

Visions Ademe 2030-2050¹

Eric Vidalenc, Laurent Meunier, Benjamin Topper

Alors que les importations d'énergie fossiles en France atteignent un nouveau record à quelque 69 milliards d'euros en 2012, que les négociations internationales climatiques s'enlisent et que les promesses autour de technologies de transition restent controversées, l'Ademe a souhaité proposer ses visions de l'évolution possible du système énergétique français à long terme. Construit autour des deux piliers qui constituent l'expertise de l'agence sur les questions énergétiques, la maîtrise de la consommation d'énergie et les énergies renouvelables, cet exercice de prospective vise à mettre en cohérence des choix technologiques et à proposer une voie de transition possible pour atteindre le facteur 4² en 2050. Les visions proposées offrent une alternative à un scénario tendanciel de forte vulnérabilité face à la disponibilité des ressources énergétiques conventionnelles, mais également aux externalités environnementales, au premier rang desquelles les changements climatiques. « Autrement dit, ces visions doivent être interprétées comme de possibles marges de manœuvre dans un monde futur qui sera, selon toute vraisemblance, plus contraint », précise l'Ademe dans sa présentation.

1. Contexte

L'Ademe avait déjà initié une réflexion prospective sur ces horizons de long terme et l'atteinte du facteur 4 via différents travaux et participation à des groupes de réflexion. Ainsi, une série de recherches sectorielles (Transports, Habitat, Agriculture) a été pilotée par l'Ademe au cours de ces dernières années. Comme exemple, le programme de prospective « Repenser les villes dans une société post-carbone » a permis d'investiguer les potentiels liés à l'appropriation de la question énergétique

par les territoires en France. Le soutien à des projets internationaux, tels les projets européens, ou encore à la chaire Modélisation et Prospective, a permis aussi d'enrichir l'expertise technique, via la construction de scénarios de changements de paradigmes, d'évolutions de modes de vie et de ruptures nécessaires à de tels horizons (2050). En outre, dans le cadre des Investissements d'Avenir, et en amont des Appels à Manifestation d'Intérêt (AMI), l'Ademe a réalisé avec l'appui d'experts de la recherche académique et industrielle des « feuilles de route », exercices de prospective

1. Cet article est issu d'un travail collectif entrepris début 2012 et qui a mobilisé l'ensemble des experts de l'Ademe intervenant sur les questions énergétiques. Il n'est que la synthèse d'une production collective. Néanmoins, les auteurs assument la responsabilité de toute erreur ou omission qui pourraient s'y trouver. La synthèse d'une quarantaine de pages et le rapport complet seront publiés à la fin du premier semestre 2013.

2. Le facteur 4 est la division par quatre des émissions de gaz à effet de serre par rapport à 1990. Il est apparu dans le contexte législatif français en 2005 via la Loi POPE <http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000813253> et repris par la loi Grenelle <http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000020949548> <http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000022470434>

technique, définissant des «visions communes» de déploiement de nouvelles technologies «vertes». Loin de vouloir constituer une synthèse de ces travaux, les Visions Ademe 2030-2050, lancées au début de l'année 2012, sont plutôt une mise en perspective de l'ensemble de l'expertise Ademe, nourrie notamment par ces différents travaux. Dans le contexte 2012 où de nombreux acteurs du monde de l'énergie ont produit leurs propres scénarios, ces Visions 2030-2050 de l'Ademe constituent un parti pris ayant pour but d'articuler les enjeux de long terme (facteur 4 et impacts environnementaux), avec ceux de court et moyen termes (vulnérabilité aux importations d'énergies fossiles, facture énergétique...).

Dans un premier temps, la méthodologie de l'exercice est décrite (périmètre, outils, approches prospectives). Puis les hypothèses considérées aux deux horizons de temps sont détaillées, tant sur la consommation que sur la production énergétique. Le bilan de l'exercice est enfin présenté, d'abord en termes quantitatifs, puis mis en perspective.

