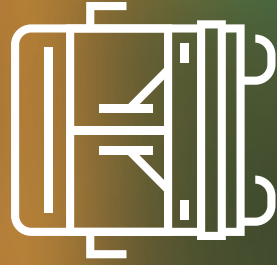
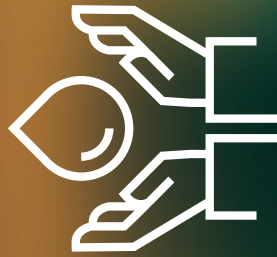




ACTUALISATION DU SCÉNARIO ÉNERGIE-CLIMAT ADEME 2035-2050

SYNTHÈSE



Ce document est édité par l'ADEME

ADEME

20, avenue du Grésillé
BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01

Coordination technique : Emmanuel Combet (ADEME),
David Marchal (ADEME), Isabelle Vincent (ADEME)

Contribution aux travaux pour l'ADEME : Guilain Cals, Patricia Sidat, Robert Bellini, Vincent Guenard, Nadine Berthomieu, David Canal, Philippe Laplaige, Julien Delanoë, Rodolphe Morlot, Stéphane Biscaglia, Astrid Cardona Maestro, Simon Thouin, Marc Bardinal, Thomas Eglin, Bruno Gagnepain, Sarah Martin, Florence Proharam, Frédéric Streiff, Aïcha El Khamlichj, Luc Bodineau, Guillaume Bastide, Yves Moch, Solène Marry, Anne Lefranc, Mathieu Mefflet-Piperel, Mathieu Chassignet, Séverine Boulard, Sandrine Carballes, Bertrand-Olivier Ducreux, Stéphane Barbusse, Gabriel Plassat, Maxime Pasquier, Yann Tréméac, Marie-Laure Nauleau, Laurent Meunier, Gaël Callonnet

Création graphique : Créapix

Impression : Imprimé en France
sur papier Cocoon, FSC Mixte, certifié Écolabel européen
Imprimerie Frazier - Certifiée ISO 14001



Brochure réf. 010304

ISBN : 979-10-297-0744-5 - Août 2017 - 200 exemplaires

Dépôt légal : ©ADEME Éditions, octobre 2017

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (Art L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (Art L 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

ADEME 2035-2050

SYNTHÈSE



PRÉAMBULE

Les objectifs ambitieux du Plan Climat lancé par Nicolas Hulot, ministre de la Transition écologique et solidaire, confirment la stratégie volontariste de la France pour la transition énergétique. Dans le contexte actuel de mise à jour de la Stratégie Nationale Bas Carbone (SNBC) et de la Programmation Pluriannuelle de l'Énergie (PPE), l'actualisation du scénario énergie-climat de l'ADEME vient contribuer aux réflexions pour mettre en œuvre ces objectifs.

Cette contribution est double: d'une part, l'actualisation des « Visions énergétiques » de l'ADEME, qui souligne l'enjeu que représente l'atteinte des objectifs ambitieux inscrits dans la loi, et d'autre part, l'étude « Propositions de mesures de politiques publiques pour un scénario bas carbone », qui propose une liste de mesures concrètes à mettre en œuvre.

La « Contribution à l'élaboration de Visions énergétiques 2030-2050 » de l'ADEME, publiée en 2013, a participé à poser les bases des objectifs de la loi de transition énergétique pour une croissance verte (LTECV). Il s'agit d'une approche énergie-climat considérant l'intégralité des besoins énergétiques de la France (chaleur, électricité, carburant, combustible) pour couvrir tous ses besoins en évaluant les émissions de gaz à effet de serre, y compris les émissions non énergétiques. Quatre ans plus tard, l'actualisation de cette contribution vise, entre autres, à mettre en cohérence de nombreuses informations disponibles sur les potentiels d'évolution du système énergétique français. Cette étude ne constitue en aucune sorte une trajectoire normative pour l'atteinte des objectifs climat, mais représente un scénario multi-énergie possible dont le caractère réaliste est conforté par les nombreuses études techniques plus sectorielles



réalisées ces 4 dernières années. Dans cette période décisive pour la transition énergétique, ce travail contribue ainsi, malgré les incertitudes inhérentes à ce type d'exercice, à la réflexion sur la stratégie volontariste de la France pour maîtriser sa consommation énergétique, baisser ses émissions de CO₂ et développer des énergies renouvelables.

