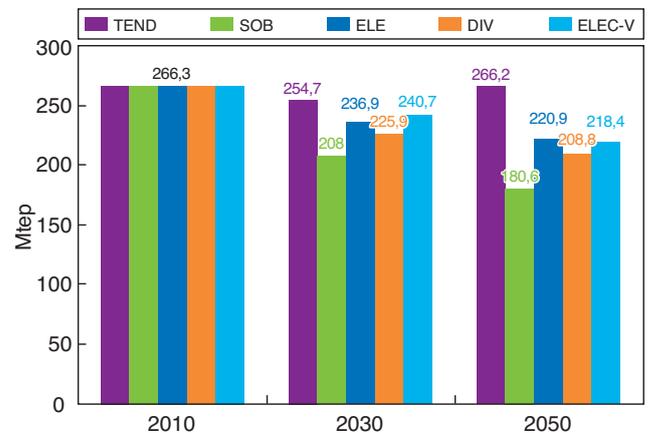
Concernant les ruptures technologiques, le scénario SOB fait appel au captage et au stockage du CO₂, le scénario ELE au stockage massif d'électricité et les scénarios DIV et ELEC-V à la cogénération nucléaire.

Bilan en consommation d'énergie primaire

Dans le scénario de référence TEND, l'énergie primaire consommée est à peu près stable dans le temps ; les efforts de réduction venant contrebalancer les effets dynamiques qui poussent à l'augmentation, notamment la démographie et la croissance économique.

La consommation primaire est fortement réduite dans le scénario SOB (- 32 %) par rapport à 2010 et une

Fig. 1 – Consommation d'énergie primaire 2010-2050*



* Les calculs pour l'énergie primaire incluent les consommations à usages non énergétiques ainsi que les transports internationaux.

Source : Calculs de l'Ancre

différenciation assez nette se reflète au niveau de l'énergie primaire entre le scénario DIV et les autres scénarios ELE et ELEC-V. En effet, alors que ces deux derniers scénarios favorisent plutôt le vecteur électrique, la diversification mise assez largement sur la biomasse (fig. 1).

Bilan en consommation d'énergie finale

Les calculs pour l'énergie finale sont au format "standard", c'est-à-dire qu'ils n'incluent ni les consommations à usages non énergétiques, ni les transports internationaux. Leur prise en compte ajouterait environ 20 Mtep à la consommation finale d'énergie. Ce format "standard" permet une meilleure comparaison entre les scénarios de l'Ancre et les autres scénarios proposés lors du débat national sur la transition énergétique.

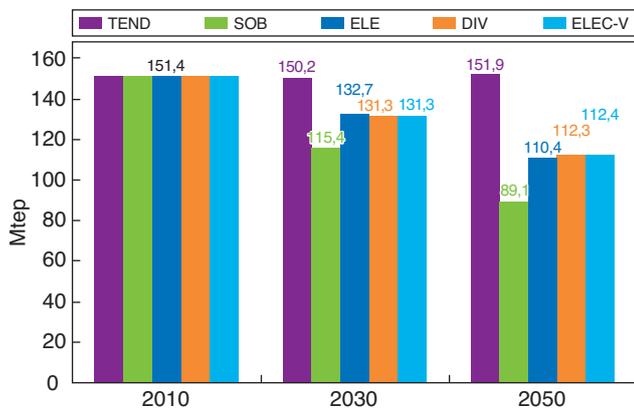
Côté demande, seul le scénario SOB se distingue nettement des autres dans le bilan final affichant une baisse significative par rapport à aujourd'hui (- 41 %). Les scénarios ELE, DIV et ELEC-V, bien qu'étant sur une inversion de tendance, indiquent une demande d'énergie finale de l'ordre de 110-112 Mtep. Cette réduction de - 27 % traduit néanmoins un effort considérable du citoyen (fig. 2).

Évolution de la consommation d'énergie dans le secteur résidentiel et tertiaire

Concernant le secteur résidentiel et tertiaire, les principales différences entre les scénarios portent sur le rythme de rénovation du parc existant et sur les performances de la rénovation.

Les scénarios énergétiques de l'Ancre

Fig. 2 – Consommation d'énergie finale 2010-2050



Source : Calculs de l'Ancre

Dans les scénarios ELE et DIV, le rythme annuel de rénovation est porté à 350 000 logements/an (en moyenne sur la période) et 15 Mm² dans le tertiaire contre, respectivement, 100 000 logements/an et 10 Mm² actuellement. Le niveau de performance de la rénovation thermique permet, en théorie, d'économiser 60 % par rapport à la consommation de référence du parc existant mais la prise en compte d'un effet rebond limite le gain effectif à 53 %. La consommation d'électricité spécifique se stabilise dans le scénario DIV puis décroît légèrement après 2030. Elle continue à augmenter puis se stabilise dans ELE.