2. Méthodologie

A) Périmètre

Centré sur le système énergétique et les émissions de CO₂ associées (en 2010, les émissions de CO₂ liées à l'énergie représentaient 75% des émissions totales de gaz à effet de serre (GES) selon le CITEPA), la construction des visions proposées ici inclue une analyse fine du secteur agricole qui est très important en France, tant en termes économiques qu'en termes d'émissions de GES et de puits de carbone. Le présent article se concentre donc sur la description du système énergétique et du secteur agricole. Même si la consommation de ce dernier est seulement de quelques 4 Mtep sur les 151 Mtep finales totales, l'offre d'énergies renouvelables bio-sourcées présente des potentiels à long terme considérables. Enfin, il est à noter que les chiffres cités portent sur les consommations de la France continentale et de la Corse, et que les trafics aériens et maritimes internationaux sont exclus des bilans.

B) Hypothèses exogènes

Afin de circonscrire le champ de réflexion et pour permettre une comparaison aisée des résultats parmi l'ensemble des exercices de prospectives énergétiques existants, un certain nombre d'hypothèses économiques et démographiques ont été pris de manière exogène. Le tableau 1 détaille ces principales hypothèses. Cela ne signifie pas que l'Ademe les considère comme les plus probables ou justes, mais elles sont partagées par plusieurs acteurs et constituent des éléments de langage commun.

Tableau 1				
Les hypothèses exogènes de l'exercice				
Visions 2030-2050				
	2010	2030	2050	Référence
Population (M)	62,9	68,5	74,1	INSEE
Taille des ménages	2,3	2,17	2,05	INSEE
Prix du brut (US\$10/bbl)	78	135	231	AIE
PIB (%/an)		1,8		CAS
Construction neuve (M/an)	0,31	0,35	0,3	DGEC

C) Approches exploratoires et normatives

Deux approches ont été retenues pour deux horizons de temps et objectifs distincts. Ainsi, les horizons 2030 et 2050 ne doivent pas être lus dans une continuité. En effet, deux méthodologies différentes ont été adoptées : pour la vision 2030, il s'agit de déterminer à court/moyen terme les objectifs atteignables en adoptant des politiques et mesures volontaristes mais incrémentales (approche exploratoire) ; pour la vision 2050, il s'agit de déterminer à long terme manière d'atteindre un objectif donné, c'est ici l'atteinte du facteur 4 (approche normative). Comme la Figure 1 l'illustre, au fur et à mesure que l'on s'éloigne du temps présent, le champ des possibles s'ouvre ; et dès lors, les méthodologies pour traiter de ces horizons changent.

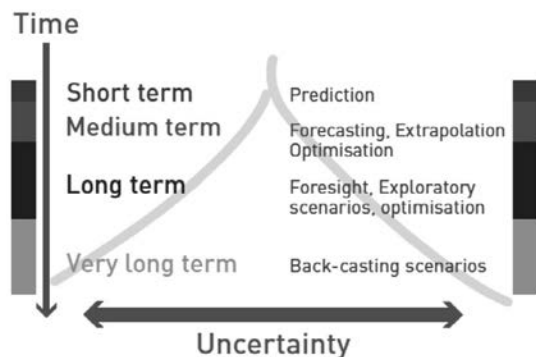


Figure 1. Temps et incertitudes dans les approches de prospective

(source : World and European Energy and Environment Transition Outlook, 2011)

2030 - Exploratoire

C'est l'ensemble des **technologies et mesures disponibles** actuellement avec des performances connues qui est mobilisé. Par exemple, des technologies avec des temps de retour sur investissement variables, entre 5 et 25 ans selon les secteurs, sont considérées. Sur certains secteurs, tels que l'agriculture, avec une entrée par l'alimentation, à la confluence des enjeux et intérêts environnementaux et sanitaires, des convergences entre ces problématiques ont été cherchées.

Concernant la production d'énergie, les potentiels de production à partir d'énergies renouvelables ont été déterminés selon une analyse technico-économique. Outre l'accessibilité de la ressource à conditions économiques données, le rythme d'installation a été retenu en vue de pérenniser les filières concernées. Point ponctuel, mais qui a structuré l'évolution du mix électrique : en 2030, la filière nucléaire ne représente plus que 50 % (face à quelques 75 % aujourd'hui) de la production électrique. Cette contrainte exogène a été fixée en cours de travail courant 2012 avec les engagements du Président de la République.

2050 - Normative

La perspective est radicalement différente puisqu'à partir d'une quantification de la consommation au sens large (taille des loge-

ments, kilomètres parcourus par personne par an, régime alimentaire,...) les services énergétiques à fournir sont évalués pour y répondre et des ruptures sont alors envisagées (régime alimentaire, rapport à l'objet de mobilité,...).