Cet exercice prospectif s'inscrit en effet dans un engagement volontariste de la France, à trois niveaux, mondial, européen et national :

- **au niveau mondial**, la France s'est engagée, comme tous les autres pays, à travers le processus international enclenché par l'accord de Paris, à élaborer un plan national de transition, en accord avec ses potentiels et ses priorités de développement (*Nationally Determined Contribution*),
- **au niveau européen**, le paquet énergie-climat 2030 a fixé des objectifs pour 2035,
- **au niveau national**, la France a défini des trajectoires, en élaborant sa stratégie nationale bas-carbone et une programmation pluriannuelle de l'énergie, toutes deux instaurées par la LTECV.

Ces travaux ambitionnent ainsi d'éclairer les choix à venir en matière d'évolution des modes de production et de consommation d'énergie, dans une perspective de mise en œuvre de politiques et mesures adaptées. En pratique, cet exercice d'actualisation a été réalisé en :

- actualisant le cadrage macro-économique,
- prenant en compte les avancées et évolutions des trois dernières années,
- cherchant une trajectoire d'évolution progressive et cohérente de 2010 vers 2050⁽¹⁾.

Ces « Visions » constituent une trajectoire de transition énergétique, actualisée par rapport aux premiers travaux conduits par l'ADEME en 2012. Cette trajectoire ambitieuse mobilise les gisements de maîtrise de l'énergie identifiés par l'ADEME à ce jour : sobriété énergétique, efficacité énergétique, développement des énergies renouvelables. Elle conduit au respect des objectifs de la LTECV à échéance 2030 et s'approche des objectifs de long terme. Des réflexions complémentaires vont être conduites pour prendre en compte les nouvelles orientations du Plan Climat et s'inscrire pleinement dans les objectifs de la LTECV à 2050 afin de proposer des pistes pour aller vers une neutralité carbone.

(1) Plutôt que de juxtaposer une trajectoire réaliste entre 2010 et 2030 et une vision normative « à rebours » de 2050 à 2030, ce qui était le choix méthodologique des travaux conduits en 2012. <http://www.ademe.fr/connaître/priorités-stratégiques-missions-lademe/scenarios-2030-2050>



LES « VISIONS ÉNERGIE-CLIMAT 2035 - 2050 » EN UN COUP D'ŒIL

Dans cet exercice prospectif, le futur économique, social et démographique de la France est un élément de cadrage pour fixer la demande d'énergie. La croissance de la population et l'évolution de l'activité économique influent en effet sur la demande future d'énergie, en dimensionnant le parc des logements, la demande de transport de fret et le niveau de production des secteurs d'activité.

