HORIZONS

ACTUALISATION DU SCÉNARIO ÉNERGIE-CLIMAT

ADEME 2035-2050

ADEME

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

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 Delanoe, Rodolphe Morlot, Stéphane Biscaglia, Astrid Cardona Maestro, Simon Thouin, Marc Bardinal, Thomas Eglin, Bruno Gagnepain, Sarah Martin, Florence Proharam, Frédéric Streiff, Aicha El Khamlichi, 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 Callonnec

Création graphique : Créapix

Brochure réf. 010305

ISBN : 979-10-297-0921-0 - Août 2017

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.

Actualisation du scénario énergie-climat

ADEME 2035-2050

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 CO_2 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 :

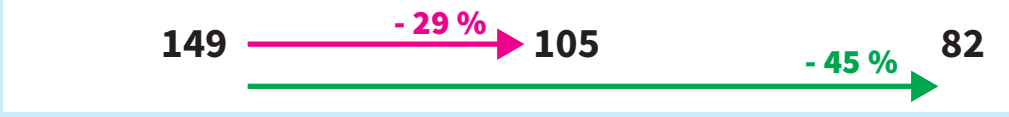
- actualisant le cadrage macro-économique,
- prenant en compte les avancées et évolutions des trois dernières années,
- cherchant une trajectoire d'évolution progressive et cohérente de 2010 vers 2050 [(1)].

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/connaitre/priorites-strategiques-missions-lademe/scenarios-2030-2050

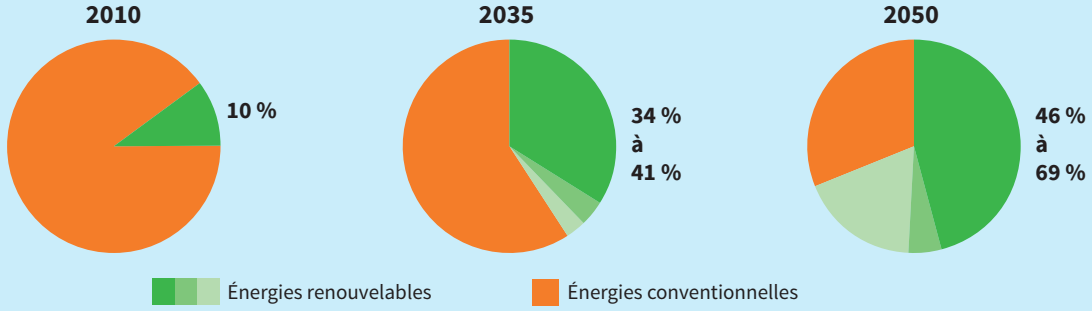
LES VISIONS ÉNERGIE-CLIMAT 2035-2050 EN UN COUP D'ŒIL

Demande finale d'énergie en MTep



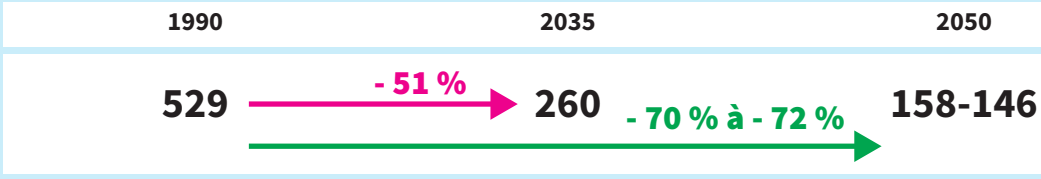
Les pourcentages indiquent la baisse de demande finale d'énergie par rapport à 2010 : *en 2035* *en 2050*

Part de la demande finale d'origine renouvelable *(selon 3 variantes d'offre)*



Les pourcentages indiquent la variation de la part des sources renouvelables dans le mix énergétique (en fonction des 3 variantes) [2]

Émissions de GES CO_2 eq. (CO_2, CH_4, N_2O)



Les pourcentages indiquent la baisse des émissions de CO_2 par rapport à 1990 : *en 2035* *en 2050*

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 25). Il en va de même, par conséquent, des émissions de gaz à effet de serre (CO_2, CH_4 et N_2O).

(2) 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 ».

SOMMAIRE

LE CONTEXTE ÉCONOMIQUE ET DÉMOGRAPHIQUE 4

LES ÉVOLUTIONS DANS LE BÂTIMENT ET L'ORGANISATION URBAINE 6

LES ÉVOLUTIONS DANS LE TRANSPORT ET LA MOBILITÉ 10

LES ÉVOLUTIONS DANS L'ALIMENTATION, L'AGRICULTURE ET L'UTILISATION DES SOLS 15

ÉVOLUTIONS DANS L'INDUSTRIE, LES PROCÉDÉS INDUSTRIELS ET LE SECTEUR DE LA CONSTRUCTION 20

BILAN DES CONSOMMATIONS FINALES D'ÉNERGIE 23

DES POTENTIELS IMPORTANTS DE PRODUCTION D'ÉNERGIE RENOUVELABLE 25

ÉVOLUTION DES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE 37

ENSEIGNEMENTS DE L'EXERCICE ET PERSPECTIVES 40

Actualisation du scénario énergie-climat

ADEME 2035-2050
HYPOTHÈSES ET RÉSULTATS

L'actualisation du scénario des « Visions énergétiques » de l'ADEME, repose sur la formulation d'hypothèses sur les besoins en services énergétiques, ainsi que sur l'évolution des bâtiments, des équipements et des procédés de production… qui déterminent les gains d'efficacité énergétique et les substitutions d'énergies possibles. Ceci conduit à une caractérisation de la demande d'énergie qui est mise en perspective avec des potentiels de production d'énergie, pour parvenir à un système énergétique équilibré d'offre et de demande.

Ces « Visions énergétiques » partent de la situation en 2010 et proposent deux horizons d'évolution : 2035 et 2050. Étant donné que certains objectifs de la loi de transition énergétique pour la croissance verte sont formulés à l'horizon 2030, certains indicateurs sont également précisés à cette échéance.

LE CONTEXTE ÉCONOMIQUE ET DÉMOGRAPHIQUE

Les perspectives économiques, sociales et démographiques de la France constituent, dans cet exercice, un élément de cadrage pour fixer l'ordre de grandeur de la demande d'énergie.

La croissance de la population et l'évolution de l'activité économique influent sur la demande future d'énergie en influençant le besoin de parc de logements, la mobilité des particuliers et le niveau de production des secteurs d'activité.

C'est le cadrage macro-économique, prescrit par la Commission Européenne [3] et utilisé, dans le cadre de la Stratégie Nationale Bas Carbone, par la Direction Énergie Climat (DGEC) du Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer, qui a été retenu. 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. Et la population croît à un rythme plus faible sous l'effet du vieillissement et le nombre moyen de personnes par ménage diminue, selon les tendances actuelles.

ACTIVITÉ ÉCONOMIQUE ET DÉMOGRAPHIE

	2010-2020	2020-2030	2030-2035	2035-2050
Produit Intérieur Brut	+1,5 %	+1,4 %	+1,7 %	+1,7 %
Population Totale	+0,5 %	+0,4 %	+0,3 %	+0,2 %
Nombre de ménages	+0,9 %	+0,7 %	+0,7 %	+0,4 %

Taux de croissance annuel moyen

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

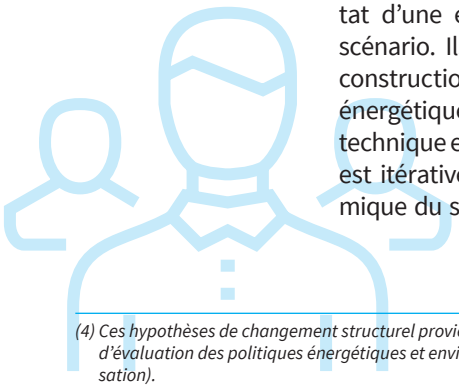
À ces horizons, la structure de l'économie évolue aussi [4]. L'activité et les emplois (calculés ici dans la seule optique de dimensionner les besoins de surface de bâtiments tertiaires nécessaires et le niveau d'activité des industries modérément ou faiblement consommatrices d'énergie [5]) croissent un peu plus dans les services que dans l'industrie, ou dans les secteurs industriels modérément consommateurs d'énergie (industries agro-alimentaire et non métallique). La construction contribue à la transition énergétique par les efforts accrus de rénovation, même si la baisse de la croissance démographique à long terme ralentit le rythme de constructions neuves.

CHANGEMENT STRUCTUREL DE L'ÉCONOMIE

	2015	2035*	2050*
Part de l'agriculture dans le PIB	1,7 %	1,9 %	1,9 %
Part de la construction	5,4 %	8,0 %**	7,4 %
Part de l'industrie	14,1 %	13,4 %	12,3 %
Part des services	78,8 %	76,7 %**	78,4 %
Emplois (milliers de personnes en équivalent-temps plein)	25 772	26 943	29 069

** Correspond aux valeurs moyennes projetées sur les périodes 2015-2035 et 2035-2050.*
*** Le scénario AMS1 de la DGEC suppose que le déficit structurel en logements (entre 500 000 et 1 million) est comblé entre 2017 et 2021. Cette hausse transitoire du taux de construction explique la baisse relative de la part des services, dont l'activité augmente, mais plus modérément.*

Ces chiffres ne représentent pas le résultat d'une évaluation macro-économique du scénario. Ils sont utilisés ici en amont de sa construction, pour dimensionner des besoins énergétiques. La démarche entre modélisation technique et modélisation macro-économique est itérative [6] : une évaluation macro-économique du scénario sera réalisée en aval de sa construction, dans le cadre de travaux complémentaires. Elle permettra d'examiner l'effet en retour de ce nouveau scénario d'évolution des systèmes énergétiques sur les activités économiques et l'emploi. Elle permettra aussi de préciser les conditions économiques, ainsi que les politiques et mesures compatibles avec ces évolutions.



(4) Ces hypothèses de changement structurel proviennent de simulations réalisées, dans le cadre des travaux de la DGEC, avec le modèle macroéconomique multisectoriel d'évaluation des politiques énergétiques et environnementales ThreeME (voir http://threeme.org/ pour la description du modèle et la présentation de résultats de modélisation).
(5) L'évolution de l'activité des industries grosses consommatrices d'énergie provient d'hypothèses faites indépendamment et exprimées en volumes physiques produits (tonnes de clinker, de verre, d'aluminium, etc., cf. p. 19).
(6) Le cadrage macroéconomique utilisé ici correspond à celui des précédents exercices officiels.

LES ÉVOLUTIONS DANS LE BÂTIMENT ET L'ORGANISATION URBAINE

Le secteur du bâtiment (qui regroupe le résidentiel et le tertiaire) représente aujourd'hui 45 % de la consommation finale d'énergie en France [7].

DANS LE RÉSIDENTIEL

Entre 2010 et 2016, il y a eu 380 000 constructions neuves en moyenne par an. Près de 288 000 rénovations de performance énergétique de logements privés ont été achevées en 2014, auxquelles s'ajoutent au moins 50 000 rénovations par les bailleurs sociaux (bénéficiant de l'éco-Prêt Logement Social) [8]. La quantité totale d'énergie consommée dans le résidentiel a baissé de 1 % par an depuis 2010. 4,5 % de cette consommation d'énergie s'est reportée du fioul, du gaz et du GPL, vers de l'électricité, de la chaleur, et surtout du bois (+ 15% de cette consommation d'énergie en Mtep entre 2010 et 2015).

Une trajectoire ambitieuse de construction et de rénovation thermique

> « La part des logements collectifs augmentent dans les constructions neuves pour dépasser la parité avec les maisons individuelles en 2035. »

Les hypothèses démographiques des Visions induisent une réduction du nombre de logements neufs construits chaque année du fait du rythme de la croissance démographique. Ce nombre atteint 317 000 en 2035 et 300 000 en 2050, et ce malgré une moindre cohabitation (2,29 personnes par ménage en 2013 [9] ; 2,11 en 2035 ; 2,05 en 2050). Il semble par ailleurs possible d'augmenter progressivement la part de logements collectifs et intermédiaires dans les constructions neuves pour dépasser la parité en 2035, puis atteindre un niveau de 60 % en 2050 (aujourd'hui les logements collectifs représentent 42 % des constructions, contre 58 % de maisons individuelles). De même, il est envisagé le développement des pratiques d'habitat partagé et la réduction de la surface moyenne des logements neufs, en lien avec l'évolution des modes de vie (réduction du nombre de personnes par ménage) [10].

Ces nouvelles constructions ont vocation à s'inscrire dans une organisation urbaine nécessitant moins de transports et limitant l'artificialisation des sols. Toutefois, l'organisation urbaine est largement fixée par le parc actuel, et des ruptures importantes des formes urbaines ne sont pas explorées ici.

Sur la période 2010-2030, 500 000 logements par an en moyenne, dont 120 000 logements sociaux, font l'objet de rénovations thermiques performantes (en accord avec l'objectif de la loi de transition énergétique). Tout le parc de logement social construit avant 2005 serait ainsi rénové d'ici à 2030, ainsi que 5 millions de maisons individuelles (pour plus de la moitié, construites avant 1975). Le reste du parc privé (soit 15 millions de logements) sera rénové ensuite, à un rythme de 750 000 par an à partir de 2030. En 2050, l'ensemble du parc de 35 millions de logements est ainsi composé de deux grands types de bâtiment : 9 millions de logements récents de niveau BBC/BEPOS, et 26 millions de bâtiments rénovés (logements « anciens » construits avant 2020 et rénovés entre 2010 et 2050).