Des possibilités supplémentaires sur les potentiels d'énergies renouvelables par rapport à 2030 sont considérées, essentiellement liées à de la massification. Toutefois, le gisement de l'analyse initiale évolue peu. Sur le secteur électrique, il n'y a pas eu de mix électrique modélisé pour 2050 pour plusieurs raisons : ce sont des choix éminemment politiques en France d'une part, et d'autre part la question de la variabilité de certaines énergies renouvelables implique des changements de paradigme dans la gestion du système électrique que les outils de modélisation aujourd'hui utilisés ne nous permettaient pas de renseigner en toute rigueur. Des travaux supplémentaires sur des parts structurantes d'énergies renouvelables dans le système électrique seront donc à réaliser.

D) Ateliers sectoriels et transversaux

Une série d'ateliers sectoriels (Bâtiment, Transport, Agriculture, Industrie et Énergies renouvelables) ont permis à l'ensemble des équipes Ademe impliquées de se mobiliser et de formaliser les hypothèses à retenir dans l'optique présentée précédemment (approche exploratoire et normative), via une première « prospective d'experts ». Différents services participaient toutefois aux ateliers afin d'avoir une première entrée aussi pluridisciplinaire que possible.

Dans un second temps, à partir des fiches de synthèse issues des premiers ateliers, une série d'ateliers transversaux a été mise en place. L'enjeu était alors de se positionner sur des hypothèses faisant référence à un ou deux champs découpés « artificiellement » dans les premiers ateliers sectoriels. Ainsi, à titre d'exemple, les limites liées à l'intégration dans le système électrique des systèmes de production PV, abordés initialement dans l'atelier « Bâtiment », ont été repris dans un atelier transversal « Système électrique ». De même, les potentiels de stockage et d'injection sur le réseau relatifs aux véhicules électriques, regroupés sous le terme

générique ou « V2G », ont été repris au sein du même atelier.

E) Quantification et modèles

Après cette première phase de recueil d'expertises internes, et d'arbitrage via notamment la série d'ateliers transversaux, la mise en cohérence de l'ensemble de ces hypothèses a été réalisée à travers trois modèles :

- MEDPRO®, modèle qui, à partir d'une description fine des usages de chacun des secteurs consommateurs d'énergie combinée à une analyse technico-économique, simule la consommation énergétique des différents secteurs. Un module permet également de simuler la courbe de charge électrique. L'Ademe a acquis une licence d'utilisation auprès d'Enerdata, le concepteur de l'outil.
- EOD, modèle d'équilibre du système électrique français avec interconnexions, développé en interne à l'Ademe et permettant de déterminer les moyens techniques selon un donné (classement des moyens de production selon leurs caractéristiques technico-économiques : fatal, renouvelable, base, semi-base, pointe,...) pour répondre à une demande (courbe de charge simulée) au pas de temps horaire.
- MoSUT, développé par Solagro, modèle physique agricole, qui permet de répondre à une demande adressée au secteur agricole (consommation alimentaire, biomatériaux, bioénergie,...) à partir de surfaces agricoles utiles et des modes d'occupation des sols et pratiques agricoles.

Enfin, le CITEPA a contribué à l'analyse en corroborant les premières estimations de l'Ademe d'émissions de GES et en réalisant l'estimation des émissions de polluants pour la vision 2030. Une évaluation de l'impact sur la qualité de l'air est prévue.

3. Les Visions

A) 2030 - Exploratoire

La demande

Pour le secteur **résidentiel**, le niveau de confort à satisfaire reste identique à celui d'aujourd'hui. La rénovation atteint un

rythme moyen sur la période de 500 000/an. Les constructions neuves sont au nombre de 350 000/an au standard énergétique défini par la RT BBC et BEPOS à partir de 2020. Les systèmes de production de chaleur sont rééquilibrés avec des PAC (avec COP progressant jusqu'à 4 contre 3 en 2010) qui couvrent 20% des besoins de chauffage en énergie utile, les chaudières gaz à condensation se généralisent tandis que le fioul disparaît peu à peu. Pour l'électricité spécifique, le déploiement des équipements les plus efficaces (TV, réfrigérateur,...), dès à présent accessibles car ne figurant jamais parmi les équipements les plus chers, permet de réduire d'un facteur 2 les consommations sur ces postes et de compenser l'augmentation des autres usages connus (ex : informatique, hifi, box,...) et inconnus aujourd'hui, notamment certaines TIC.