Dans le scénario SOB, l'effort de rénovation du parc existant est fortement accru et passe à 650 000 logements/an et 25 Mm² pour le tertiaire. Par ailleurs, la rénovation thermique permet d'économiser jusqu'à 70 % d'énergie de chauffage sans que l'on suppose un effet rebond notable. De même, la consommation d'électricité est supposée se stabiliser dès 2015 puis décroître après 2030.

Évolution de la consommation d'énergie dans les transports

Concernant le secteur transport, les divergences entre les différentes trajectoires proposées par l'Ancre portent sur l'évolution de la demande de mobilité, la part relative des différents modes de transport et les technologies et vecteurs énergétiques privilégiés.

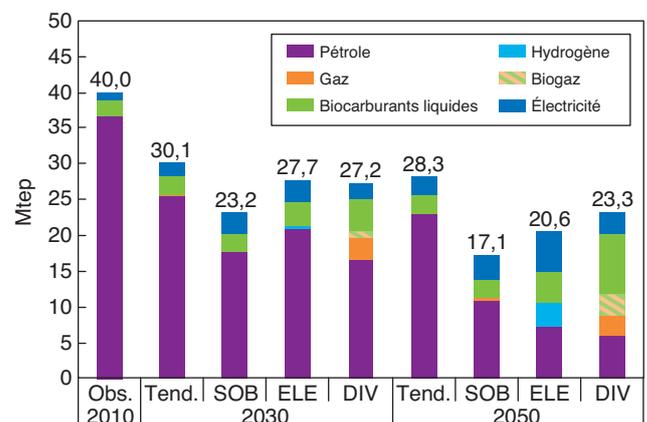
Les hypothèses en termes d'évolution de la demande de mobilité divergent entre le scénario SOB et les deux autres scénarios ELE et DIV. Les tendances observées sur les dix dernières années sont poursuivies dans les scénarios ELE et DIV. La mobilité des personnes, en passagers-kilomètre (pkm), augmente de 25 % entre

2010 et 2050, un accroissement essentiellement lié à l'évolution de la population (72 millions d'habitants en 2050). Sur cette même période, le transport de marchandises exprimé en tonnes-kilomètre (tkm) augmente de 53 % (fig. 3).

Dans le scénario SOB, l'hypothèse est faite d'une modification forte des comportements et des modes d'organisation. La mobilité individuelle diminue de 20 % en moyenne sur les 40 ans projetés, ce qui se traduit par une stabilité du volume global de passagers-kilomètre, ceci malgré l'augmentation de la population. Cette diminution est imputable à l'adoption de modes de transport doux (vélo, marche) et de nouveaux modes d'organisation (télétravail, généralisation des livraisons à domicile, etc.).

Les services de mobilité se développent, le rapport à la voiture particulière se modifie, permettant une adaptation du type de véhicule au type de déplacement (petit véhicule électrique en ville, etc.). Le parc automobile (véhicules particuliers — y compris de flottes servicielles —, véhicules utilitaires légers) diminue d'environ 40 % par rapport à 2010. En matière de transport des marchandises, un effort très important est fait pour rationaliser le trafic, les productions locales sont privilégiées. La conséquence est un maintien du nombre de tonnes-kilomètre au niveau observé en 2007 (avant crise), soit 360 milliards de tkm.

Fig. 3 – Consommation du secteur transport par type d'énergie



Source : Calculs de l'Ancre

La part relative des différents modes de transport reste équivalente à celle de 2010 sur l'ensemble de la période pour les scénarios DIV et ELE. Elle est profondément modifiée dans le scénario SOB : la part de la voiture dans la mobilité des personnes se réduit, passant de plus 80 % en 2010 à 50 % en 2050. Ce basculement se fait au profit du ferroviaire, des transports en commun routiers et des deux-roues motorisés. Dans le domaine du transport de marchandises, un effort particulier est fait

Les scénarios énergétiques de l'Ancre

pour développer le feroutage, qui est multiplié par trois par rapport à son niveau actuel, soit un accroissement de 50 % par rapport au niveau le plus haut observé en 2000.