Des équipements plus performants pour un niveau de confort au moins équivalent

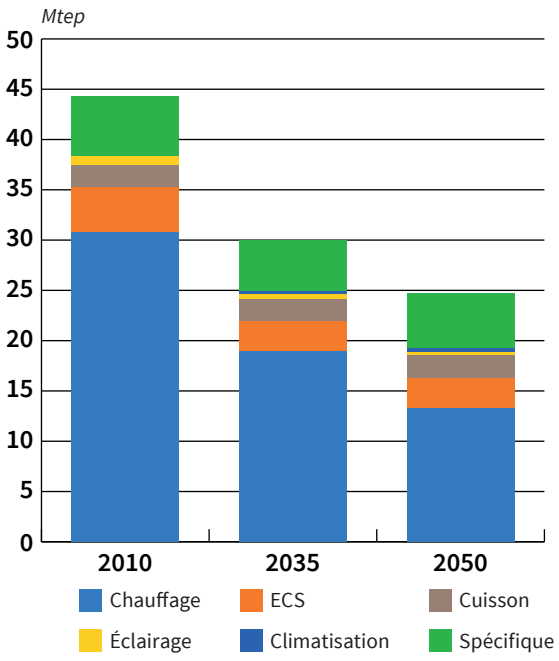
Les besoins énergétiques pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire (ECS) baissent significativement dès 2035, grâce aux meilleures performances énergétiques des bâtiments neufs, aux travaux d'isolation dans l'ancien, à la diffusion d'équipements et d'appareils plus efficaces énergétiquement. Le niveau de confort est maintenu, avec une progression limitée des usages et comportements de sobriété : dans ce scénario, les besoins en eau chaude sanitaire par logement diminuent de 5 % à 2035, 10 % à 2050, mais ceci principalement en raison de la diminution du nombre de personnes par ménage. Seuls les usages de cuisson (hors électricité) et surtout les usages spécifiques de l'électricité augmentent : en 2035, la majorité des logements dispose des meilleures technologies disponibles aujourd'hui pour les usages spécifiques de l'électricité, mais le taux d'équipement par ménage en produits blancs (électroménager) ou gris (télévision, etc.) augmente. Les consommations correspondant à de nouveaux usages (numérique) constituent le poste de plus forte croissance pour les usages spécifiques. Au total, étant donné la multiplication des usages spécifiques, la consommation d'électricité spécifique augmente légèrement entre 2035 et 2050 [11].

(7) Statistiques disponibles pour 2012, observatoire du Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer (SOeS).
(8) Sources : Observatoire permanent de l'amélioration énergétique du logement (OPEN) et Observatoire des statistiques (SOeS) du ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer.
(9) Sources : Insee, recensement de la population.
(10) Voir l'étude « Alléger l'empreinte environnementale de la consommation des Français en 2030 », Ademe (2014).
(11) Plusieurs scénarios possibles d'évolution des modes de vie sont étudiés dans « Visions énergie climat 2030/2050 : quels modes de vie pour demain ? » (2014), à travers la description du quotidien de 16 familles.

CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE DANS LE BÂTIMENT RÉSIDENTIEL EN 2010, 2030 ET 2050, PAR USAGE (Mtep)

Mtep	2010	2035	2050
Chauffage	30,8	18,9	13,3
Eau chaude sanitaire	4,4	3,0	2,9
Cuisson	2,2	2,2	2,3
Éclairage	0,9	0,5	0,3
Climatisation	0,0	0,3	0,4
Électricité spécifique*	6,0	5,1	5,5
Total	**44,3**	**30,0**	**24,7**

** Appareils électriques uniquement.*



Des sources et des formes d'énergie qui se diversifient

Les sources et formes d'énergie mobilisées évoluent :

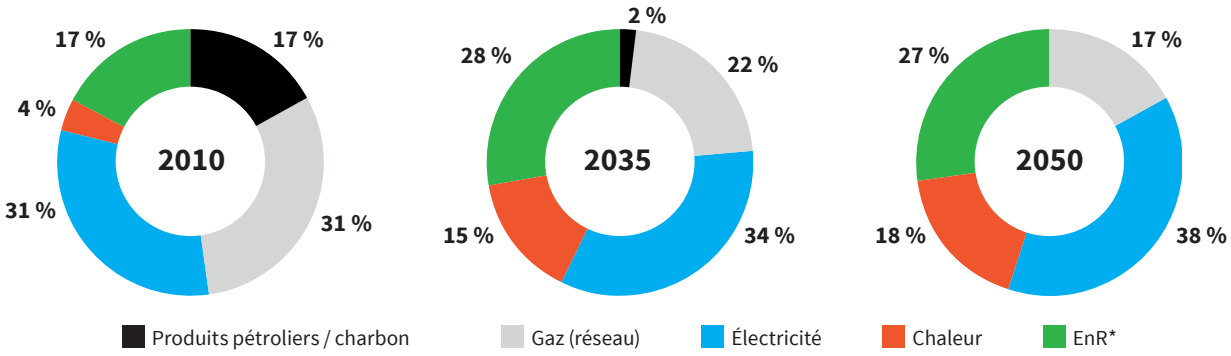
- **Pour le chauffage, les pompes à chaleur (PAC)** [12] notamment aérothermiques réversibles, aujourd'hui en forte progression (3,3 % dans les résidences principales en 2014, contre 2,2 % en 2010 [13]), équipent 20 % du parc de logements en 2035 et 50 % en 2050. Le coefficient de performance passe de 3 en moyenne aujourd'hui à 4. Le fort taux de pénétration de cet équipement est également lié à la poursuite de la consommation tendancielle en climatisation dans certaines régions. Les logements chauffés au gaz s'équipent progressivement en chaudières à condensation. À l'approche de 2035, les systèmes hybrides et de micro-cogénération commencent également à pénétrer le parc.

> « Les chauffe-eau solaires individuels sont présents dans 10 % des logements en 2035 et 20 % en 2050. »

- **Pour l'eau chaude sanitaire, les cumulus (chauffe-eau à effet joule)** sont progressivement remplacés par des chauffe-eau thermodynamiques (CET) – qui permettent de réduire de moitié la consommation des ménages – et, dans une moindre mesure, par des chauffe-eau solaires individuels (CESI). Toutefois, sauf évolution majeure de la filière (coût, performance) en France, aujourd'hui non prévisible, les CESI se diffusent lentement dans le parc, leur taux de pénétration est évalué à 10 % des logements en 2035, 20 % en 2050.
- **Pour la climatisation,** malgré une forte amélioration de l'efficacité énergétique des équipements et des bâtiments à l'horizon 2050, les consommations s'accroissent (pratiquement la moitié des logements neufs et anciens en sont équipés, contre 4,5 % en 2010 [14]), ce qui constitue une prise en compte indirecte de l'impact du changement climatique.

(12) Les ordres de grandeur des gisements et rythmes de déploiement des installations géothermiques, solaires thermiques, pompes à chaleur n'ont pas changé par rapport aux travaux conduits en 2012 (cf. « L'exercice de prospective de l'ADEME "Visions 2030-2050" » document technique).
(13) Source : CEREN.
(14) Source : ministère de l'Écologie, du Développement durable, du Transport et du Logement.

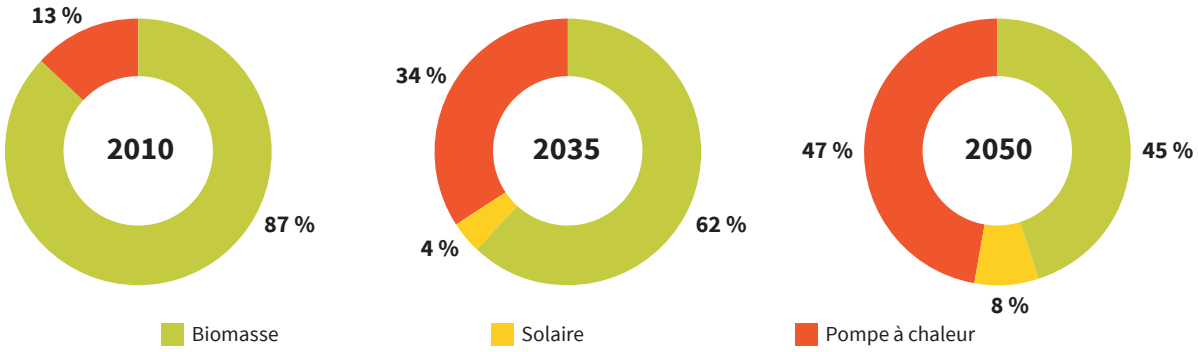
CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE FINALE DANS LE RÉSIDENTIEL EN 2010, 2035 ET 2050, PAR FORME D'ÉNERGIE



Unités : Mtep / %	2010		2035		2050	
Produits pétroliers / charbon*	7,4	17 %	0,6	2 %	0	0 %
Gaz	13,9	31 %	6,5	22 %	4,2	17 %
Électricité	13,7	31 %	10,2	34 %	9,3	38 %
Chaleur	1,6	4 %	4,4	15 %	4,4	18 %
EnR*	7,6	17 %	8,3	28 %	6,8	27 %
Total	**44,3**		**30,0**		**24,7**	

** Inclut les usages directs suivants : biomasse, solaire, pompes à chaleur.*

CHALEUR ET SOURCES D'ÉNERGIES RENOUVELABLES EN USAGE DIRECT DANS LE RÉSIDENTIEL



	2010	2035	2050
Biomasse	87 %	62 %	45 %
Solaire	0 %	4 %	8 %
Pompes à chaleur	13 %	34 %	47 %

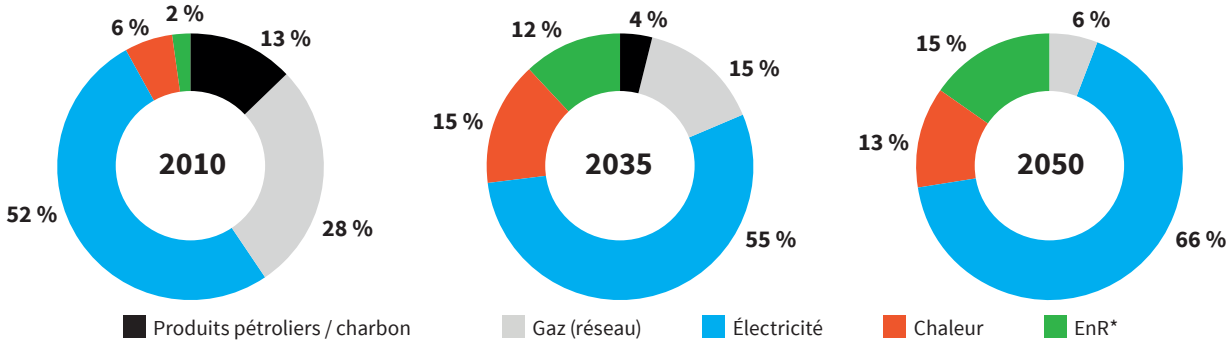
LES BÂTIMENTS TERTIAIRES

Les consommations énergétiques dans le tertiaire sont tirées par l'augmentation des surfaces. Ces dernières progressent avec l'activité et le nombre d'employés dans le tertiaire, mais cette augmentation est limitée par la baisse progressive des surfaces par employé : - 10 % en 2035, - 20 % à l'horizon 2050. Cette réduction des surfaces tertiaires par personne résulte du développement simultané du service à la personne (en raison, notamment, du vieillissement de la population), du télétravail (favorisé par la numérisation des échanges), ainsi que de la rationalisation de l'usage du foncier. Les surfaces climatisées progressent également dans le tertiaire, tandis que les besoins en chauffage diminuent par la rénovation des bâtiments.

Par ailleurs, les rendements des équipements s'améliorent de la même façon que dans le résidentiel.

Enfin le déphasage entre les cycles de consommation énergétique des bâtiments résidentiels et tertiaires permet d'imaginer la constitution d'îlots à énergie positive (physiques ou virtuels par *smart grids),* limitant les appels sur le réseau électrique national [15].

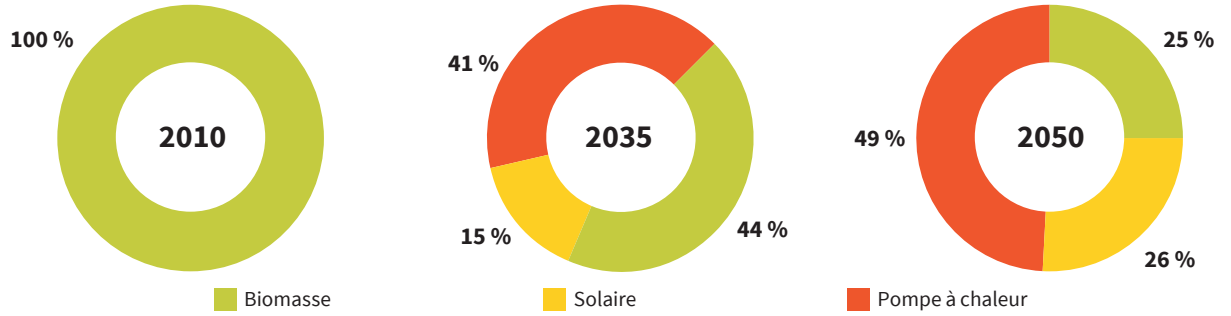
CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE FINALE DANS LE TERTIAIRE EN 2010, 2035 ET 2050, PAR FORME D'ÉNERGIE



Unités : Mtep / %	2010		2035		2050	
Produits pétroliers / charbon**	2,8	13 %	0,7	4 %	0,0	0 %
Gaz	6,2	28 %	2,5	15 %	0,9	6 %
Électricité	11,5	52 %	9,5	55 %	9,4	66 %
Chaleur	1,2	6 %	2,5	15 %	1,8	13 %
EnR* (cf. détail graphique infra)	0,4	2 %	2,0	12 %	2,2	15 %
Total	**22,1**		**17,4**		**14,3**	

** Inclut les usages directs suivants : biomasse, solaire, pompe à chaleur.*
*** 0,1 Mtep de charbon est consommé en 2010, la moitié en 2035, et aucune en 2050.*

CHALEUR ET SOURCES D'ÉNERGIES RENOUVELABLES EN USAGE DIRECT DANS LE TERTIAIRE



	2010	2035	2050
Biomasse	100 %	44 %	25 %
Solaire	0 %	15 %	26 %
Pompes à chaleur	0 %	41 %	49 %

(15) Cet effet n'a cependant pas été pris en compte dans le dimensionnement du réseau électrique projeté.