Dans le **tertiaire**, la stabilité des surfaces/employés est une rupture par rapport à l'augmentation continue observée ces dernières années. La rénovation et le renouvellement des équipements permettent des gains significatifs, bien que moins importants que dans le résidentiel, des logiques d'optimisation étant déjà plus largement à l'œuvre dans le secteur tertiaire par rapport au résidentiel. En termes de confort, une augmentation significative de la climatisation est prise en compte avec 50% des employés concernés et donc des consommations à la hausse.

Dans le secteur des **transports**, la mobilité individuelle reste constante. Les gains sur les moteurs thermiques sont significatifs et le déploiement des nouvelles technologies importants (20% hybrides rechargeables et 10% de véhicules électriques dans les ventes de véhicules neufs), tout cela permet de passer de quelques 130g CO₂/km pour les véhicules neufs actuels à quelques 50 g. Mais c'est bien le changement dans les pratiques (avec notamment la mobilité servicielle pour 10% des flux urbains en 2030) qui est la vraie nouveauté et dont la dynamique commence à produire ses effets sur l'évolution du parc et des ventes de véhicules en 2030, la mobilité servicielle étant l'une des conditions nécessaires au déploiement des technologies électriques notamment. Les marchandises

transportées croissent de 20% d'ici à 2030 et les modes alternatifs (rail, voie d'eau) absorbent l'équivalent de cette croissance, mais l'essentiel reste transporté par la route. Il est à noter que cette croissance de 20% du trafic de marchandises d'ici 2030 est beaucoup moins rapide que celle observée ces vingt dernières années (0,8% contre 2,1% par an).

Dans l'**industrie**, le maintien de l'outil industriel de 2010 est une hypothèse structurante. Ainsi, les industries grandes consommatrices d'énergie (acier, ciment, verre, aluminium, éthylène notamment) voient leur production physique augmenter (hypothèses reprises des scénarios 2012 de la DGEC), tandis que la valeur ajoutée des autres industries croît d'un ordre de grandeur comparable à celui du PIB (soit près de 1,8%/an). Les efforts d'efficacité énergétique sont répartis avec des solutions technologiques bien identifiées et éprouvées, et dont les temps de retour, à prix de l'énergie stable, en euros constants et sans actualisation, se situent entre 4 et 25 ans. Les consommations par unité produite baissent ainsi en moyenne de 20%.

Enfin, dans le secteur **agricole**, la surface agricole utile (SAU) stagne du fait de la réduction des pertes évitables (-50%) et le prolongement de tendances de consommation observées (baisse de la surconsommation de protéines et maintien de la part des protéines animales à 65%). L'évolution des pratiques agricoles réduit la part de l'agriculture conventionnelle à 70%, tandis que l'agriculture biologique atteint 20% de la SAU et la production intégrée³ apparaît comme une solution intéressante (10%). Sur les apports d'intrants, l'efficacité de l'azote

3. La production agricole « intégrée » peut se définir comme un mode de production utilisant les mêmes piliers que l'agriculture biologique, mais s'autorisant l'utilisation d'azote minéral et de traitements phytosanitaires (en dernier recours) pour ne pas limiter trop les rendements. L'idée centrale est de construire des itinéraires techniques permettant de « valoriser au mieux les ressources naturelles et en mettant à profit des processus naturels de régulation » (Viaux, 1999) : allongement des rotations, généralisation des intercultures, simplification du travail du sol, développement de l'agroforesterie, ... Il n'y a pas, à l'heure actuelle, de dispositif de certification pour la production agricole « intégrée », mais différents concepts se rattachent aux mêmes principes tels que l'agriculture écologiquement intensive ou l'agroécologie.

organique et minéral progresse de quelques % pour atteindre 70 et 85%. Tandis que l'efficacité de la production baisse faiblement : 5%. Sur l'énergie directe, les bâtiments agricoles et les serres baissent leurs consommations de 30%.