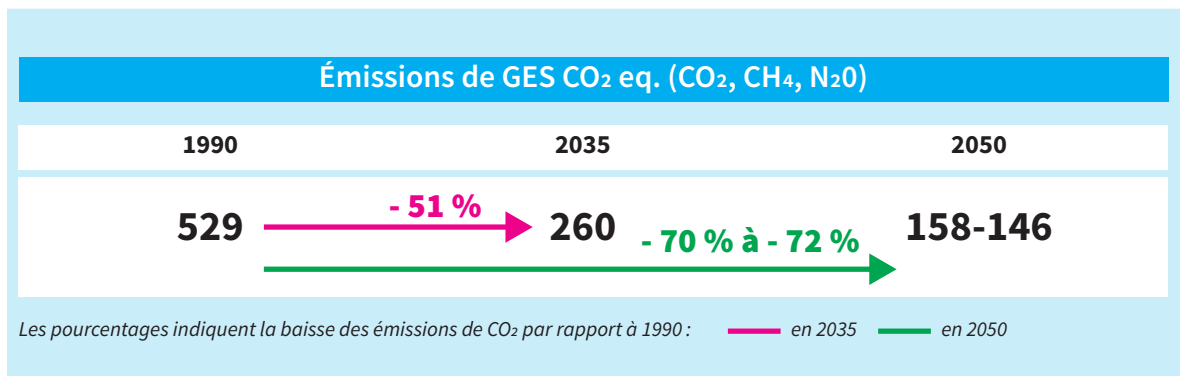
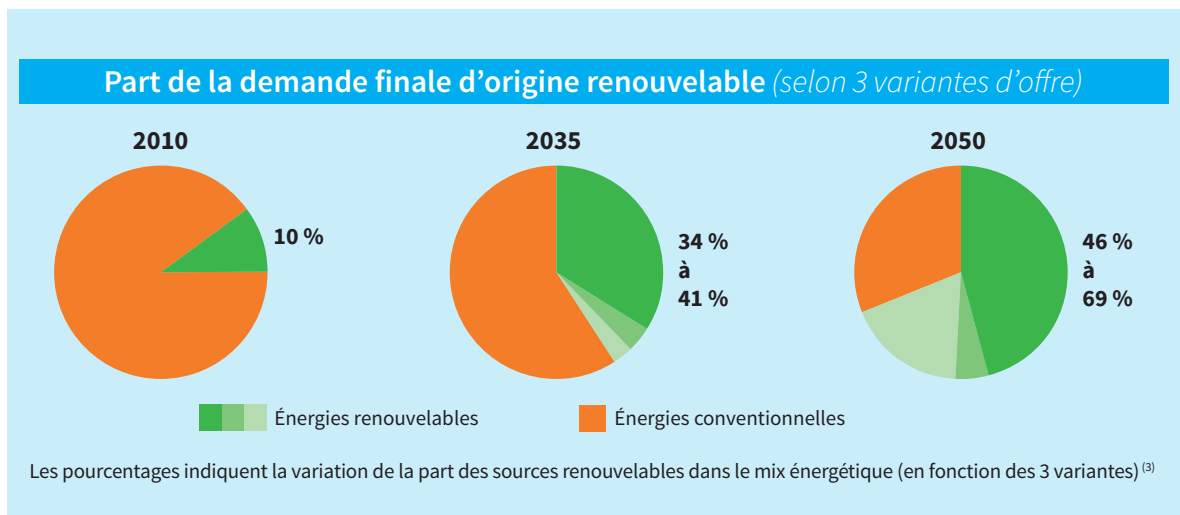
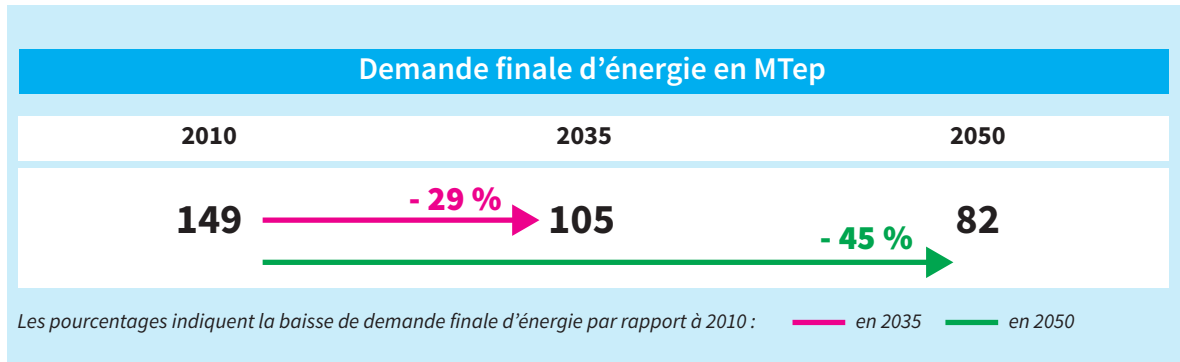
Le cadrage macroéconomique retenu est celui prescrit par la Commission européenne ⁽²⁾ et utilisé dans le cadre de la Stratégie Nationale Bas Carbone par la Direction Energie Climat (DGEC) du Ministère de la Transition écologique et solidaire. Dans ce cadrage, la reprise modérée de la croissance se poursuit (1,1 % à 1,2 % en 2015 et 2016), sans pour autant que la croissance potentielle à long terme ne retrouve le rythme d'avant-crise. La population croît à un rythme plus faible qu'actuellement sous l'effet du vieillissement et le nombre moyen de personnes par ménage diminue, selon les tendances actuelles.

Le résultat est une vision volontariste et ambitieuse de la transition énergétique en France métropolitaine. Il repose sur des potentiels techniques avérés, qui peuvent se réaliser si le contexte législatif et socio-économique est favorable.

(2) « The 2015 Ageing Report: Economic and budgetary projections for the 28 EU Member States (2013-2060) ».