LES ÉVOLUTIONS DANS LE TRANSPORT ET LA MOBILITÉ

LE TRANSPORT DE VOYAGEURS

Aujourd'hui, la voiture est la règle que ce soit pour les déplacements urbains, périurbains ou de longue distance. Chaque véhicule parcourt 13 000 km par an, mais il est inexploité 95 % du temps et souvent occupé par une seule personne. La mobilité des personnes continue de progresser : 12 990 km parcourus en automobile en 2015, contre 12 770 km en 2010 [16].

Néanmoins, des changements importants sont en cours. Le co-voiturage sur courte/moyenne et longue distance se développe avec actuellement de l'ordre de 6 milliards de voyageurs-km pour les déplacements en covoiturage moyenne distance de type déplacement domicile-travail (soit environ 10 % des déplacements effectués pour ce motif) et un niveau de 3,5 milliards de voyageurs-km pour les déplacements personnels de longue distance (soit 2 à 3 % des déplacements de ce type, en dehors de l'avion) [17]. L'auto-partage, encore relativement marginal en France, connaît une forte croissance dans certaines villes (100 000 abonnés Autolib à Paris). Les modes actifs (marche et vélo) sont également en progression, tout particulièrement en milieu urbain et péri-urbain.

Les progrès technologiques ont permis une baisse de la consommation de carburant globale (1 % par an entre 2011 et 2016) qui devrait se poursuivre, puisque la consommation moyenne des voitures neuves n'a cessé de baisser (4,6 L/100 km en 2016, soit - 7,4 % depuis 2011). Les émissions de CO_2 par véhicule neuf ont aussi baissé (110 g/km pour les véhicules diesel et essence, 92 g/km pour les hybrides non rechargeables, 46 g/km pour les rechargeables). La part de marché du diesel est en repli marqué (52 % des ventes en 2016, contre 72 % en 2010) et celle des véhicules électriques progresse (1,1 % des ventes aux particuliers et 1,4 % des utilitaires), de même que la part des véhicules hybrides rechargeables (0,4 % des véhicules particuliers).

> « Le co-voiturage continue à se développer et le remplissage moyen des véhicules se stabilise à 2 personnes par véhicule à partir de 2035. »

Une transition profonde engagée dans les transports

Une évolution importante des comportements de mobilité, conjointe à une restructuration profonde des systèmes de transport de voyageurs est proposée. La mobilité des personnes est ainsi d'abord contenue, puis baisse de 17 % en 2035 et de 24 % en 2050.

Cela résulte d'un ensemble d'évolutions profondes :

- une part accrue de télétravail, le vieillissement de la population, ainsi que l'aménagement du territoire qui permet une meilleure organisation urbaine : la population active travaille plus régulièrement dans les bâtiments résidentiels ou dans des télécentres, à proximité des lieux de vie. Il ne s'agit que d'un transfert du point de vue de la consommation énergétique des « bâtiments », mais l'effet sur la mobilité et la consommation énergétique dans les transports est, quant à lui, significatif.
- le déploiement des services de mobilité – véhicules, notamment électriques, en libre-service à disposition des usagers et détenus par des professionnels – de plus en plus significatif, notamment pour les usages urbains et périurbains en 2035 ;
- le co-voiturage, confirmant sa progression, continue à se développer et, amène ainsi le remplissage moyen des véhicules à se stabiliser à 2 personnes par véhicule à partir de 2035 (1,4 en 2010 [18]).

Une part importante du report modal se fait également sur les modes doux (vélo) et les transports en commun (rail et route).

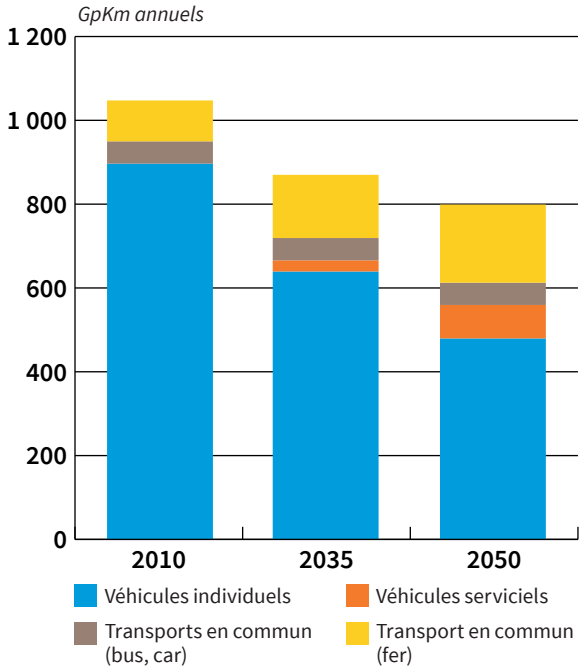
La transformation complète du parc de véhicules : vers une indépendance pétrolière…

Du point de vue technologique, les motorisations thermiques continuent de s'améliorer, notamment par la généralisation des solutions d'hybridation et par une maîtrise

(16) Source : Compte des transports (2015).
(17) Voir « Développement du covoiturage régulier de courte et moyenne distance. Guide Méthodologique », Ademe (2016).
(18) Enquête nationale des transports pour 2008 (2010).

MOBILITÉ SUR ROUTE ET RAIL (GIGA PASSAGERS-KM ANNUELS)

Gpkm / %	2010		2035		2050	
Véhicules individuels	890	85 %	636	74 %	472	60 %
Véhicules serviciels	0	0 %	26	3 %	82	10 %
Transports en commun (bus, car)	52	5 %	52	6 %	51	6 %
Transport en commun (fer)	99	10 %	150	17 %	187	24 %
Total	**1 041**		**864**		**792**	



> « Les ventes des nouvelles motorisations (véhicules hybrides rechargeables, électriques, GNV) s'accroissent rapidement ce qui réduit à 60 % la part des véhicules thermiques à 2035. »

de la masse des véhicules (via de l'acier, des alliages allégés et un recours aux matériaux composites). Pour engager une transformation profonde du parc de véhicules particuliers, les ventes de nouvelles motorisations s'accroissent rapidement, dès l'horizon 2035 : véhicules hybrides rechargeables plug-in, électriques (surtout achetés par les professionnels et déployés pour offrir des services de mobilité), véhicules GNV. Cette évolution rapide des ventes permet de réduire à 60 % la part de véhicules thermiques à cet horizon. Cette tendance se poursuit au-delà et aboutit à ce que ces nouvelles motorisations représentent 98 % du parc en 2050.

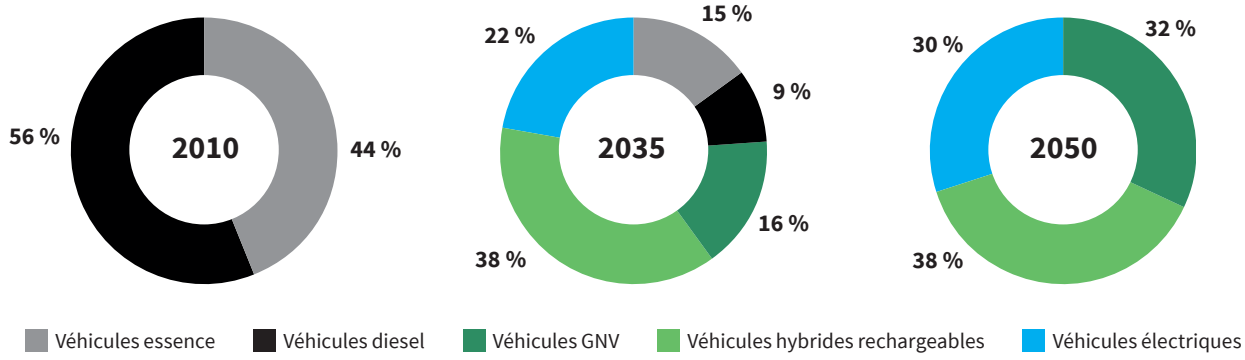
Pour des usages spécifiques (parcs captifs, usages urbains et péri-urbains), le recours au vecteur gaz, notamment le biométhane d'origine renouvelable, s'avère en effet intéressant : la technologie est proche de celles existantes, elle intègre les avancées en matière de motorisation à allumage commandé et d'émission de polluants (absence de particules). Elle bénéficie également de la mise en œuvre du renforcement des infrastructures de distribution prévue dans la directive européenne 2014/94, qui vise un maillage du territoire, avec à terme un point de charge au minimum tous les 150 km pour le gaz naturel comprimé (GNC) et 400 km pour le gaz naturel liquéfié (GNL). Après 2035, la part des ventes de véhicules au gaz et d'hybrides rechargeables électricité-gaz continue de progresser.

Les émissions moyennes du parc automobile passent ainsi de 167 g CO_2/km aujourd'hui à 103 g CO_2/km en 2035 et 47 g CO_2/km en 2050.

Alors qu'en 2010 les véhicules neufs émettaient 130 g CO_2/km en moyenne, les véhicules neufs de 2035 émettront en moyenne 66 g CO_2/km (les véhicules électriques n'émettant pas de CO_2 à l'usage, les véhicules thermiques entre 75 et 100 g CO_2/km) et moins de 50 g CO_2/km en 2050.

Le recours aux biocarburants de première génération diminue progressivement à partir de 2030 jusqu'à leur disparition à l'horizon 2050, avec en même temps leur remplacement progressif par les biocarburants avancés liquides et gazeux et la croissance de la production électrique d'origine renouvelable. En 2050, les biocarburants représentent 100 % des carburants utilisés en usage direct (hors réseaux de gaz et d'électricité). La transformation du parc de bus et de cars, à 100 % diesel en 2010, s'opère aussi, avec une progression rapide des véhicules fonctionnant aux carburants gazeux (29 % des ventes de bus en 2030, 86 % en 2050, et 100 % des cars dès 2030), et dans une moindre mesure des véhicules électriques (5 % des bus en 2030, 14 % en 2050).

VENTES DE VÉHICULES PARTICULIERS NEUFS



% des ventes	**2010**	**2035**	**2050**
Véhicules essence*	44 %	15 %	0 %
Véhicules diesel*	56 %	9 %	0 %
Véhicules GNV*	0 %	16 %	32 %
Véhicules hybrides rechargeables	0 %	38 %	38 %**
Véhicules électriques	0 %	22 %	30 %
Émissions moyennes CO_2 des véhicules neufs (gCO_2/km)	**130**	**66**	**49**

** Y compris des biocarburants liquides ou gazeux.*

*** Entre 2035 et 2050, les ventes de véhicules hybrides rechargeables (VHR) continuent de progresser, mais moins vite que les ventes de véhicules fonctionnant exclusivement au gaz et à l'électricité. Par ailleurs, la part de VHR fonctionnant à l'essence et au diesel diminue fortement, au profit du gaz.*

LE TRANSPORT DE MARCHANDISES

La croissance du transport de marchandise s'est atténuée depuis le début des années 2000 par rapport à la croissance générale de l'activité et des échanges. En partie en raison de la crise, les tonnes-km parcourues ont été stables en moyenne sur 15 ans, avec des chutes lors des années de crise (- 12 % en 2009) et des rebonds lors des reprises (+ 5% en 2010) [19]. Dans le même temps, la croissance annuelle moyenne du PIB sur la période 2000-2015 a été faible, mais néanmoins positive (+ 1,1% par an) [20].

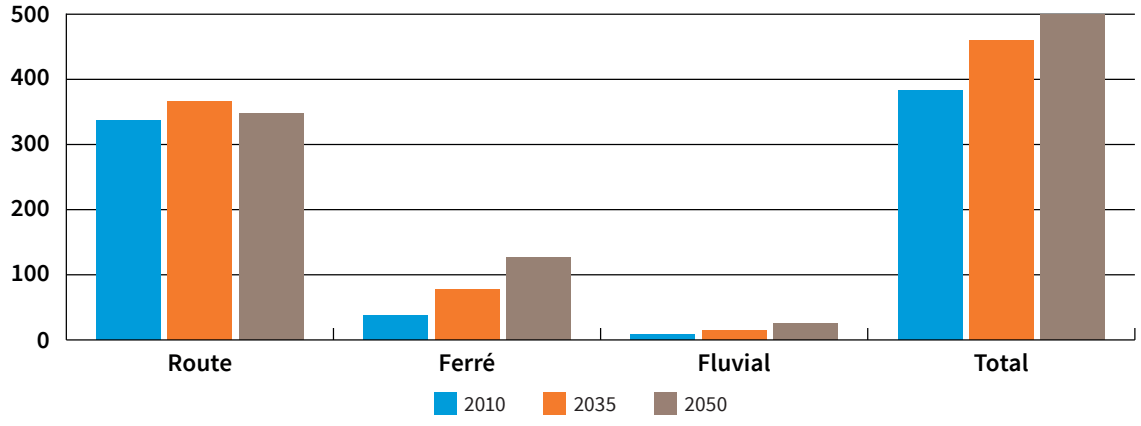
Une moindre sensibilité à la croissance de l'activité

Aux horizons futurs, cette tendance à la stabilisation est prolongée, malgré l'hypothèse de poursuite de la reprise économique. Il suppose donc des restructurations logistiques importantes et une évolution de la demande, permettant une plus grande adéquation des lieux de production et lieux de consommation. À plus long terme, un réaménagement plus profond du territoire favorise cette tendance. Le transport de marchandises progresse ainsi toujours avec l'activité, mais de moins en moins (0,3 % uniquement pour un point de plus de PIB en 2050), ce qui correspond à une croissance des tonnes/km parcourues de 0,7 %/an entre 2010 et 2035 et de 0,6 %/an entre 2035 et 2050.