L'offre

Concernant le secteur **électrique**, l'éolien terrestre, l'éolien maritime et le PV sont les principales EnR s'insérant dans le mix électrique. Bien que le nucléaire reste prédominant avec 32 GW installé et 48 % de l'électricité produite, le mix est plus diversifié qu'en 2010. Le tableau 2 reprend l'ensemble des productions de manière détaillée pour deux années contrastées en termes rigueur climatique. Quelques cycles combinés gaz, TAC et moyens thermiques décentralisés sont les dernières productions thermiques fossiles permettant notamment de satisfaire l'équilibre offre-demande en toute heure de l'année. Les technologies d'effacement ou de stockage longue durée n'ont pas été considérées à cet horizon. Les interconnexions jouent, tout comme aujourd'hui, un rôle crucial avec plus de 10 GW appelés lors des jours les plus contraints. L'équilibre du système apparaît en mesure d'être satisfait à partir de deux modélisations (une année normale/une année froide) et en considérant les facteurs de charge observés historiquement pour l'éolien terrestre et le PV.

À titre de comparaison, ce mix EnR est assez proche de celui de RTE – nouveau mix – dans le bilan prévisionnel 2012 (hypothèse « haute » sur les EnR, c'est-à-dire 40 GW d'éolien, 30 de PV, 3 d'énergies marines et 6,3 d'énergies thermiques EnR en 2030). Sur les interconnexions, c'est le scénario RTE – médian – (ensemble des hypothèses « modérées » sur croissance, démographie, nucléaire, efficacité énergétique, nucléaire, EnR et interconnexions) qui est assez similaire avec 13 GW « garantis » à l'import contre 8 aujourd'hui.

Sur l'ensemble de l'**offre renouvelable**, les besoins de chaleur sont satisfaits par des contributions de plus en plus importantes de bois énergie, méthanisation et géothermie. Les secteurs agricole-sylvicole jouent donc un rôle crucial dans la mobilisation de la biomasse renouvelable, mais les productions de bio-

masse à vocation énergétique n'entrent pas en concurrence avec la production à des fins alimentaires. L'augmentation de la part de déjections méthanisées (30 % en 2030) et de la

méthanisation des cultures intermédiaires produit un gisement de près de 6 Mtep de biogaz en 2030. Par ailleurs, l'augmentation du taux de prélèvement de l'accroissement naturel de

Tableau 2

Puissance installée et production annuelle en 2030 selon les deux scénarios de demandes testés

		Rigueur climatique type "2009/2010"	Rigueur climatique type "2011/2012"
	Capacité installée (GW)	Mtep	Mtep
Éolien terrestre	34	5,10	5,10
Éolien mer	12	3,24	3,24
Éolien	46	8,34	8,34
PV	33	3,32	3,32
Fil de l'eau	8,4	3,27	3,27
Cogénération bois	0,5	0,31	0,31
Géothermie	0,2	0,10	0,10
Biogaz + méthanisation	1,0	0,66	0,66
UIOM	0,43	0,30	0,30
Électricité de cogénération chaleur fatale industrielle	0,17	0,13	0,13
Énergies marines	1,46	0,43	0,43
Nucléaire	32,0	17,47	17,26
CCG	6,9	2,00	2,01
STEP	7,0	0,26	0,29
Eclusées	5,0	0,13	0,14
Hebdomadaire	5,5	0,14	0,16
Saisonnier	4,9	0,13	0,15
Hydro flex w/o STEP	15,4	0,40	0,44
Total hydro flex (STEP + barrages)	22,4	0,66	0,73
Total hydro (hydro flex + fil de l'eau)	30,8	3,93	4,00
Imports	16,0	0,15	0,28
TAC	5,0	0,00	0,02
Thermique totale (TAC + CCG)	11,9	2,00	2,02
Production totale	157,4	37,00	36,88
Production totale + imports + déstockage batteries	173,4	37,15	37,16
Pompage + stockage	7	0,33	0,36
Exports	21	1,25	1,28

la forêt (de 48 % aujourd'hui à 75 % en 2030) permet de fournir une ressource combustible solide bio-sourcée de 18 Mtep.

B) 2050 - Normative

La demande

Le parc de **bâtiments** voit ses performances thermiques nettement améliorées avec des rénovations massives généralisées et une construction neuve haute performance. Les constructions neuves en moyenne de 300 000/an voient leur rythme diminuer après 2030, en lien avec l'hypothèse d'une densification stabilisée et équilibrée. La part de maisons individuelles dans la construction neuve diminue pour passer de 58% aujourd'hui à 40% en 2050. Toutefois, compte-tenu du fait que les logements construits avant 2010 représentent en 2050 un peu plus de 60% des logements, les maisons individuelles représentent 52% du parc contre 57% en 2010. Cela s'inscrit notamment dans une perspective de maîtrise de l'étalement urbain, avec un arrêt de l'étalement sur la période 2030-2050. Au final, la consommation moyenne tous usages passe de 190 kWhEF/m²/an à 75 kWhEF/m²/an.