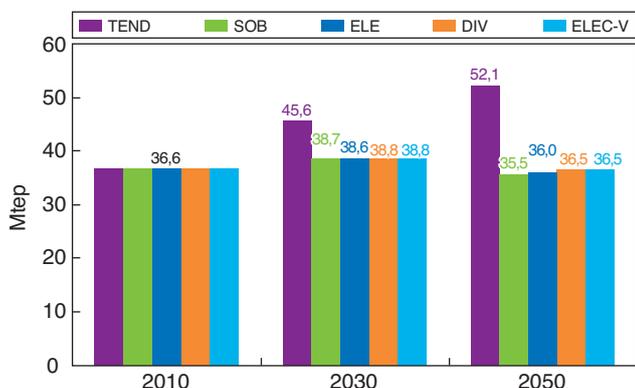
En termes de technologies, dans tous les scénarios, les rythmes d'innovation et de diffusion de celles-ci sont accélérés. Ceci se traduit par une forte pénétration dans le parc des motorisations alternatives et une amélioration de l'efficacité énergétique globale beaucoup plus rapide qu'observée sur les dernières années. Dans tous les scénarios, la part des véhicules électrifiés (véhicules électriques et véhicules hybrides rechargeables) dans le parc est au moins de 25 % à l'horizon 2050, atteignant même 45 % dans le scénario ELE qui met l'accent sur ce type de solution. L'effort d'innovation permet de réduire la consommation unitaire des voitures continuant à utiliser des carburants carbonés de 50 % (ELE et SOB) à 55 % (DIV) par rapport à 2010.

Pour les trois trajectoires étudiées, le défi technologique est important. Il s'agit, en effet, d'accélérer le rythme d'innovation et de diffusion de l'innovation sur les véhicules, essentiellement selon deux axes : la diminution de leur consommation unitaire et le développement de motorisations alternatives.

Évolution de la consommation énergétique de l'industrie

Les scénarios ont été construits sur la base d'une méthode d'analyse factorielle croisant les trois déterminants suivants : un indicateur d'activité de la branche, une intensité énergétique et un vecteur de la consommation d'énergie. Les activités des branches sont les mêmes dans les trois scénarios et leur construction a été calée sur le scénario Enerdata AMS-O pour la DGEC. Ce scénario suppose un taux de croissance industriel de

Fig. 4 – Consommation d'énergie dans l'industrie 2010-2050



Source : Calculs de l'Ancre

1,7 % jusqu'en 2030. Dans un premier temps, cette tendance a été prolongée jusqu'à 2040 et le taux porté à 1,8 % entre 2040 et 2050.

Au total, compte tenu de la croissance de l'industrie, ce secteur voit sa consommation d'énergie stabilisée sur la période de projection grâce à une diminution des intensités énergétiques de l'ordre de 30 %. Le reste des gains est dû à l'évolution du mix, avec une augmentation de la part de l'électricité (surtout ELE) et des énergies vertes (principalement la biomasse dans DIV). Des facteurs très importants sont aussi le recours à la cogénération nucléaire (40 TWh d'énergie thermique dans le scénario DIV) et le captage/stockage du CO₂ (fig. 4).

Trajectoire d'investissement

Les besoins d'investissement dans le secteur du résidentiel tertiaire sont de l'ordre de 900 G€ sur l'ensemble de la période (2010-2050) pour le scénario SOB (en différentiel par rapport au scénario de référence) pour lequel le volume de rénovation et le niveau de performance requis sont les plus élevés. En moyenne annuelle, les besoins en investissement seraient donc de l'ordre de 4 G€ dans le scénario TEND, 12 G€ dans ELE et DIV et 24 G€ dans SOB.

Tableau 2

Investissements cumulés par secteur entre 2012 et 2050 et moyenne annuelle tous secteurs (en G€, base 2012)

	Secteur tertiaire et résidentiel	Transport	Production d'électricité	Investissement moyen annuel (tous secteurs)
TEND	159	3 917	589	123
SOB	889	2 116	468	92
ELE	459	5 068	606	161
DIV	462	4 293	491	138

Source : Calculs de l'Ancre

Les besoins en investissement dans le secteur transport sont de l'ordre de 2 100 G€ sur l'ensemble de la période (2012-2050) pour le scénario SOB, contre environ 4 000 G€ pour les scénarios TEND et DIV et 5 000 G€ pour ELE. Pour les deux scénarios SOB et ELE, les dépenses qui seront probablement plus favorisées par la collectivité, c'est-à-dire celles liées aux infrastructures routières et ferroviaires, aux équipements ferroviaires — transport de personnes et de marchandises — et aux bus, sont supérieures à celles du scénario TEND (ou scénario de référence). Les augmentations les plus importantes sont observées dans le scénario SOB, avec un poids

Les scénarios énergétiques de l'Ancre

particulier des investissements liés au développement des transports en commun ferroviaires et routiers et du fret ferroviaire. Vient ensuite le scénario ELE, avec un poids particulier des équipements et bornes de recharge (notamment rapides) pour le développement des véhicules électriques et véhicules hydrogène.