LES VISIONS ÉNERGIE-CLIMAT 2035-2050 EN UN COUP D'ŒIL



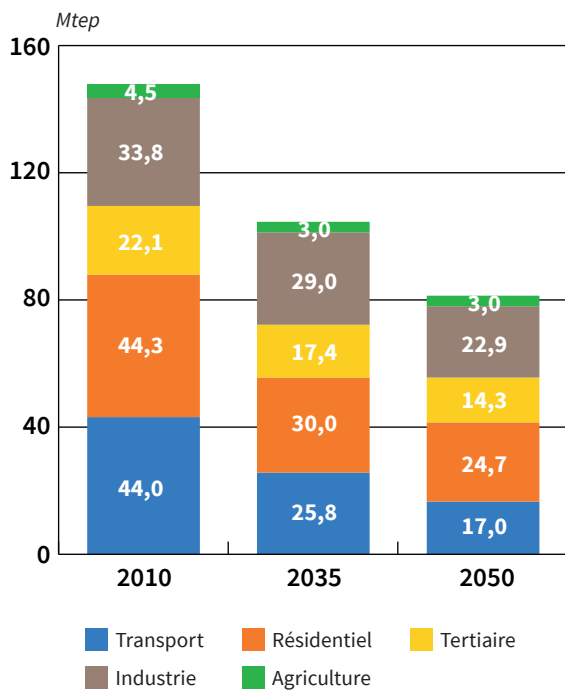
LECTURE: le scénario des Visions énergie-climat 2035-2050 couvre l'ensemble des consommations d'énergie de la France métropolitaine (hors consommations du trafic aérien international). Il décrit le développement des technologies et des sources d'énergie renouvelable. La part d'énergie renouvelable évolue selon trois variantes de mix énergétique (cf. page 7). Il en va de même, par conséquent, des émissions de gaz à effet de serre (CO₂, CH₄ et N₂O).

(3) Part des renouvelables dans la consommation finale brute d'énergie. Elle atteint 34 % en 2035 et 46 % en 2050 dans la variante « 2050 – 50 % d'électricité nucléaire », 38 % et 61 % dans la variante « 2050 – 80 % d'électricité renouvelable », 41 % et 69 % dans la variante « 2050 – 90 % d'électricité renouvelable et power-to-gaz ».

Les évolutions de la demande finale d'énergie

La consommation totale d'énergie baisse de 29 % en 2035 par rapport à 2010 (- 44 Mtep) et de 45 % à l'horizon 2050 (- 67 Mtep)⁽⁴⁾. Les secteurs du bâtiment (résidentiel et tertiaire), des transports et de l'agriculture contribuent davantage à cette baisse sur la période 2010-2035 (respectivement - 29 %, - 41 % et - 33 %) que sur la période 2035-2050 (respectivement - 18 %, - 34 % et 0 %). L'industrie contribue davantage en seconde période (à hauteur de 21 % entre 2035 et 2050, contre 14 % entre 2010 et 2035).

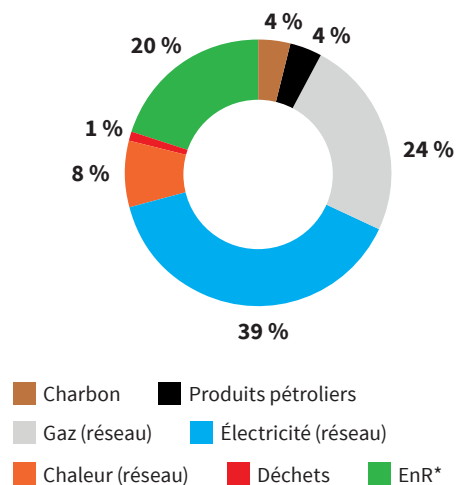
BILAN DE LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE PAR SECTEUR



Les gains d'efficacité énergétique réduisent les consommations d'électricité et de gaz, tout en augmentant la part relative de l'électricité dans le mix énergétique total par transfert de certains usages. Les usages directs d'énergies renouvelables se diversifient du fait des hypothèses prises en matière de chan-

gement d'équipements dans les bâtiments, les transports et l'agriculture, ainsi que dans une moindre mesure, dans l'industrie. Dans le domaine de la mobilité, l'ambition de la cible à atteindre en 2050 nécessite d'initier la transition du parc dès à présent, à la fois en termes de technologies de propulsion des véhicules, mais aussi en termes de déploiement d'infrastructures énergétiques associées (gaz, électricité). Cette transition entraîne une baisse significative de la consommation de pétrole, dès 2030. Dans le domaine du bâtiment, le rythme de rénovation énergétique de 500 000 logements/an s'accélère après 2030 pour atteindre 750 000 logements/an.

CONSOMMATION FINALE D'ÉNERGIE PAR FORME ET SOURCE - 2050



* Production nette d'énergie à partir de sources primaires (n'inclut pas la transformation de gaz, élec. et chaleur de réseau).