Dans le **tertiaire**, les surfaces par employé diminuent de 20%. Service à la personne, télétravail et pression foncière conduisent à une rationalisation des surfaces en question.

Dans les **transports**, la mobilité de l'ensemble de la population se maintient, mais décroît individuellement de 20%. Le vieillissement de la population, mais aussi les services à la personne et le déploiement du télétravail là aussi sont autant d'éléments qui jouent sur le niveau structurel de la mobilité subie. Les technologies de transport se répartissent entre véhicules électrique, hybride et thermique (1/3 chacun, en ordre de grandeur) avec une réduction importante du parc en circulation à 22 millions de véhicules avec une mutualisation importante. Le déploiement de services de mobilités est donc significatif (30% des flux en zone urbaine) et permet l'apparition de véhicules mieux adaptés et optimisés pour un usage précis.

Sur le secteur **industriel**, à défaut de pouvoir proposer des évolutions précises sur ce secteur largement dépendant des évolutions

extérieures à la France, les mêmes gains d'efficacité par unité produite sont reproduit sur la période 2030-2050 qu'entre 2010-2030.

Concernant le secteur **agricole**, les hypothèses sur régime alimentaire sont plus volontaristes, mais dans une optique de convergence avec les recommandations sanitaires de l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture. Ainsi, la part des protéines animales passe de 65 % à 50 % et la surconsommation générale de protéines diminue de 60 à 30 %. Les pertes évitables sont réduites au maximum envisageable (-60%). La part d'agriculture intégrée atteint 60% de la SAU, 30% pour l'agriculture biologique, le résiduel étant en conventionnel.

L'offre

À cet horizon, la ressource de combustibles bio-sourcés est encore augmentée : 21 Mtep sont disponibles sous forme de bois énergie et 9 sous forme de biogaz. Les valorisations énergétiques sont multiples, notamment sur des postes inexistantes aujourd'hui : déjections animales méthanisées pour 1,4 Mtep, résidus de culture en combustion 1,3 Mtep, résidus de cultures méthanisés 4,8 Mtep, etc.

Comme décrit précédemment, l'offre électrique n'est pas modélisée pour 2050.

4. Résultats

A) Bilan 2030

En synthèse, pour 2030, c'est donc une baisse de près de 20% de la consommation d'énergie finale par rapport au niveau de 1990 et de 40% des émissions de gaz à effet de serre.

Les EnR représentent 35% de la consommation énergétique finale (contre environ 12% en 2010) : 47% de la production électrique (17% en 2010), 9% dans les carburants (6% en 2010) et 43% pour le reste (13% en 2010). Le système électrique est à l'équilibre, comme représenté sur la Figure 2, avec l'ensemble des paramètres d'entrée décrits auparavant.

B) Bilan 2050

Dans l'exercice 2050, la vision conduit à une baisse de près de 50% de la consommation