Le scénario DIV est marqué par des investissements importants dans la construction d'unités de production de biocarburants (liquides et gazeux), soit plus de 4 G€/an en moyenne sur la période 2012-2050.

Sur cette même période, les dépenses liées à l'achat des véhicules routiers (VP, VUL et PL, hors bus) considérées comme principalement prises en charge par les ménages et les entreprises sont supérieures dans le scénario ELE à celles du scénario TEND (+ 30 %), alors qu'elles restent d'un montant comparable pour le scénario DIV (+ 5 %) et diminuent fortement par rapport à TEND dans le scénario SOB (- 50 %). Pour cette dernière trajectoire, il est important de rappeler que les hypothèses faites en termes de réduction de la mobilité individuelle et de développement massif de solutions de type autopartage conduisent à une diminution par deux en 2050 du parc de véhicules, par rapport à son niveau actuel.

Dans le scénario ELE, cette forte augmentation est principalement imputable à une diffusion volontariste de véhicules électriques et à hydrogène qui présentent un surcoût net, du moins dans les premières années de leur mise sur le marché. La durée de vie plus faible des véhicules dans le parc, liée notamment à la nécessité d'accélérer la pénétration de nouvelles technologies véhicule plus performantes sur le plan énergétique ou moins émettrices de CO₂, est également une des explications.

Dans le secteur de la production électrique, les besoins en investissement sur la période 2012-2050 sont dans une fourchette comprise entre 468 G€ pour le scénario SOB et 606 G€ pour le scénario ELE. Dans ce dernier, l'investissement dans le secteur électrique sera supérieur aux autres scénarios, mais il pourrait être partiellement compensé dans un premier temps par un rallongement de la durée d'exploitation des réacteurs nucléaires (ou par un facteur de charge plus élevé). Le développement rapide des énergies renouvelables variables pourrait constituer un facteur d'augmentation des investissements à moyen terme, car elles n'ont pas encore pleinement bénéficié des effets d'apprentissage, mais ce mouvement pourrait disparaître à plus long terme. L'intégration d'une plus grande part d'EnR variables pourra également impliquer des coûts significatifs de développement et de renforcement du système électrique (réseaux intelligents, interconnexions, stockages), et de nouveaux outils de gestion de la demande d'électricité (GTB, smartgrids, etc.).

L'Ancre a prévu d'évaluer, lors de ses futurs travaux, l'impact des investissements de rupture pour chacun des scénarios : le stockage massif d'électricité (ELE), le CCS (SOB) et les réseaux de chaleur basse température à base de cogénération nucléaire (DIV et ELEC-V).

Emploi

L'impact sur l'emploi des scénarios de l'Ancre a été chiffré pour les différents secteurs, mais les résultats doivent toutefois être pris avec beaucoup de précaution étant donné les incertitudes du chiffrage macroéconomique. En effet, tous les scénarios entraînent une hausse des prix de l'énergie et son impact sur la compétitivité des autres secteurs (et donc sur l'emploi) n'a pas été mesuré.

Dans le secteur résidentiel, les créations d'emplois s'établissent à 72 000 pour TEND, contre plus de 400 000 pour SOB. Dans le secteur des transports, elles atteignent près de 400 000 emplois dans TEND, DIV, ELE et ELEC-V, contre une destruction de 168 000 dans SOB.

Impact pour les ménages

L'évolution des prix de l'énergie pour le consommateur dépend d'un jeu d'hypothèses en cascade sur les prix internationaux des énergies importées, les coûts des équipements de production-conversion-mise à disposition de l'énergie au consommateur et enfin de la fiscalité, paramètre majeur du pilotage de la transition énergétique. L'Ancre retient notamment l'hypothèse d'une croissance continue du prix international du pétrole. Celui-ci atteint en termes réels 130 \$/bl en 2020 et 215 \$/bl en 2050, soit 100 €/bl en 2020 et 165 €/bl en 2050 (en faisant l'hypothèse d'un maintien à un niveau constant sur toute la période de la parité euro/dollar).