Stabilisation puis diminution du transport par la route

Cette croissance contenue du transport de marchandises est progressivement assurée par la gestion et le développement du réseau ferroviaire, des voies fluviales et maritimes intérieures. Le recours à ces derniers modes assure, à l'horizon 2050, près d'un tiers des besoins en transport de marchandises. Les poids lourds restent en dehors des villes et déposent leurs marchandises dans des centres logistiques qui les acheminent ensuite dans les centres urbains par des véhicules plus légers. Après une période de croissance ralentie, le trafic par route se stabilise puis commence à diminuer après 2035.

TRANSPORT DE MARCHANDISE EN MILLIARDS DE TKM, PAR MODE



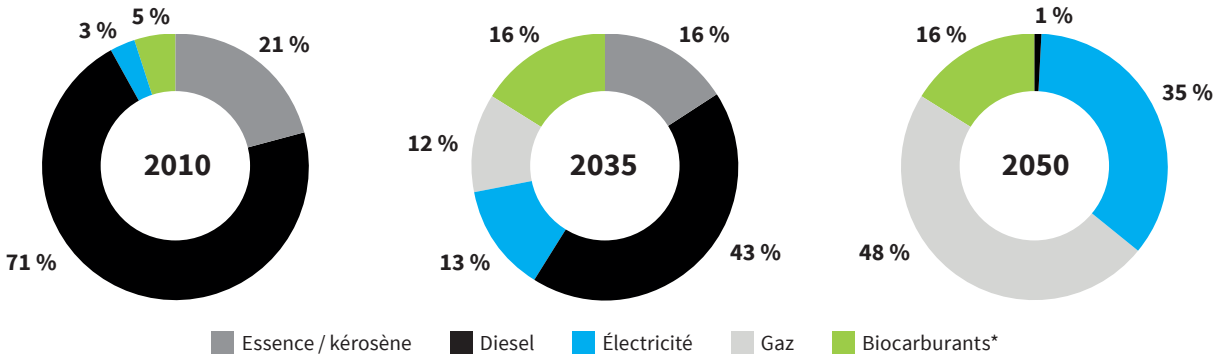
Milliards tonne km / %	**2010**		**2035**		**2050**	
Route	337	88 %	366	80 %	347	69 %
Ferré	37	10 %	78	17 %	127	25 %
Fluvial	8	2 %	15	3 %	25	5 %
Total	**383**		**459**		**500**	

(19) Source: Comptes des transports 2015.
(20) Source: Comptes nationaux annuels base 2010, INSEE.

ÉVOLUTION DE LA CONSOMMATION TOTALE DU SECTEUR DES TRANSPORTS

Les évolutions dans le secteur des transports de voyageurs et de marchandises conduisent à la consommation énergétique finale totale suivante, par formes d'énergie. Pour le transport aérien intérieur, le biokérosène se substitue progressivement et complètement au kérosène fossile.

CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE FINALE DANS LES TRANSPORTS (HORS AÉRIEN INTERNATIONAL)



Unités : Mtep / %	2010		2035		2050	
Essence / Kérosène	9,3	21 %	4,3	16 %	0	0 %
Diesel	31,2	71 %	11	43 %	0,1	1 %
Électricité	1,1	3 %	3,3	13 %	6,0	35 %
Gaz	0	0 %	3,1	12 %	8,2	48 %
Biocarburants*	2,4	5 %	4,1	16 %	2,7	16 %
Total	**44,0**		**25,8**		**17,0**	

** Biocarburants liquides seulement, utilisés dans les transports terrestres et aériens intérieurs (les biocarburants gazeux sont inclus dans le mix du vecteur « gaz »).*

LES ÉVOLUTIONS DANS L'ALIMENTATION, L'AGRICULTURE ET L'UTILISATION DES SOLS

Peu consommateur d'énergie (3 % de l'énergie finale nationale), le secteur agricole est toutefois fortement émetteur de gaz à effet de serre (près de 19 % des émissions nationales). Les émissions, majoritairement non énergétiques (N_2O et CH_4), sont issues de l'élevage et des processus biologiques au sein des sols agricoles. Les sols et la biomasse agricole et forestière constituent également des stocks de carbone importants qu'il s'agit de préserver, voire d'accroître par des pratiques agricoles et forestières adéquates.

CONSOMMATION ALIMENTAIRE

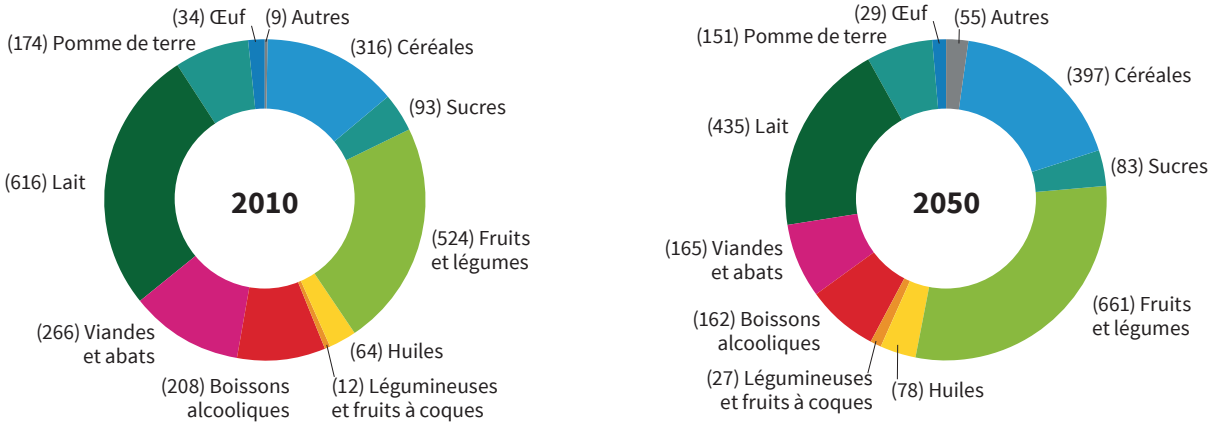
> « Une politique ambitieuse permet de diviser par deux les pertes alimentaires évitables en 2035, conformément aux objectifs européens. »

Après avoir augmenté de façon constante depuis les années 70, la consommation de viande en France s'est stabilisée autour de 5,6 millions de tonnes équivalent carcasse dans les années 2000 [21]. Une tendance récente à la baisse s'opère depuis 2008. La consommation de légumineuses à graines a cessé de baisser depuis la fin des années 80, pour se stabiliser à 1,42 kg par personne et par an en moyenne entre 2001 et 2008 (un français en consommait 7,2 kg en 1920).

Cette relative stabilité de l'assiette alimentaire moyenne a été prise en compte, ainsi aucun changement important du régime des Français n'est supposé à l'horizon 2035, avec néanmoins une baisse des surconsommations de protéines (de 70 à 60 %) et de glucides (de 50 à 45 %). Une politique ambitieuse permet de diviser par deux les pertes alimentaires évitables, conformément aux objectifs européens. Les imports et exports de produits agricoles et de denrées alimentaires sont supposés stables en volume. Les tendances actuelles de baisse de consommation de viande sont prolongées.

À l'horizon 2050, l'évolution du régime alimentaire vise un rapprochement des préconisations de la FAO *(Food and Agriculture Organization)* sans toutefois les atteindre avec un rééquilibrage entre protéines animales et protéines végétales (40 %/60 %). La réduction des pertes évitables atteint un plafond (- 60 % par rapport à 2007) [22]. Une baisse de la consommation de laitages de 5 %, compensée par des apports calciques diversifiés, a également été retenue.

ASSIETTE ALIMENTAIRE EN 2010 ET 2050 (EN G/JOUR/PERSONNE)



	2010	2050
Protéines totales	113 g/jour/hab (dont 40 végétales)	86 g/jour/hab (dont 43 végétales)
Énergie	3 324 kcal/pers/jour	3 270 kcal/pers/jour
Potentiel nourricier (en nombre de personnes nourries)	140 millions énergie / 95 millions protéines / 60 millions prot animales	136 millions énergie / 113 millions protéines / 79 millions prot animales

(21) Source : « Consommation des produits carnés en France. Données et Bilans », FranceAgriMer, 2014.
(22) Source : « Alléger l'empreinte environnementale de la consommation des Français en 2030 », Ademe, 2014.

PRATIQUES ET PRODUCTIONS AGRICOLES

La contribution du secteur agricole au scénario de transition énergétique passe par trois leviers :

- la réduction des consommations d'énergie et des émissions de gaz à effet de serre,
- le stockage de carbone dans les sols et dans la biomasse (aérienne et racinaire),
- la production d'énergies renouvelables, principalement à partir de biomasse.

La diversification des pratiques agricoles et forestières conduit au déploiement de pratiques favorables à la préservation des sols et des équilibres écosystémiques. Elle permet également l'accroissement des ressources en biomasse, tout en répondant à la demande alimentaire.

Pour les productions végétales, les pratiques peuvent être regroupées en trois grands systèmes :

- **l'agriculture conventionnelle** [23] **:** dans un contexte d'évolution des stratégies de protection des cultures (plan Ecophyto), les rendements des principales cultures céréalières n'évoluent pas. À l'horizon 2050, seulement 10 % de la surface agricole utile (SAU) est encore en agriculture conventionnelle.
- **l'agriculture biologique** [24] **:** le niveau de rendement obtenu correspond, selon une hypothèse prudente, à 65 % de celui de l'agriculture conventionnelle. L'objectif du Grenelle de l'environnement de 20 % de la SAU en agriculture biologique pour 2020 est atteint en 2035. En 2050, 30 % de la SAU se réalise en agriculture biologique (dont 25 % des grandes cultures).
- **la production agro-écologique** [25] **:** le niveau de rendement atteint 95 % de celui de l'agriculture conventionnelle. Ce système de production intégrée concerne 20 % de la SAU en 2035 et 60 % en 2050.

> « L'agriculture biologique et l'agro-écologie représentent 40 % de la SAU en 2035, ce qui contribue à réduire la consommation d'engrais azotés de 40 %. »

Ces évolutions se traduisent par une réduction de la consommation d'engrais azotés de synthèse d'environ 40 % en 2035 et 50 % en 2050 par rapport à 2010. Les surfaces en légumineuses progressent très fortement – que ce soit les légumineuses à graines ou fourragères – pour atteindre près de 10 % de la SAU en 2050. Les surfaces en haies sont préservées, l'agroforesterie se développe sur 500 000 ha en 2050 et la couverture des sols en hiver se généralise, favorisant ainsi le stockage de carbone dans les sols et la biomasse, tout en contribuant à la fourniture de biomasse pour l'énergie, les produits biosourcés et les matériaux. La consommation énergétique des engins est réduite de 30 % en 2050 par rapport à 2010, via la simplification du travail du sol lorsqu'elle est possible.

Pour les productions animales, les cheptels pour la production de viandes blanches (porcs et volailles) se maintiennent d'ici 2050. En raison d'une moindre consommation de viandes rouges, la baisse tendancielle des cheptels bovins constatée ces trois dernières décennies est prolongée et même accentuée pour le cheptel allaitant (- 50 % en 2050 par rapport à 2010).

(23) L'agriculture conventionnelle se focalise sur la poursuite de l'amélioration de l'efficacité de l'utilisation des intrants, sans modification forte des rotations de cultures ou des itinéraires techniques.

(24) L'agriculture biologique se caractérise par l'absence d'apport d'azote minéral et de produits phytosanitaires de synthèse, la valorisation des fertilisants organiques et une part importante de légumineuses dans les rotations.

(25) La production agro-écologique cherche à réduire l'utilisation d'intrants extérieurs à l'exploitation, en valorisant mieux les ressources naturelles et les processus biologiques associés. Elle développe des pratiques proches de l'agriculture biologique, mais à un degré moindre et autorise l'utilisation de produits phytosanitaires. Elle favorise aussi la couverture des sols et le développement des techniques culturales simplifiées, en particulier le semis direct.

La préservation des surfaces en prairies, en particulier permanentes, ainsi que le développement des légumineuses produites sur le territoire national, permet d'améliorer l'autonomie protéique des exploitations et d'utiliser davantage l'herbe dans l'alimentation du cheptel. À l'horizon 2050, l'objectif d'autonomie protéique de 75 % pour l'alimentation animale est atteint. Les modifications des rations permettent de réduire les émissions de méthane entérique issues des productions bovines (laitières et allaitantes). Une gestion plus intégrée des déjections animales permet de les valoriser comme ressources énergétiques et fertilisants : 30 % des déjections maîtrisables sont méthanisées en 2035, 50 % en 2050. La consommation énergétique des bâtiments d'élevage est réduite d'environ 25 % en 2050.

OCCUPATION DES SOLS

Les sols agricoles et forestiers représentent plus de 80 % du territoire métropolitain. Depuis plusieurs années les sols artificialisés sont en croissance et les sols agricoles en régression. Ce recul s'observe en particulier pour les surfaces toujours en herbe.