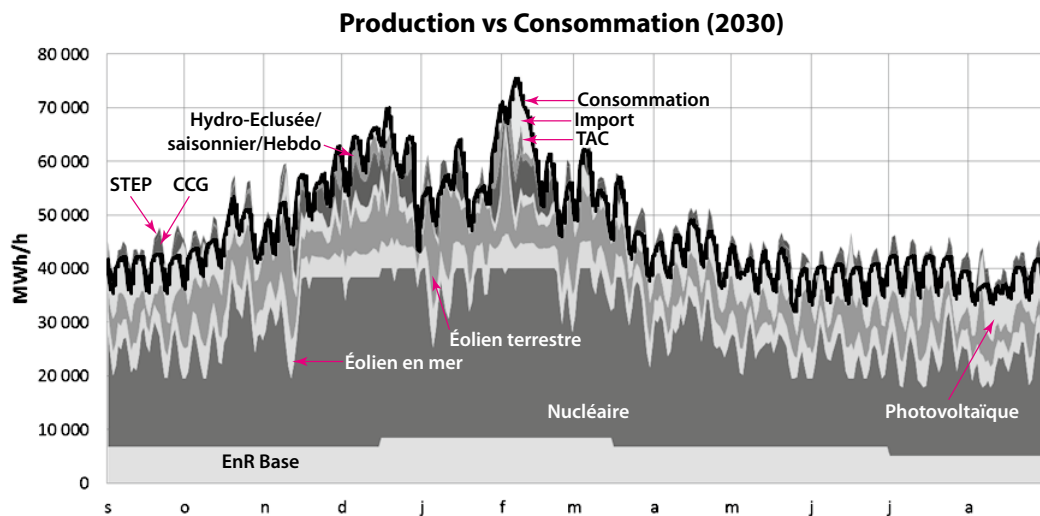


Figure 2. Offre et demande électrique en 2030

par rapport au niveau de 2010 et de 75% des émissions de gaz à effet de serre par rapport à 1990. Les énergies renouvelables représentent plus de 55% de la consommation d'énergie finale.

C) Une contribution potentielle structurante des EnR et de la maîtrise de la demande

La maîtrise de la demande en énergie et la part des énergies renouvelables, paramètres considérés comme des leviers structurants pour les visions proposées, sont repris dans les tableaux 3 et 4.

La consommation énergétique peut ainsi être divisée par 2 à l'horizon 2050, contre un gain de 20% à l'horizon 2030. Plus de la moitié de l'énergie finale consommée en France en 2050 peut être d'origine renouvelable, soit une multiplication par 4 par rapport aux niveaux actuels. La progression est significative sur tous les vecteurs énergétiques.

Ramené par personne, en énergie finale, on passerait ainsi de 2,4 tep/personne en 2010 à 1,1 tep/personne en 2050, soit une baisse de 54%. En énergie primaire, la baisse est similaire. Ce résultat paradoxal à première vue est intéressant parce qu'il montre qu'on peut réduire massivement la consommation d'énergie finale tout en intégrant un volume d'énergie renouvelable important... et sans

toutefois dégrader le rendement du système énergétique global.

5. Perspectives : le facteur 4 peut être atteint...

A) Avec des potentiels importants à court terme en changeant d'échelle

L'atteinte du facteur 4 est possible à long terme, avec à court terme une réduction de la vulnérabilité de l'économie française aux importations massives d'énergie fossile. Mais, au vu des inerties connues du système énergétique tant du côté de l'offre que de la demande (de quelques 100 années pour les bâtiments ou les infrastructures de transport, 40 à 50 ans pour des installations industrielles et 10 à 15 ans pour des équipements comme les réfrigérateurs ou les voitures), cela signifie clairement que des moyens adaptés (politiques incitatives, évolutions de comportements, signal-prix,...) doivent permettre à ces meilleures technologies et pratiques d'émerger rapidement. À titre d'exemple, aller vers plus de service de mobilité permet de rationaliser l'usage des véhicules particuliers (aujourd'hui à l'arrêt 95 % du temps), de les utiliser plus intensément et donc de faciliter naturellement la pénétration de technologies à performance élevée et mieux adaptées aux usages (exemple : petit véhicule

Tableaux 3 et 4

Demande énergétique finale et part d'énergies renouvelables par vecteur (pourcentages)				
		Observé	Visions Ademe	
Niveau en Mtep EF		2010	2030	2050
Consommation d'énergie finale		151	123	82
	dont EnR	19	42.6	ND
dont électricité		38	32	33
	dont EnR	7	15	ND
dont combustibles		70	57	40
	dont EnR	10	24	23
dont carburants		43	34	10
	dont EnR	2	3	7
dont chaleur PAC EnR		1	3,3	4,2

		Observé	Visions Ademe	
Part		2010	2030	2050
Consommation d'énergie finale (Mtep)		151	123	82
	dont EnR	12	35	>55
dont électricité		25	26	40
	dont EnR	17	47	ND
dont combustibles		47	46	48
	dont EnR	14	43	57
dont carburants		28	28	12
	dont EnR	6	9	66
dont chaleur PAC EnR		1	3	5

électrique urbain). Plus que de nouvelles technologies, c'est le passage d'évolutions incrémentales à des évolutions structurelles et globales du système énergétique que requièrent les visions proposées.

B) Sans ruptures technologiques significatives, mais avec probablement une évolution des modes de vie

Sans capture et stockage de carbone ou autres technologies de rupture, avec des technologies et moyens bien identifiés dès à présent, il est possible de construire un système énergétique qui permette à la France de respecter ses engagements climatiques et de réduire sa dépendance énergétique. Si d'autres technologies s'avéraient disponibles à un coût économique, social et environnemental accepté par les Français, leur emploi pourrait alors être considéré et représenter un levier supplémentaire pour l'atteinte du facteur 4.