Production d'énergie renouvelable

L'analyse des potentiels de production a été effectuée pour chacune des énergies renouvelables, séparément. Il s'agit de potentiels avérés, mobilisables dans des conditions technico-économiques favorables. L'ADEME propose des trajectoires de déploiement réalistes, régulières et compatibles avec le développement industriel des filières de production d'énergies renouvelables.

(4) Hors transport aérien international.



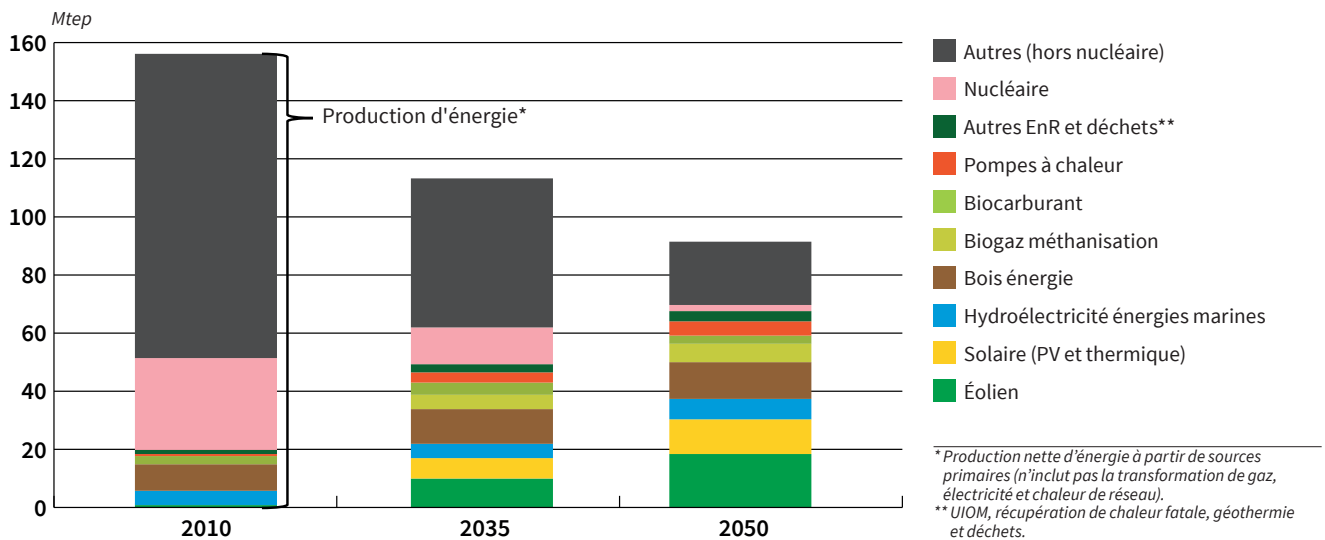
Les principales ressources renouvelables en développement aux horizons 2035 et 2050 sont : la biomasse, l'éolien et le solaire photovoltaïque. Le développement ambitieux de la biomasse jusqu'en 2035 et sa stabilisation par la suite, nécessitent le recours à des sylvicultures dynamiques et compatibles, avec une exploitation durable des forêts.

Les ressources renouvelables alimentent les différents réseaux énergétiques, avec un

équilibre entre les réseaux qui évolue progressivement au cours de la période. Le recours au réseau de chaleur double à l'horizon 2035 par rapport à 2010 et se maintient ensuite. Même si les usages du gaz se développent beaucoup dans la mobilité, l'énergie injectée sur le réseau de gaz diminue globalement sur la période. Les EnR progressent pour l'ensemble des vecteurs énergétiques avec une pénétration accrue sur les réseaux de chaleur et le réseau électrique.