Un recul de l'artificialisation des sols

L'évolution des politiques publiques d'urbanisme aboutit à une maîtrise progressive de l'artificialisation, avec un rythme quasi-nul dès 2035. Les surfaces en prairies permanentes sont stabilisées en 2035, après une baisse de 1,5 % par an entre 2010 et 2035. L'afforestation [26] se poursuit sur 1 million d'hectares entre 2010 et 2035. Ces évolutions se traduisent par une perte de surface agricole utile (SAU) de près de 2 millions d'hectares à l'horizon 2050.

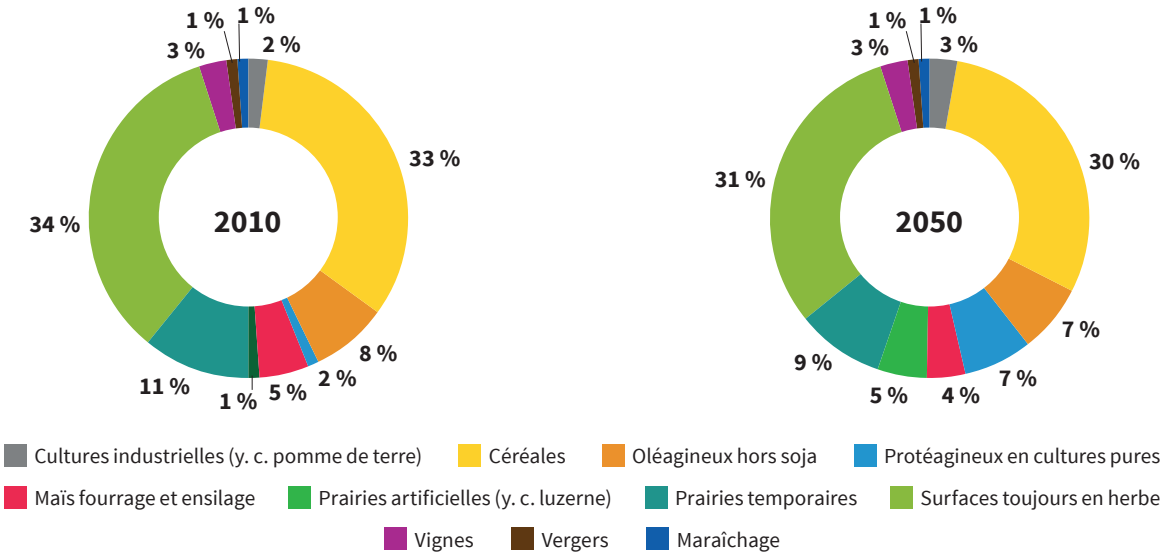
Le développement de l'agriculture intra-urbaine (maraîchage urbain hors-sol, toits cultivés, etc.) et de proximité (périurbaine, vente directe) contribue à modifier les relations entre les consommateurs urbains et les systèmes classiques de production alimentaire. Cependant, l'effet de ces changements reste marginal sur le niveau de production agricole en zone rurale.

Une évolution de l'usage de la Surface Agricole Utile (SAU)

L'usage des surfaces agricoles utiles évolue avec la demande alimentaire, avec l'évolution des pratiques de production animale et végétale (notamment le développement des cultures de légumineuses), ainsi qu'avec les besoins transitoires en biocarburants de première génération pour les transports. Les productions de céréales, fruits et légumes augmentent. Des cultures énergétiques sont cependant nécessaires pour la production de biocarburants (les résidus de cultures étant préférablement enfouis pour stocker le carbone et renouveler les sols). En 2050, les cultures annuelles et prairies dédiées à la production d'énergie (méthanisation, biocarburants de seconde génération) et de matériaux biosourcés (y compris pour l'amidon) représentent près de 9 % de la SAU.

(26) Plantation d'arbres ayant pour but d'établir un état boisé sur une surface longtemps restée dépourvue d'arbres, ou n'ayant éventuellement jamais (aux échelles humaines de temps) appartenu à l'aire forestière.

USAGE DES SURFACES AGRICOLES UTILES



Unités : milliers ha / %	**2010**		**2050**	
Cultures industrielles (y. c. pomme de terre)	659	2 %	700	3 %
Céréales	9 235	33 %	7 687	30 %
Oléagineux hors soja	2 183	8 %	1 730	7 %
Protéagineux en cultures pures	447	2 %	1 839	7 %
Maïs fourrage et ensilage	1 406	5 %	1 031	4 %
Prairies artificielles (y. c. luzerne)	281	1 %	1 406	5 %
Prairies temporaires	3 158	11 %	2 239	9 %
Surfaces toujours en herbe	9 503	34 %	8 100	31 %
Vignes	772	3 %	688	3 %
Vergers	189	1 %	200	1 %
Maraîchage	278	1 %	300	1 %
Total	**28 112**		**25 920**	

Source : simulations du modèle Climagri, ADEME 2015, à partir des données de Recensement Agricole 2010.

CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE FINALE TOTALE DU SECTEUR AGRICOLE

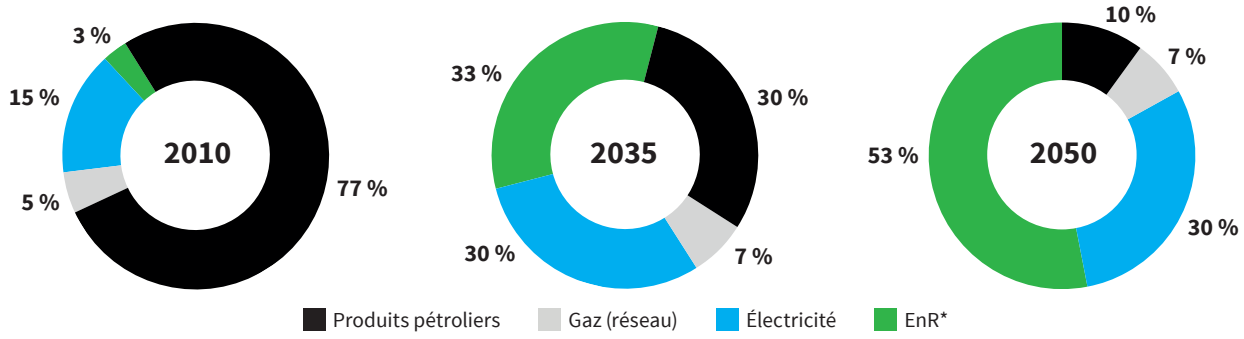
Au total, la consommation d'énergie directe du secteur agricole passe de 4,5 Mtep en 2010 à 3 Mtep en 2035, soit une diminution de 33 %, puis se stabilise à ce niveau. Les consommations indirectes d'énergie, liées à la production des fertilisants et amendements, sont réduites de 30 % à l'horizon 2035 et de 35 % à l'horizon 2050. Les émissions de gaz à effet de serre liées à l'agriculture (directes et indirectes) baissent de 23 % d'ici à 2035, et de 35 % à l'horizon 2050.

Les effets des changements climatiques sont pris en compte, en considérant une stagnation des rendements des cultures céréalières et des besoins croissants en irrigation (+ 30 %

en 2050, soit 4 milliards de m³/an), mais ces besoins sont moindres que dans un scénario à pratiques inchangées.

Le potentiel nourricier de la France (en énergie nette) est réduit, en raison de la perte de SAU, le développement de cultures pour l'autonomie protéique des exploitations, la production à destination de valorisation énergétique et de matériaux biosourcés, ainsi que la baisse des rendements moyens (plafonnement des rendements en agriculture conventionnelle et développement de l'agriculture biologique). Néanmoins, à l'horizon 2050, la perte est limitée à 10 % environ, grâce au contrôle de l'artificialisation des sols, au développement des biocarburants avancés, à la reconversion de terres destinées à l'alimentation animale, ainsi qu'au moindre gaspillage alimentaire.

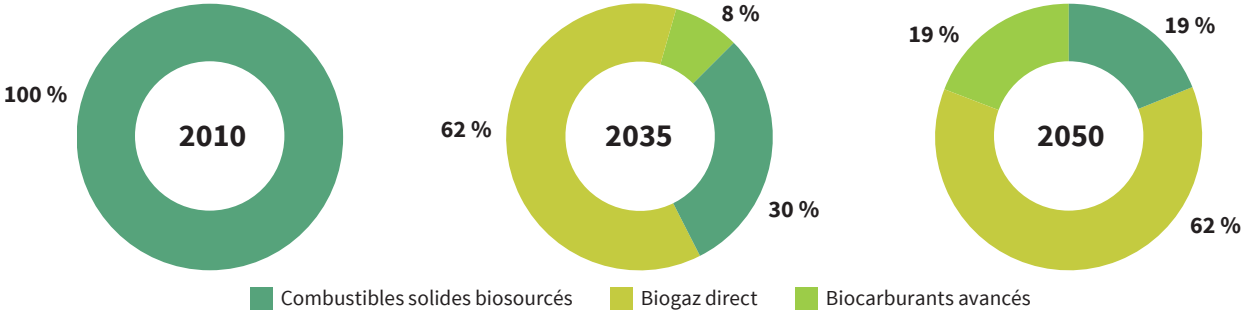
CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE FINALE DE L'AGRICULTURE EN 2010, 2035 ET 2050, PAR FORME D'ÉNERGIE



Unités : Mtep / %	2010		2035		2050	
Produits pétroliers	3,4	77 %	0,9	30 %	0,3	10 %
Gaz	0,2	5 %	0,2	7 %	0,2	7 %
Électricité	0,7	15 %	0,9	30 %	0,9	30 %
EnR*	0,1	3 %	1,0	33 %	1,6	53 %
Total	**4,5**		**3,0**		**3,0**	

** Inclut les usages directs en combustibles solides biosourcés, biogaz, biocarburants liquides.*

SOURCES D'ÉNERGIES RENOUVELABLES EN USAGE DIRECT DANS L'AGRICULTURE



	2010	2035	2050
Combustibles solides biosourcés	100 %	30 %	19 %
Biogaz direct	0 %	62 %	62 %
Biocarburants avancés	0 %	8 %	19 %

ÉVOLUTIONS DANS L'INDUSTRIE, LES PROCÉDÉS INDUSTRIELS ET LE SECTEUR DE LA CONSTRUCTION

Après avoir fortement augmenté, la consommation d'énergie de l'industrie s'est stabilisée au milieu des années 2000. Elle a fortement chuté en 2008 et 2009, du fait de la conjoncture économique défavorable, pour se maintenir ensuite à un niveau 15 % inférieur à celui de 2007.

DES GAINS D'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE SIGNIFICATIFS

Pour les industries grosses consommatrices d'énergie (IGCE), ces « visions énergétiques » reprennent les hypothèses de production en unité physique (tonnes de ciment, d'aluminium, etc.) du scénario énergétique avec mesures existantes de la Direction Générale de l'Énergie et du Climat (2017 [27]). L'activité des autres branches industrielles (leur valeur ajoutée) est déduite des hypothèses de croissance et d'évolution de la structure productive de l'économie.

L'activité industrielle dans son ensemble croît avec l'économie, mais à un rythme moins élevé que le PIB, puisqu'une part supérieure de cette croissance se fait dans les services (le taux de croissance de la valeur ajoutée industrielle est en moyenne de 1,1 % par an entre 2030 et 2050).

D'ici 2050, l'industrie active tous les leviers possibles pour améliorer sa compétitivité dont celui de la maîtrise énergétique. Pour établir le scénario 2035, l'industrie a été décomposée en sous-secteurs pour lesquels ont été évalués des potentiels d'efficacité énergétique et de substitution d'énergie. Pour établir le scénario 2050, ces tendances ont été prolongées.

L'amélioration de l'efficacité énergétique de 19,6 % à l'horizon 2035 est obtenue par :

1) **l'usage de technologies de production plus économes en énergie.** Ces solutions technologiques couvrent :
   - les équipements existants et installés au fur et à mesure de la modernisation du parc industriel,
   - une complète valorisation des différentes énergies dites "fatales", soit sous forme thermique, soit sous forme électrique. L'électricité est dans ce dernier cas autoconsommée par les sites industriels, diminuant d'autant leur demande aux réseaux,
   - les nouvelles offres d'équipements, développées sous l'impulsion de réglementations de type éco-conception, d'une filière de l'efficacité énergétique de plus en plus structurée et active, et de manière générale de la nécessité d'innover.
2) **par l'organisation optimale autour de l'énergie au sein des entreprises** (gain de 2,2 %). La généralisation du « numérique », l'accroissement du nombre de capteurs implémentés et les analyses poussées des données, garantissent au secteur industriel une meilleure maîtrise de la conduite des procédés et des consommations d'énergie comme de matières. La diffusion des Systèmes de Management de l'énergie s'accélère, depuis le milieu des années 2010, pour devenir un standard industriel.

DES SUBSTITUTIONS D'ÉNERGIE IMPORTANTES

Le remplacement des énergies fossiles les plus polluantes se fait au profit du gaz de réseau (naturel et biogaz), de la biomasse solide, du solaire thermique et des Combustibles Solides de Récupération (CSR). L'usage du fioul lourd disparaît de l'industrie. Les autres produits pétroliers se marginalisent et sont consommés uniquement dans des chaufferies de secours, ou pour des sites industriels éloignés des ressources en biomasse ou des réseaux de gaz. Les chaufferies au charbon disparaissent également. Mais le coke produit à partir de charbon pour les besoins des réactions thermochimiques, en particulier la production de fonte par hauts-fourneaux et cubilots, ne peut pas être remplacé. La consommation de coke dépend alors uniquement de la quantité d'acier produit qui est de 21 Mt en 2035 et 19 Mt en 2050 [28] (elle était de 15,4 Mt en 2010).

Les surplus de chaleur et d'électricité fatales qui sont issues de la valorisation des sous-produits de l'industrie, et qui ne sont

(27) À paraître.
(28) Selon le scénario énergétique avec mesures existantes de la Direction Générale de l'Énergie et du Climat (2017).