En revanche, des évolutions importantes des modes de vie (passage de la propriété du moyen de transport au service de mobilité, par exemple) et du contexte réglementaire (notamment dans le secteur agricole-sylvicole avec le retournement des prairies ou encore sur l'injection de biogaz et hydrogène dans les réseaux de gaz) semblent difficilement contournables à long terme.

C) Avec une décarbonisation de l'ensemble des vecteurs énergétiques

Si le vecteur électrique est généralement présenté comme le vecteur idéal de la transition énergétique, et notamment de la décarbonisation du système énergétique grâce à ses qualités intrinsèques d'efficacité, la complémentarité des vecteurs, et donc des réseaux, est l'un des moyens de répondre à la diversité des situations territoriale et besoins sectoriels.

Aussi, dans les Visions Ademe, la place du vecteur électrique est importante, mais parmi l'ensemble de vecteurs (gaz, carburants liquides, combustibles solides,...) qui sont tous engagés dans une décarbonisation d'ici 2050. En termes d'efficacité globale du système énergétique, de valorisation des potentiels renouvelables sur le territoire et de résilience (diversité des sources d'énergie utilisées), la complémentarité des vecteurs énergétiques, plus que leur concurrence, doit tenir lieu de perspective.

D) Et avec une mobilisation nouvelle des ressources financières

Enfin, le travail présenté ici n'est « que » la brique technique d'un ensemble qui a vocation à être alimenté en continu, et notamment complété par une évaluation socio-économique (notamment via THREEME, modèle macroéconomique multisectoriel français).

Mais pour donner les ordres de grandeur en jeu de premier ordre, et sans présumer de l'évaluation macro-économique, avec les hypothèses de l'AIE retenues pour 2030 et prolongées jusqu'à 2050 (le prix du baril triple en euros constants entre 2010 et 2050), l'achat de combustibles fossiles à l'étranger à hauteur de quelques 5 200 Md€ 2010 (soit près de trois années de production française actuelle, au sens du PIB) sur les 38 prochaines années pourrait être diminué grâce à un investissement aujourd'hui (pour un montant qui reste certes à déterminer) dans l'efficacité énergétique et les ressources énergétiques locales. La question cruciale est donc plus celle de la mobilisation à court terme de montants conséquents pour financer la transition énergétique vers un système plus capitalistique (important coût d'investissement, faible coût de fonctionnement) que le système actuel.

Le « risque couru » enfin, dans une telle vision, est que les prix de l'énergie fossile n'augmentent pas aussi fortement que les tendances de l'AIE prolongées. Mais ces investissements doivent être appréhendés au regard d'un autre risque : celui de rupture d'approvisionnements dont la France est largement tributaire (à quelque 90%) pour l'ensemble de ses énergies primaires non renouvelables. ■

Bibliographie

- De la modélisation à la prospective : ruptures et transitions dans les scénarios de mobilité durable (personnes et marchandises) à l'horizon 2050. http://portail.documentation.developpement-durable.gouv.fr/drii/document.xsp?id=Drast-OUV00002583&n=7&q=%28%2B%28%28%2Bquestion_word%3Ascenarios+%2Bquestion_word%3Amobilit%C3%A9%29+question%3A|sc%C3%A9narios+mobilit%C3%A9%7C%29%29&
- Habitat et facteur 4, <http://www.iddri.org/Publications/Habitat-Facteur-4>
- Agriculture et facteur 4, <http://www2.ademe.fr/servlet/getDoc?cid=96&m=3&id=85265&p1=30&ref=12441>
- Chaire Modélisation Prospective au Service du Développement Durable, <http://www.modelisation-prospective.org/>
- Le programme « Repenser les villes dans une société post-carbone », <http://ville-post-carbone.typepad.com/>
- Pathway for carbon transition, <http://www.pact-carbon-transition.org/>
- Paradigm shifts modeling and innovative approaches, <http://www.pashmina-project.eu/>
- Les feuilles de route Ademe, <http://www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow?sort=-1&cid=96&m=3&catid=24277>



Abonnez-vous pour 2013 au tarif 2012

Bulletin d'abonnement page 159