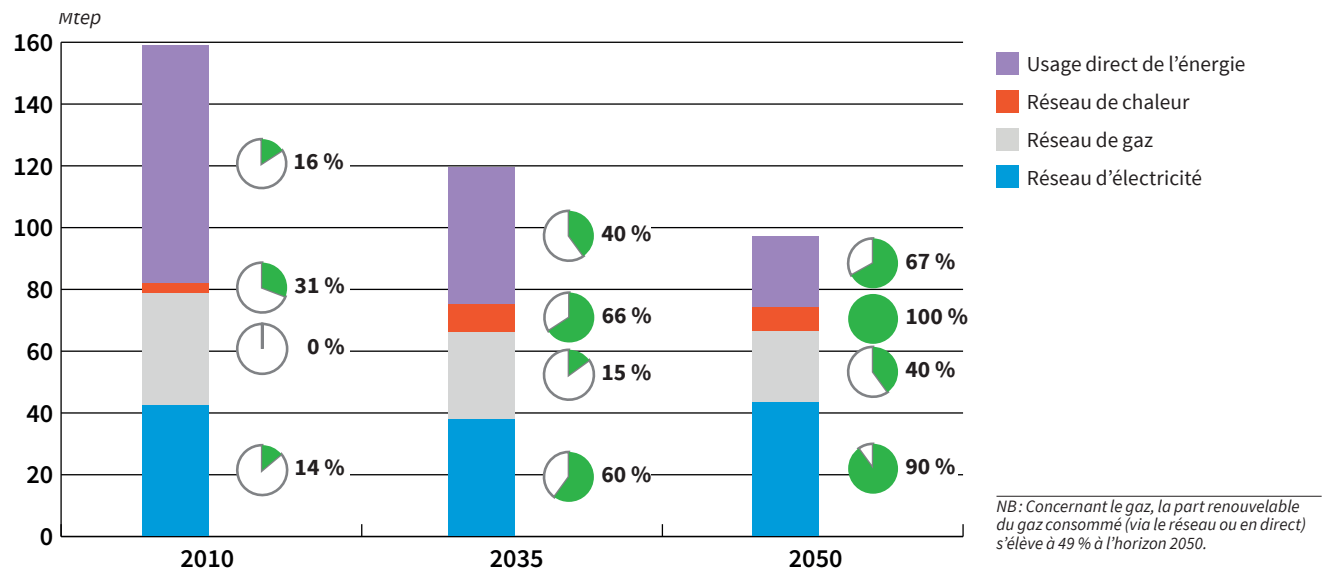
DÉVELOPPEMENT DES DIFFÉRENTES SOURCES D'ÉNERGIES RENOUVELABLES PAR RAPPORT AUX AUTRES ÉNERGIES

(le graphique correspond à la variante « 2050 - 90 % d'électricité renouvelable et power-to-gaz »)



PROGRESSION DE L'ÉNERGIE VÉHICULÉE DANS LES DIFFÉRENTS RÉSEAUX

(le graphique ci-dessous correspond à la variante « 2050 - 90 % d'électricité renouvelable et power-to-gaz »)



LECTURE : les pourcentages (symbolisés par la part verte des camemberts) correspondent à la part de sources renouvelables.

Les évolutions proposées pour le mix énergétique mettent en évidence l'intérêt croissant de développer les interactions entre les différents vecteurs énergétiques (électricité, gaz, chaleur).

En premier lieu, la cogénération à partir de biomasse ou de chaleur fatale, couplée à du stockage thermique, permet d'intégrer de la flexibilité entre la production de chaleur et d'électricité. La valorisation des excédents d'électricité produite par les EnR variables, sous forme de gaz de synthèse, a également été retenue.

Deux variantes envisagent un déploiement ambitieux de capacités de production renouvelable :

- un mix « **2050 – 80 % d'électricité renouvelable** », sans stockage inter-saisonnier, dans la prolongation de l'option « scénario nucléaire bas »⁽⁵⁾ des travaux conduits en 2012. Dans ce mix, on a considéré que lors des périodes de forte production renouvelable, la production et l'injection de 1,5 Mtep d'hydrogène dans le réseau de gaz pourraient permettre de valoriser 2 Mtep d'électricité⁽⁶⁾. En 2050, les EnR répondent ainsi à 60 % de la consommation finale brute d'énergie et à 35 % de la consommation finale de gaz,