GAINS D'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE PAR BRANCHE À L'HORIZON 2035 PAR RAPPORT À 2013 (HORS USAGES MATIÈRE PREMIÈRE)

Secteurs	Gains d'efficacité énergétique	Répartition par type de gains *(non sommables car appliqués séquentiellement)*		
		Organisationnel	Solution éprouvée	Innovation
Métaux primaires	11,4 %	0,7 %	4,7 %	6,1 %
Chimie (y compris plasturgie)	18,0 %	1,6 %	10,6 %	6,1 %
Matériaux non métalliques (verre, ciment, tuile et brique)	14,5 %	1,9 %	8,8 %	4,0 %
Industrie agroalimentaire (IAA)	29,3 %	3,6 %	20,7 %	6,0 %
Équipement (industrie des transports, travail des métaux, et biens d'équipements)	29,8 %	4,5 %	19,5 %	7,0 %
Autres (dont papier-carton)	23,0 %	3,0 %	13,8 %	6,8 %
Total	**19,6 %**	**2,2 %**	**12,1 %**	**5,7 %**

Source : Ademe, d'après Stratégie & Études, « Innover pour remettre l'efficacité énergétique au cœur de la dynamique industrielle », mars 2015.

pas autoconsommés sur les sites industriels pour améliorer l'efficacité énergétique des procédés, sont vendus sur les réseaux correspondants. Ils sont pris en compte dans la partie offre énergétique.

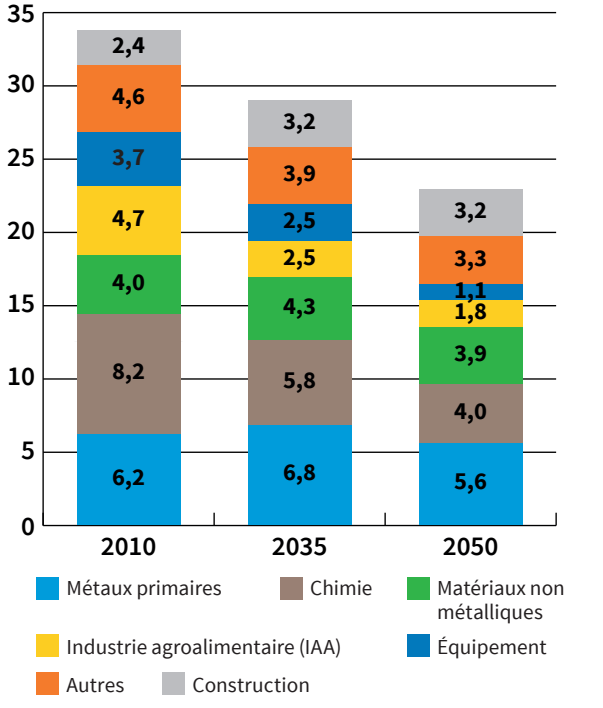
CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE FINALE TOTALE

Au total, la consommation énergétique de l'industrie baisse de façon importante (- 18 % dès 2035 par rapport à 2010, - 37 % en 2050). Cette baisse, due aux progrès en matière d'efficacité énergétique, est légèrement atténuée par les hausses d'activité dans la construction neuve et la rénovation, notamment à l'horizon 2035 (cf. hypothèses macroéconomiques). Le surcroît d'activité du secteur du bâtiment dans la transition énergétique se traduit aussi par une demande accrue en matériaux. Les consommations d'énergie tendent à se stabiliser ensuite, avec la baisse du rythme de construction.

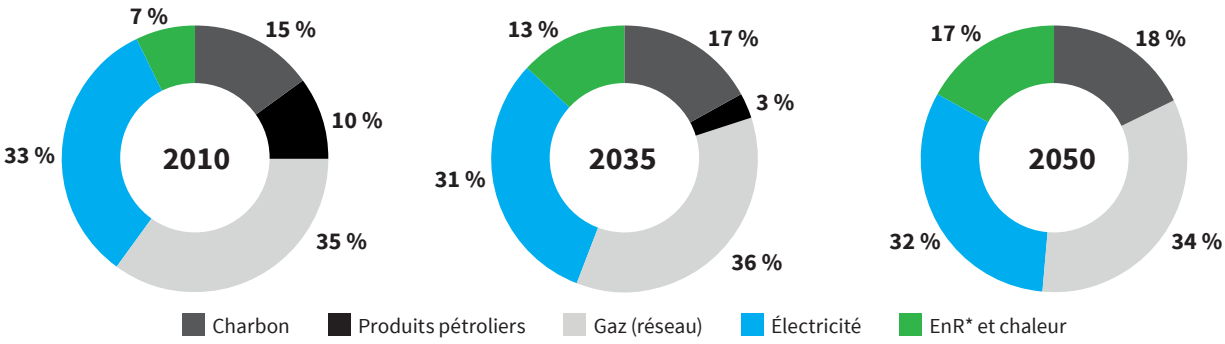
CONSOMMATION D'ÉNERGIE PAR BRANCHE INDUSTRIELLE ET POUR LE SECTEUR DE LA CONSTRUCTION (MTEP)

Mtep	2010	2035	2050
Métaux primaires*	6,2	6,8	5,6
Chimie	8,2	5,8	4,0
Matériaux non métalliques*	4,0	4,3	3,9
Industrie agroalimentaire (IAA)	4,7	2,5	1,8
Équipement	3,7	2,5	1,1
Autres	4,6	3,9	3,3
Total (hors construction)	**31,4**	**25,8**	**19,7**
Secteur de la construction*	2,4	3,2	3,2
Total (y. c. construction)	**33,8**	**29,0**	**22,9**

** Le scénario de la Direction Générale de l'Énergie et du Climat (2017) suppose une légère croissance de la production de clinker, d'acier et d'aluminium à l'horizon 2035, avec pour ces deux derniers matériaux une légère baisse de production au-delà. Le modèle ThreeME simule une hausse de production du secteur de la construction (hypothèses sur les logements neufs et la rénovation) et des besoins en matériaux correspondants (cf. hypothèses macroéconomiques).*



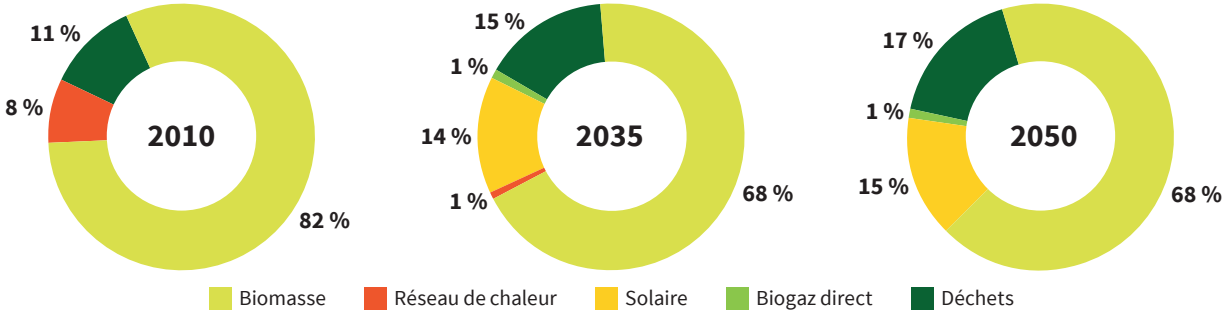
CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE DANS L'INDUSTRIE EN 2010, 2035 ET 2050, PAR FORME D'ÉNERGIE (HORS CONSTRUCTION)



Unités : Mtep / %	2010		2035		2050	
Charbon	4,8	15 %	4,5	17 %	3,5	18 %
Produits pétroliers	3,0	10 %	0,7	3 %	0,1	0 %
Gaz	11,1	35 %	9,2	36 %	6,6	34 %
Électricité	10,4	33 %	8,0	31 %	6,2	32 %
EnR* et Chaleur	2,1	7 %	3,4	13 %	3,3	17 %
Total	**31,4**		**25,8**		**19,7**	

** EnR inclut les usages directs suivants : combustibles solides biosourcés, solaire, biogaz, déchets. La chaleur inclut la chaleur de réseau et l'usage direct de chaleur fatale.*

CHALEUR ET SOURCES D'ÉNERGIE RENOUVELABLE EN USAGE DIRECT DANS L'INDUSTRIE (HORS CONSTRUCTION)



	2010	2035	2050
Biomasse	82 %	68 %	68 %
Réseau de chaleur*	8 %	1 %	0 %
Solaire	0 %	14 %	15 %
Biogaz direct	0 %	1 %	1 %
Déchets	11 %	15 %	17 %

** L'autoconsommation de chaleur et d'électricité fatale par l'industrie n'est pas comptabilisée ici. Son augmentation apparaît à travers l'amélioration de l'efficacité énergétique et la substitution des sources d'énergie.*

BILAN DES CONSOMMATIONS FINALES D'ÉNERGIE

NIVEAU DE DEMANDE FINALE ET CONTRIBUTION DES SECTEURS

Au total, la consommation finale d'énergie baisse de 29 % en 2035 par rapport à 2010 (- 44 Mtep) et de 45 % à l'horizon 2050 (- 67 Mtep) [29].

Ce résultat est proche de l'objectif de la loi de 2015 de transition énergétique pour une croissance verte (LTECV) de réduire la consommation énergétique finale de 50 % en 2050 par rapport à la référence de 2012 (150 Mtep environ). Les hypothèses décrites précédemment concernant l'évolution des usages et l'amélioration de l'efficacité énergétique des équipements permettent de réduire cette consommation à 86 Mtep (- 43 %) ; l'atteinte des objectifs ambitieux de la LTECV à l'horizon 2050 nécessite d'identifier de nouveaux leviers, notamment à travers la recherche et l'innovation, ou l'adaptation des modes de vie.

> « Au total, la consommation finale d'énergie baisse de 29 % en 2035 par rapport à 2010 et de 45 % à l'horizon 2050. »

À court-moyen terme, les potentiels d'économie d'énergie sont mobilisés rapidement. Dès 2035, le niveau de consommation finale baisse à 109 Mtep (- 28 % par rapport à 2012). Ce résultat correspond à une baisse de 24 % à l'horizon 2030 : l'objectif intermédiaire de la LTECV est donc respecté (- 20 %).

Les secteurs du bâtiment (résidentiel et tertiaire), du transport et de l'agriculture contribuent davantage à cette baisse sur la période 2010-2035 (- 29 %, - 41 % et - 33 % respectivement) que sur la période 2035-2050 (- 18 %, - 34 % et 0 % respectivement). L'industrie contribue davantage en seconde période (à hauteur de 21 % entre 2035 et 2050, contre 14 % entre 2010 et 2035).

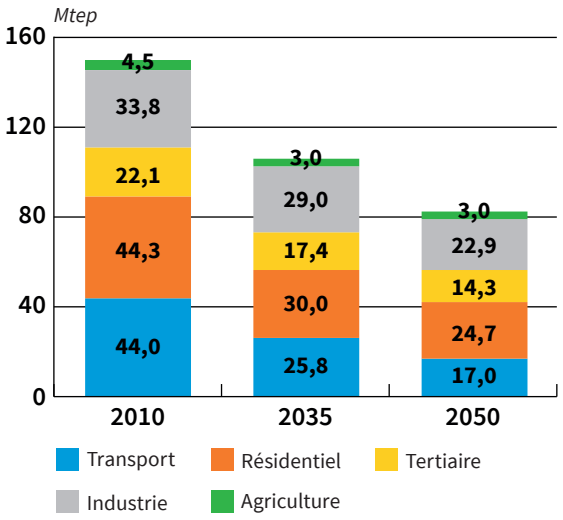
Ces résultats soulignent d'une part l'importance des mesures d'amélioration de l'efficacité énergétique et d'autre part le besoin d'identifier des leviers supplémentaires à long terme pour découpler davantage l'économie française de la consommation d'énergie.

Ils appellent à 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 :

- la rénovation du parc de bâtiments existants pour atteindre 500 000 logements rénovés/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 la baisse de la mobilité des personnes – - 24 % en 2050 – ainsi que d'une croissance limitée des trafics marchandises,
  - une augmentation du nombre des véhicules particuliers rechargeables sur le réseau électrique (électriques et hybrides) et de ceux fonctionnant au gaz, qui permet d'atteindre des émissions moyennes du parc automobile de 47 gCO_2/km en 2050 (167 aujourd'hui).

BILAN DES CONSOMMATIONS FINALES D'ÉNERGIE PAR SECTEUR EN 2010, 2035 ET 2050

Unités : Mtep / %	2010		2035		2050	
Transport	44,0	30 %	25,8	25 %	17,0	21 %
Résidentiel	44,3	30 %	30,0	28 %	24,7	30 %
Tertiaire	22,1	15 %	17,4	17 %	14,3	17 %
Industrie	33,8	23 %	29,0	28 %	22,9	28 %
Agriculture	4,5	3 %	3,0	3 %	3,0	4 %
Total	**148,7**		**105,1**		**81,8**	



(29) L'objectif de la loi de transition énergétique pour la croissance verte d'une division par deux de la consommation en 2050 par rapport à 2012 inclus le transport aérien international. En supposant la consommation de ce secteur constante par rapport à 2010, la baisse des consommations d'énergie à 2050 par rapport à 2012 est de 43 %.

> L'évolution de la structure de la demande d'énergie permet un recours accru et diversifié aux énergies renouvelables en usage direct.

- des consommations d'énergie directes du secteur agricole qui diminuent de 33 % à horizon 2035 puis se stabilisent, notamment du fait d'une diversification des pratiques du secteur,
- 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).