Tableau 3

Dépenses énergétiques totales des ménages (en euros constants)

€/an	2010	2030	2050
TEND	2 790	3 204	3 400
SOB	2 831	2 819	2 408
ELE	2 824	3 336	2 627
DIV	2 836	3 047	2 473
ELEC-V	2 824	2 979	2 540

Source : Calculs de l'Ancre

Les scénarios énergétiques de l'Ancre

Le rôle important accordé à la rénovation thermique des bâtiments dans tous les scénarios oblige aussi à considérer le financement de ces investissements comme faisant partie de la facture énergétique avec, le cas échéant, le remboursement des annuités correspondantes.

Dans tous les scénarios, les prix de l'énergie vont augmenter significativement.

Indépendance énergétique et commerce extérieur

Les différents scénarios aboutissent à une réduction importante de la dépendance énergétique de la France, qui passe de 51 % aujourd'hui à 27 % (ELE), 28 % (DIV) ou 36 % (SOB) en conséquence d'une baisse de la consommation en hydrocarbures en 2050. Les gains possibles en termes d'importation de produits pétroliers sont importants dans tous les scénarios.

Au total, les importations, qui seraient réduites de près de moitié dans ELE et DIV, permettraient une baisse considérable de la facture pétrolière et gazière du pays (de l'ordre de la cinquantaine de milliards d'euros/an en fin de période). Cet effet macroéconomique positif et majeur doit cependant être mis en rapport avec le montant considérable des investissements mobilisés par la transition.

Impacts environnementaux

Dans l'ensemble des scénarios les impacts seraient assez voisins. Le scénario DIV, qui suppose un recours accru à la biomasse, est construit sur l'hypothèse d'un solde du commerce extérieur de biomasse énergétique neutre et d'absence de bouleversement des pratiques culturelles. Les surfaces concernées par les cultures dédiées seraient de l'ordre de 50 000 km² (pour atteindre 20 % en tonnes brutes des 30 Mtep de bioénergies), soit environ 10 % du territoire. L'évolution du paysage de nos campagnes serait accélérée. L'emprise au sol des énergies solaires et éoliennes serait importante dans les scénarios de développement de l'électricité (en particulier ELE, mais tous les scénarios sont concernés), pouvant représenter près de 700 km² pour 60 GW de solaire et 500 km² pour 50 GW d'éolien onshore. Mais ce résultat doit être considéré avec prudence car un meilleur usage des surfaces artificialisées permettrait de satisfaire une part importante des besoins. Le

développement de l'éolien en mer permettrait également de déporter les impacts dans des zones inhabitées.

L'Ancre cherche également à analyser des impacts d'autres natures, tels que les risques accidentels (d'origine naturelle ou industrielle et terroriste), la perception sociale des évolutions technologiques et des contraintes économiques et réglementaires, la "faisabilité politique" des trajectoires, etc. L'évaluation poussée des scénarios ne pourra être menée qu'après des réflexions interdisciplinaires d'une certaine ampleur.

Conclusions

Le travail accompli par l'Ancre montre que si l'atteinte du facteur 4 (pour le CO₂ énergétique) est envisageable, elle nécessitera, quel que soit le scénario, des efforts importants dans au moins quatre directions : les comportements (avec des politiques adaptées de réglementation et de prix de l'énergie), la prise en compte du rapport coût/performance des technologies mobilisées, le développement d'infrastructures et d'aménagements, ainsi que des avancées technologiques majeures. La réalisation de ces conditions suppose des investissements considérables.

L'Ancre rappelle que toutes les analyses indiquent que l'atteinte du facteur 4 ne se fera pas sans une politique européenne de l'énergie visant à organiser les complémentarités et la cohérence d'ensemble ; cela s'applique non seulement aux politiques en matière d'industries de réseaux, électricité et gaz, mais aussi aux programmes de R&D.

Les conséquences macroéconomiques dépendront très largement de la capacité à mettre en œuvre, au plan national et européen, des politiques coordonnées en matière de recherche et développement, de fiscalité notamment environnementale, et de soutien au déploiement de filières industrielles compétitives. À côté des verrous technologiques, devront être levés les freins liés au passage vers un nouveau système énergétique, moins centralisé, laissant davantage de marge de manœuvre (et de responsabilité) aux territoires et autres parties prenantes.

*Rédacteur : Emmanuel HACHE, d'après le Rapport 2013, Scénarios de l'Ancre pour la transition énergétique, disponible à l'adresse suivante : <http://www.allianceenergie.fr/>
Manuscrit remis en janvier 2014*