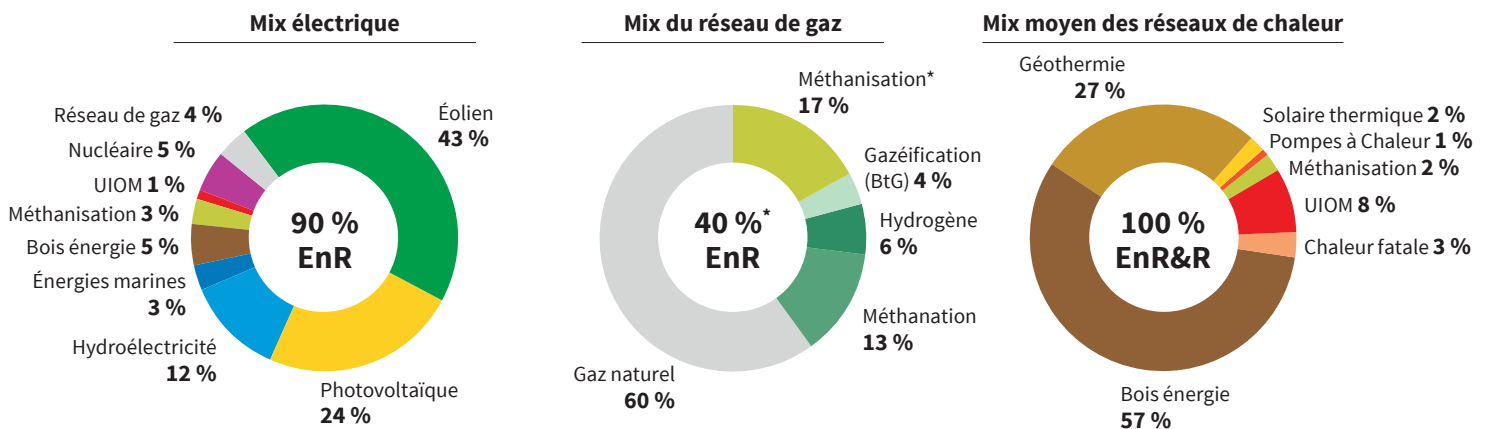
- un mix « **2050 – 90 % d'électricité renouvelable et power-to-gaz** » qui envisage un déploiement plus important d'électricité renouvelable valorisée sous forme de gaz de synthèse. Des capacités additionnelles de photovoltaïque, d'éolien terrestre et marin, d'énergies marines sont mobilisées pour porter à 4,5 Mtep la quantité de gaz de synthèse injectée dans le réseau (3 Mtep de méthane de synthèse sont ajoutés aux 1,5 Mtep d'hydrogène). En 2050, les EnR répondent ainsi à 69 % de la consommation finale brute d'énergie et à 49 % du gaz consommé.

Une troisième variante envisage un déploiement moindre de capacités de production renouvelable :

- un mix « **2050 – 50 % d'électricité nucléaire** » qui réduit de 25 points de pourcentage la part de l'électricité nucléaire pour l'horizon 2035 (selon l'objectif de la loi de transition énergétique pour la croissance verte) et qui reste stable au-delà. Les périodes de forte production électrique par sources variables permettent également, dans cette variante, de générer 1,5 Mtep d'hydrogène. En 2050, 44 % de l'électricité produite est ainsi renouvelable, les EnR répondant à 46 % de la consommation finale brute d'énergie et à 37 % du gaz consommé.

PART DES ÉNERGIES RENOUVELABLES SUR CHAQUE RÉSEAU EN 2050

(variante « 2050 - 90 % d'électricité renouvelable et power-to-gaz »)

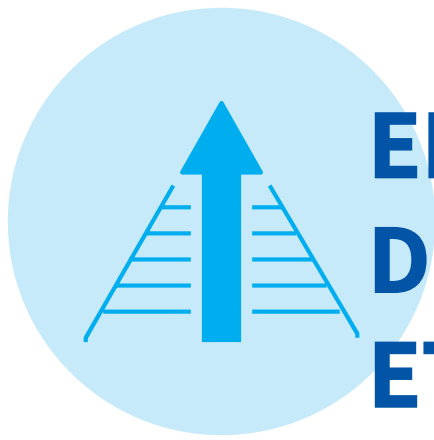


* Uniquement le biogaz injecté sur le réseau. Le double de biogaz est produit, mais la moitié sert pour des usages directs ou de la cogénération et n'est donc pas injectée sur le réseau. La part EnR dans la production primaire totale de gaz est donc supérieure (49 %).

(5) Ce scénario correspond à une part du nucléaire dans le mix électrique de 18 %.

(6) Correspondant à la limite actuelle de 6 % d'injection d'hydrogène dans le réseau de gaz.