FORMES ET SOURCES D'ÉNERGIE

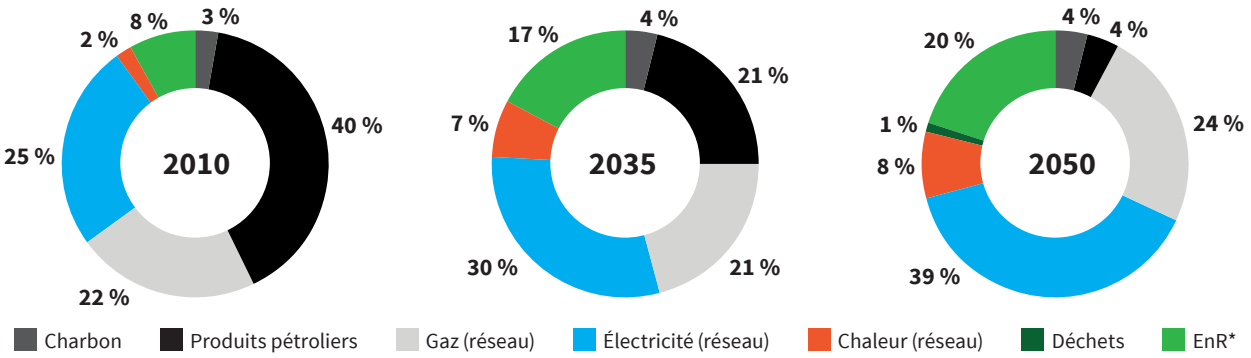
Le mix énergétique final évolue aussi sensiblement sous l'influence des hypothèses de changement d'équipements dans les bâtiments et les transports, ainsi que dans une moindre mesure, dans l'industrie et l'agriculture. Au total, l'évolution de la structure de la demande d'énergie permet un recours accru et diversifié aux énergies renouvelables en usage direct. L'électricité, le gaz et la chaleur de réseau jouent aussi un rôle majeur dans le retrait progressif des énergies fossiles.

Du fait des reports d'usage vers l'électricité (développement des pompes à chaleur, véhicules électriques…), **la part relative de l'électricité** augmente jusqu'à atteindre 39 % de la demande d'énergie en 2050. Toutefois, en valeur absolue, la demande finale d'électricité, sous l'effet de l'amélioration importante de la performance des technologies, connaît une baisse jusqu'en 2035. Après cette date, les gains d'efficacité énergétique permettent seulement de compenser l'augmentation des besoins en services, liée d'une part, à l'évolution de l'activité (démographie, économie) et d'autre part, à l'usage de véhicules électriques ainsi qu'au développement des pompes à chaleur. La demande est donc quasiment constante après 2035.

Le recours à la chaleur fournie par **les réseaux de chaleur** double à l'horizon 2035, puis se maintient.

Quant au besoin de gaz, comme pour l'électricité, les gains d'efficacité énergétique réduisent les consommations, mais ces gains sont contrebalancés par une augmentation relative du recours à cette forme d'énergie (principalement dans la mobilité). Avec le développement de la production de chaleur à partir de biomasse et des usages directs de biogaz, le recours au gaz de réseau baisse néanmoins à l'horizon 2035. Mais le fort développement de la mobilité au gaz réduit fortement cette baisse entre 2035 et 2050.

CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE TOTALE EN 2010, 2035 ET 2050, PAR FORME D'ÉNERGIE



Unités : Mtep / %	2010		2035		2050	
Charbon	5,1	3 %	4,6	4 %	3,5	4 %
Produits pétroliers	59,3	40 %	21,6	21 %	3,6	4 %
Gaz (réseau)	31,5	22 %	21,5	21 %	20,0	24 %
Électricité (réseau)	37,3	25 %	31,9	30 %	31,8	39 %
Chaleur (réseau)	3,0	2 %	7,0	7 %	6,2	8 %
Déchets	0,2	0 %	0,5	0 %	0,6	1 %
EnR*	12,3	8 %	18,2	17 %	16,0	20 %
Total	**148,7**		**105,1**		**81,8**	

** Inclut les usages directs suivants : biogaz, bois énergie, solaire thermique, pompes à chaleur PAC et CET, biocarburants liquides.*

DES POTENTIELS IMPORTANTS DE PRODUCTION D'ÉNERGIE RENOUVELABLE

L'ADEME propose dans cette actualisation de ses « Visions énergétiques », des trajectoires de déploiement des filières de production d'énergies renouvelables réalistes, régulières et compatibles avec leur développement industriel. 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.

Ce déploiement est aussi influencé par la diversité des objectifs à atteindre : parts des énergies renouvelables, arbitrage sur les utilisations de la biomasse à des fins énergétiques en lien avec les objectifs de production agricole, autonomie énergétique. Il l'est également par des contraintes et des incertitudes sur les techniques, ainsi que par la transformation des filières et les territoires (retombées industrielles, disponibilité en biomasse, changement d'usage des sols et aménagement du territoire).

Comme pour la demande, le scénario d'offre repose donc essentiellement sur des considérations de faisabilité technique, avec des variations en termes de pénétration des énergies renouvelables. Il ne tranche pas sur les conditions de réalisation politiques, économiques et sociales, ni sur l'ordre de mérite économique des alternatives possibles de systèmes énergétiques.

TROIS VARIANTES DE MIX ÉNERGÉTIQUE DÉCARBONÉ

Trois variantes de mix énergétique, représentant 3 choix différents de pénétration des EnR dans le mix électrique, sont considérées, chaque variante permettant de répondre au scénario de demande finale d'énergie.

> « Ces travaux soulignent l'intérêt croissant de développer des interactions entre vecteurs énergétiques. »

Dans ces trois variantes, les principales énergies renouvelables déployées aux horizons 2035 et 2050 sont la biomasse, l'éolien et le solaire photovoltaïque. Ces productions d'énergie renouvelables alimentent les différents réseaux énergétiques dont l'équilibre évolue progressivement au cours de la période. Au vu de la maturité des technologies et de leur évolution à l'horizon 2030 et 2050, les productions d'énergie renouvelables pénètrent plus rapidement sur les réseaux de chaleur et d'électricité, leur substitution aux carburants fossiles dans les transports étant plus progressive. La quantité de biomasse exploitable durablement étant limitée, les énergies renouvelables électriques constituent le principal levier pour parvenir à des niveaux élevés de pénétration des EnR dans le mix énergétique.

Deux variantes envisagent un déploiement ambitieux des capacités de production renouvelable.

- Un mix **« 2050 – 80 % d'électricité renouvelable »,** sans stockage inter-saisonnier, prolonge l'option "scénario nucléaire bas"[30] des « Visions énergétiques » précédentes. Les périodes de forte production électrique permettent la valorisation de 2 Mtep d'électricité pour générer 1,5 Mtep d'hydrogène injecté dans le réseau de gaz[31]. En 2050, dans cette variante, les EnR répondent 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 »** envisage un déploiement plus important d'électricité renouvelable, valorisée sous forme de gaz de synthèse. Des capacités additionnelles de photovoltaïque, éolien terrestre et marin, 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 à 69 % de la consommation finale brute d'énergie et à 49 % du gaz consommé.

Une troisième variante envisage un déploiement moindre des capacités de production renouvelable.

- Un mix **« 2050 – 50 % d'électricité nucléaire »** qui réduit de 25 points de pourcen-

(30) Dans ce scénario, la part du nucléaire dans le mix électrique est de 18 %.
(31) Correspondant à la limite actuelle de 6 % d'injection d'hydrogène dans le réseau de gaz.

tage 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 renouvelable, les EnR répondant à 46 % de la consommation finale brute d'énergie et à 37 % du gaz consommé.

Ces évolutions proposées du mix énergétique mettent en évidence l'intérêt croissant de développer les interactions entre les vecteurs énergétiques pour décarboner la France (électricité, gaz, chaleur). À titre d'illustration, la cogénération à partir de biomasse ou de chaleur fatale, couplée à du stockage thermique, permettrait d'intégrer une flexibilité entre la production de chaleur et d'électricité [32]. Toutefois l'optimisation de l'usage des ressources telles que la biomasse, en vue d'un équilibre entre ses valorisations sous forme d'électricité ou de gaz, doit être approfondie. D'autres scénarios de mix énergétique sont en effet envisageables, étant donné le potentiel technique de production de gaz issu d'énergies renouvelables et les capacités de distribution du réseau gazier, tout en prenant en compte l'augmentation des besoins de stockage journaliers, hebdomadaires et inter-saisonniers.

MOBILISATION DE LA BIOMASSE

L'évolution proposée des systèmes de production d'énergie nécessite une mobilisation importante de biomasse (biomasses agricole et forestière et déchets) pour la production d'énergie. Le contenu énergétique primaire de ces ressources atteint 28 Mtep dès 2035, puis se maintient au-delà (29 Mtep en 2050).

Les études menées depuis 2013 sur la disponibilité de ces ressources conduisent à proposer une révision à la baisse des potentiels énergétiques correspondants, par rapport aux « Visions énergétiques » construites en 2012.

Les combustibles solides biosourcés, correspondant aujourd'hui à 7 Mtep d'énergie primaire, atteignent 16,7 Mtep en 2050. Cet accroissement repose essentiellement sur l'augmentation des taux de prélèvement du bois que permet le développement de pratiques de sylviculture dynamique [33], effectives dès 2035 et se maintenant à 2050. Ce scénario suppose aussi une mobilisation plus importante des menus-bois et des connexes de scierie, le développement du bois d'œuvre étant alors nécessaire pour assurer la pertinence économique et environnementale d'un tel accroissement.

La mobilisation de résidus de culture, d'effluents d'élevage, de cultures énergétiques, est cohérente avec le scénario agricole présenté plus haut (changements de régimes alimentaires, de systèmes agricoles, d'usages des terres) et avec l'effet de l'évolution du climat sur les rendements, notamment pour les cultures d'été. Ce scénario offre des potentiels de valorisation énergétique mais présente aussi des contraintes. La production de biomasse à partir de cultures énergétiques et de cultures intermédiaires à vocation énergétique, ainsi que le prélèvement des résidus de cultures, devront être réalisés en s'assurant du maintien de la fertilité des sols, notamment grâce au déploiement de pratiques agricoles durables. Ce scénario est également conditionné à l'évolution de la consommation de viande et de l'élevage de ruminants (diminution des effluents et des surfaces en herbe).

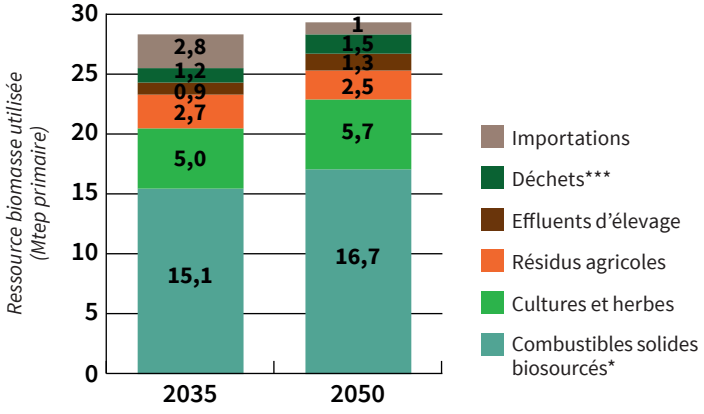
Dans la perspective d'une « neutralité carbone », la mobilisation de la biomasse agricole et forestière doit aussi être mise en balance avec le stockage du carbone dans les sols. Le bilan carbone net des scénarios agricoles et forestiers devra être estimé, afin d'examiner les conséquences des choix de sylvicultures, de pratiques agricoles, de prélèvement de la biomasse et de retour au sol (par dégradation, enfouissement, épandage, etc.).

À l'horizon 2050, l'augmentation de la mobilisation de combustibles solides biosourcés sur le territoire français compense la diminution des importations liées aux biocarburants. Les biocarburants avancés liquides et

(32) Le développement de ces cogénérations bois constitue un changement important à l'horizon 2050, par rapport à la situation actuelle en France, même si, par rapport à d'autres scénarios, notamment allemand, ces cogénérations ne représenteraient qu'une puissance modérée (5GW) par rapport au parc installé (de l'ordre de 200GW).

(33) Selon le scénario « sylviculture dynamique » de l'étude « Disponibilité forestière pour l'énergie et les matériaux à l'horizon 2035 », IGN-FCBA-Ademe (2016).

RESSOURCES BIOMASSE POUR LA PRODUCTION D'ÉNERGIE RENOUVELABLE



2035		Ressource utilisée	Utilisation de la biomasse				
Énergie primaire	*Mtep*		Combustion	Gazéification**	Méthanisation	Biocarburant	
	Comb. solides biosourcés*	15,1	14,7			0,4	
	Cultures et herbes	5,0			2,3	2,7	
	Résidus agricoles	2,7			1,9	0,9	
	Effluents d'élevage	0,9			0,9		
	Déchets***	1,2			0,8	0,4	
	Importations	2,8				2,8	
	TOTAL	**27,8**	**14,7**	**0,0**	**5,9**	**7,1**	
		Rendement	*86 %*		*69 %*	*53 %*	
		Prod finale nette	**12,6**	**0,0**	**4,1**	**3,8**	**soit 20,5**

2050		Ressource utilisée	Utilisation de la biomasse				
Énergie primaire	*Mtep*		Combustion	Gazéification**	Méthanisation	Biocarburant	
	Comb. solides biosourcés*	16,7	14,7	1,5		0,5	
	Cultures et herbes	5,7			3,8	1,9	
	Résidus agricoles	2,5			1,9	0,6	
	Effluents d'élevage	1,3			1,3		
	Déchets***	1,5			1,0	0,5	
	Importations	1,0				1,0	
	TOTAL	**28,6**	**14,7**	**1,5**	**8,0**	**4,5**	
		Rendement	*81 %*	*56 %*	*79 %*	*67 %*	
		Prod finale nette	**12,0**	**0,84**	**6,3**	**3**	**soit 22,1**

** Bois, produits connexes de scierie, déchets de bois et sous-produits industriels, plaquettes hors forêt.*
*** BtG.*
**** Ordures ménagères, déchets végétaux et boues de stations d'épuration.*

gazeux (de seconde génération, 2G) se substituent progressivement aux biocarburants de première génération à partir de 2035, jusqu'à ce que ces derniers disparaissent à l'horizon 2050 pour les usages routiers. 3 Mtep de biocarburants 2G sont ainsi produits en 2050.