ENSEIGNEMENTS DE L'EXERCICE ET PERSPECTIVES

Cette actualisation du scénario énergie-climat ADEME 2035-2050 a permis :

1. De souligner l'importance des efforts à faire à court-moyen terme d'ici à 2035, pour se placer sur une trajectoire permettant d'atteindre les objectifs, avec plus particulièrement :

- l'importance de la définition d'une stratégie de rénovation adaptée au parc de bâtiments existants (avec la rénovation de 500 000 logements existants/an jusqu'à 2030, puis 750 000 jusqu'à 2050),
- l'ampleur et le rythme important de la transition à effectuer dans les transports avec :
 - une évolution de la mobilité sur route, du fait de l'émergence de nouveaux modes de déplacements serviciels et de la baisse de la mobilité des personnes (- 24 % en 2050), ainsi que d'une croissance limitée du trafic de marchandises,
 - une augmentation du nombre des véhicules particuliers rechargeables sur le réseau électrique (100 % électriques et hybrides) et de ceux fonctionnant au gaz, permettant d'atteindre un niveau moyen d'émissions du parc automobile de 47 gCO₂/km en 2050 (par rapport à 179 aujourd'hui)⁽⁷⁾,
- une réduction importante des consommations directes d'énergie du secteur agricole :
 - 33 % à l'horizon 2035, puis stabilisation,
- des évolutions technologiques (valorisation des énergies fatales, remplacement d'équipements, développement du numérique) qui contribuent à la baisse importante de la consommation énergétique de l'industrie (- 18 % en 2035 et - 37 % en 2050).

2. De souligner l'importance des équilibres et de la convergence entre vecteurs énergétiques : certains choix sur l'usage des énergies renouvelables dans les vecteurs électricité et de chaleur sont confortés,

alors que l'optimisation de l'usage des ressources renouvelables (telles que la biomasse), pour les valoriser en électricité ou chaleur doit être approfondie. D'autres scénarios de mix énergétique sont en effet envisageables, étant donné les potentiels techniques de production de gaz issu d'énergies renouvelables et les capacités de distribution du réseau gazier⁽⁸⁾. Cela dépend également des orientations qui seront prises en matière de nucléaire dans le cadre de la prochaine programmation pluriannuelle de l'énergie.

3. De faire apparaître que pour atteindre et dépasser les objectifs de la LTECV, déjà très ambitieux, et se mettre dans une perspective de neutralité carbone à terme (objectif de l'accord de Paris pour la seconde moitié du siècle), de nouveaux leviers sont à explorer.

Cette exploration passe par l'étude de scénarios où se développeront des modes de production, de consommation et d'organisation de l'espace plus en rupture avec ceux actuellement en vigueur. Des scénarios impliquant des ruptures technologiques (stockage et séquestration du carbone, forte pénétration des équipements à hydrogène, mutation numérique des transports et des équipements énergétiques, etc.), ou des ruptures socio-économiques (effets de l'évolution des modes de vie sur la consommation et les déplacements).

Ces enseignements seront pris en compte dans un nouvel exercice à conduire pour éclairer les débats en 2019 et 2020, point d'étape important de la transition énergétique. Outre la réactualisation des connaissances et la prise en compte des évolutions récentes, **un jeu de scénarios contrastés sera construit pour explorer différents futurs.**

(7) L'impulsion donnée dans le plan Climat fera l'objet de travaux complémentaires pour préciser la rupture à engager dans la composition du parc de véhicules français.

(8) Par exemple, le récent scénario Négawatt (2017) explore cette voie. Des études complémentaires sont en cours à l'ADEME.

L'ADEME EN BREF

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME) participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable. Elle met ses capacités d'expertise et de conseil à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale.

L'Agence aide en outre au financement de projets, de la recherche à la mise en œuvre et ce, dans les domaines suivants: la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, la qualité de l'air et la lutte contre le bruit.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle conjointe du ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer et du ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche.

LES COLLECTIONS DE L'ADEME



ILS L'ONT FAIT

L'ADEME catalyseur: Les acteurs témoignent de leurs expériences et partagent leur savoir-faire.



EXPERTISES

L'ADEME expert: Elle rend compte des résultats de recherches, études et réalisations collectives menées sous son regard.



FAITS ET CHIFFRES

L'ADEME référent: Elle fournit des analyses objectives à partir d'indicateurs chiffrés régulièrement mis à jour.



CLÉS POUR AGIR

L'ADEME facilitateur: Elle élabore des guides pratiques pour aider les acteurs à mettre en œuvre leurs projets de façon méthodique et/ou en conformité avec la réglementation.



HORIZONS

L'ADEME tournée vers l'avenir: Elle propose une vision prospective et réaliste des enjeux de la transition énergétique et écologique, pour un futur désirable à construire ensemble.



HORIZONS

ADEME



Agence de l'Environnement
et de la Maîtrise de l'Energie

www.ademe.fr