Mais, comme souligné plus haut, les voies de valorisation énergétique de la biomasse restante dépendent d'arbitrages sur l'évolution conjointe des systèmes électriques, gaziers et des réseaux de chaleur.

> « Le rythme annuel d'installation de photovoltaïque, d'éolien terrestre et maritime, d'énergies marines est régulier, afin d'être compatible avec le développement de capacités industrielles nationales. »

C'est un scénario unique de valorisation de la biomasse, commun aux trois variantes de mix énergétique, qui est proposé ici. D'autres voies de valorisation – notamment guidées par l'objectif d'accroître la part renouvelable du gaz – sont à l'étude [34].

La quantité de combustibles solides utilisés en procédés de combustion (chaleur seule ou cogénération chaleur-électricité) est identique en 2035 et 2050 (14,7 Mtep). La part du bois utilisé dans le secteur domestique baisse de 7,4 Mtep à environ 6,5 Mtep à l'horizon 2030, sous l'effet de l'amélioration de l'efficacité des chaudières et de la performance énergétique des bâtiments. Mais on assiste, en parallèle, à un fort développement du bois utilisé dans les secteurs collectifs, tertiaires et industriels, avec un rythme de développement moyen de 217 ktep/an, entre 2015 et 2050. Ces installations produisent majoritairement de la chaleur seule jusqu'à 2030. Au-delà, avec la baisse des besoins de chaleur, elles basculent progressivement vers la cogénération (majoritaire en 2050).

Les potentiels de méthanisation de la biomasse étant encore largement inexploités aujourd'hui, on suppose l'installation de 400 méthaniseurs par an d'ici à 2035 (ce qui reste un rythme deux fois moindre qu'en Allemagne aujourd'hui), puis de 100 par an jusqu'en 2050 ; les ressources primaires mobilisées sont de 6 Mtep en 2035 et de 8 Mtep en 2050.

L'ÉVOLUTION DU SYSTÈME ÉLECTRIQUE

En s'inscrivant dans le prolongement des études précédentes de l'ADEME, le scénario électrique offre une vision ambitieuse de déploiement de sources renouvelables qui tient compte de l'information disponible sur les contraintes et potentiels d'installation, des possibilités de stockage, ainsi que des modélisations de l'équilibrage horaire et saisonnier entre l'offre et la demande réalisées dans des études précédentes [35]. La France est supposée interconnectée avec les pays voisins tout en ayant un solde exportateur annuel moyen considéré comme nul par hypothèse.

La diversité des technologies permet de combiner les profils de production, à la fois complémentaires et bien répartis sur le territoire. Les deux piliers de ce système sont l'énergie éolienne – majoritaire – et le photovoltaïque. Le pilotage de la demande – via le déploiement d'une seconde génération de compteurs communicants, facilitant le pilotage dynamique de certains usages (ballon d'eau chaude, chargement des véhicules électriques, etc.) – apporte une flexibilité journalière, complémentaire au stockage de court terme, permettant notamment d'absorber la production photovoltaïque.

Dans les trois variantes de mix électrique, le recours à la biomasse (méthanisation, cogénération) rend un service important au système en production en base tout en offrant une certaine flexibilité. Ces modes de production contribuent à hauteur de 11 % de la consommation finale d'électricité. La production électrique – notamment du surplus de production éolienne et photovoltaïque – permet une valorisation de 2 Mtep d'électricité pour générer 1,5 Mtep d'hydrogène injecté dans le réseau de gaz.

Le rythme annuel d'installation de photovoltaïque, d'éolien terrestre et maritime, d'énergies marines est régulier, afin d'être compatible avec le développement de capacités industrielles nationales. Il prend en compte le *repowering* des installations en fin de vie et il est compatible avec une estimation de poten-

(34) Une étude en cours envisage notamment l'hypothèse d'une production de gaz à 100 % de sources renouvelables.

(35) L'étude « Mix électrique 100 % renouvelable ? » étudie plusieurs mix électriques 80 % et 100 % renouvelables qui permettent d'assurer l'équilibre horaire entre l'offre et la demande. Ces éléments n'ont pas été remodélisés dans la présente étude.

tiels maximum théoriques. Cette estimation repose sur un examen de la qualité des gisements et des diverses zones d'exclusion existantes (éloignement des habitations, zones naturelles protégées, contraintes radar, couloirs d'aviation, orientation des toitures, etc.) [36].

Dans la variante « mix électrique à 80 % d'électricité renouvelable », le rythme d'installation d'éolien terrestre est de 1,5 GW par an sur la période 2015-2035, puis de 2,2 GW par an sur 2035-2050 (environ 2/3 de cette puissance correspondant à du *repowering* après 2035). Le gisement mobilisé à l'horizon 2050 est de l'ordre de 40 GW. Avec un rythme d'installation supérieur, cette puissance est portée à 55 GW dans la variante « mix électrique 90 % et power-to-gaz ». Et avec un rythme inférieur, elle atteint 23 GW dans la variante « 50 % d'électricité nucléaire ».

La puissance photovoltaïque déployée en 2050 est de 60 ou de 90 GW selon les deux variantes les plus ambitieuses en termes de pénétration des énergies renouvelables. Cela correspond à un rythme minimum de 1,6 GW/an de nouvelles installations, auxquelles s'ajoute le *repowering,* à hauteur de 0,6 GW/an entre 2025 et 2035, puis environ 1,6 GW/an après 2035 (pour un déploiement de 60 GW de photovoltaïque à 2050). L'ampleur et les rythmes sont moindres dans la troisième variante (20 GW en 2050). Les installations sur grandes toitures sont favorisées (par exemple dans les zones d'aménagement concerté à proximité des centres-villes), car elles permettent d'allier des gains d'économie d'échelle, tout en limitant les difficultés d'intégration au réseau.

Les deux variantes à 80 % et 90 % d'électricité d'EnR déploient aussi, sensiblement, des installations en mer. Les rythmes d'installation d'éolien sont de l'ordre de 0,4-0,6 GW par an, complété à partir de 2040 par le *repowering* des anciennes installations en proportion équivalente. En incluant une part d'éolien flottant, les capacités installées en 2050 sont de 15 à 21 GW. Le déploiement des énergies marines à horizon 2035 concerne principalement l'hydrolien. En 2050, les capacités en énergies marines atteignent 3 à 4 GW, dont 1 à 2 GW d'installations houlomotrices [37], ceci tenant compte de progrès technologiques pour cette technologie qui est aujourd'hui encore peu mature. Dans la variante « 50 % d'électricité nucléaire » ces potentiels sont moins exploités : en 2050, 2 GW d'éolien marin sont installés et 0,2 GW d'énergie marine.

Dans les variantes de mix électrique à 80 % et 90 % d'EnR, les capacités de stockage journalier et hebdomadaire sont renforcées pour assurer l'équilibre offre-demande sur le réseau. À l'horizon 2050, 2 GW supplémentaires de stations de transfert d'énergie par pompage sont installées (au total, 7 GW de STEP) et 6 GW de batteries. Dans le mix à 90 % EnR, des capacités additionnelles de stockage journalier sont mises en place (pour une capacité totale de 13 GW) ainsi que du stockage inter-saisonnier (6 GW permettant de stocker du méthane dans le réseau de gaz naturel). Le gaz produit pour le stockage inter-saisonnier s'ajoute, dans cette variante, à la valorisation plus importante de l'électricité renouvelable sous forme de gaz de synthèse (3 Mtep de méthane). Dans la variante à 50 % d'électricité nucléaire, la base nucléaire est suffisante pour gérer les variations saisonnières de demande. Elle permet de limiter très significativement le besoin total de stockage journalier et hebdomadaire (de l'ordre de 1 à 2 GW supplémentaire par rapport à la situation actuelle).

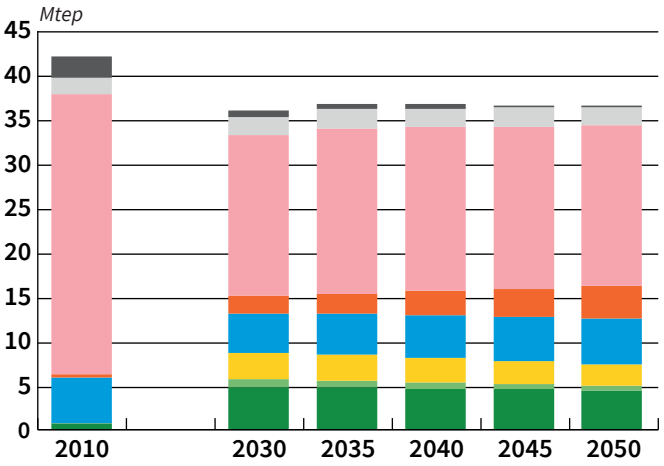
Le développement du réseau interrégional permet également d'intégrer les productions décentralisées et de mutualiser les potentiels entre les production et consommation, tant locales que nationales.

En ce qui concerne les évolutions des capacités de production conventionnelle (nucléaire et énergies fossiles), elles ont été estimées à chaque échéance temporelle pour combler la demande restante. Les caractéristiques propres à l'évolution des capacités non-renouvelables n'ont pas été décrites précisément. Ceci concerne notamment les caractéristiques de l'évolution du parc nucléaire (capacité unitaire, délais de construction, prolongation des centrales actuelles, etc.).

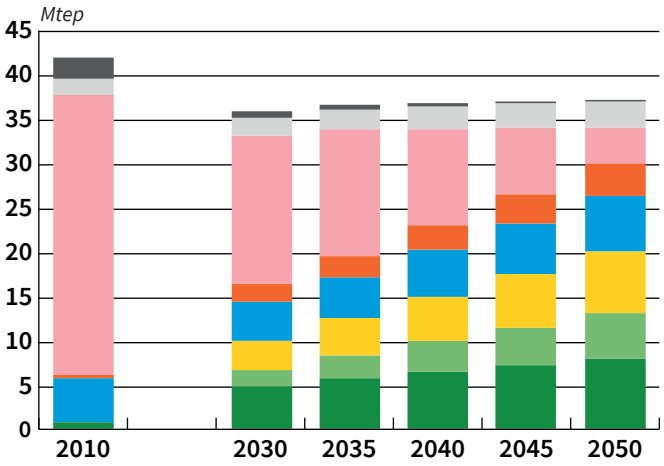
(36) Cette estimation des potentiels théoriques est détaillée dans l'étude « Mix Électrique 100 % renouvelable ? analyses et optimisations », ADEME, 2015.
(37) Le potentiel maximal d'hydrolien est estimé à 3 GW.

BILAN DE LA PRODUCTION NETTE D'ÉLECTRICITÉ PAR SOURCE D'ÉNERGIE

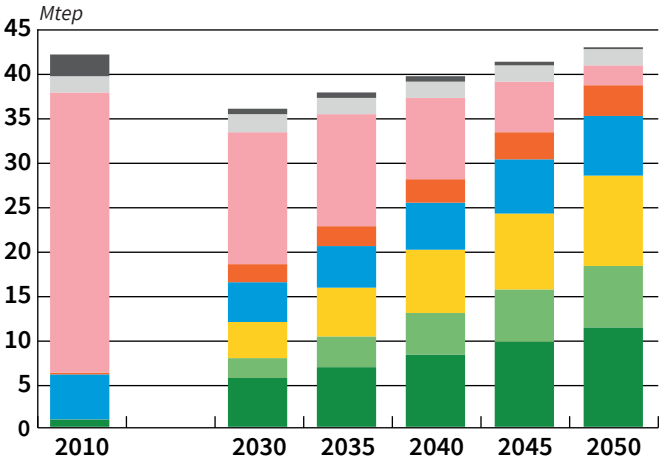
Mix à 50 % d'électricité nucléaire sur la période 2030-2050 (44 % d'électricité renouvelable en 2050)



Mix à 80 % d'électricité renouvelable en 2050



Mix à 90 % d'électricité renouvelable et power-to-gaz en 2050



** Bois, méthanisation (cogénération), incinération d'ordures ménagères, géothermie.*
*** Cogénération et centrales thermiques.*
**** Électricité industrielle et issue de gaz sidérurgique.*

Par rapport à l'objectif de la LTECV, appelant à réduire la part du nucléaire dans la production d'électricité à 50 % à l'horizon 2025, les variantes de mix électrique à 80 % et 90 % renouvelable aboutissent à une part du nucléaire inférieure à 40 % en 2035. Contrairement à la variante 50 % nucléaire en 2050, la substitution des sources d'énergie renouvelable au nucléaire se poursuit progressivement, la part du nucléaire atteint respectivement 11 % et 5 % en 2050.

Ces trois variantes dépassent l'objectif de 40 % d'EnR dans la production d'électricité en 2030 : en effet, la variante « 50 % d'électricité nucléaire » aboutit à 42 % d'EnR électrique en 2030, la variante « 80 % d'électricité renouvelable » à 46 %, et le scénario « 90 % d'électricité renouvelable et power-to-gaz » à 51 %.

LES GISEMENTS D'ÉNERGIES RENOUVELABLES UTILISÉES EN USAGE DIRECT

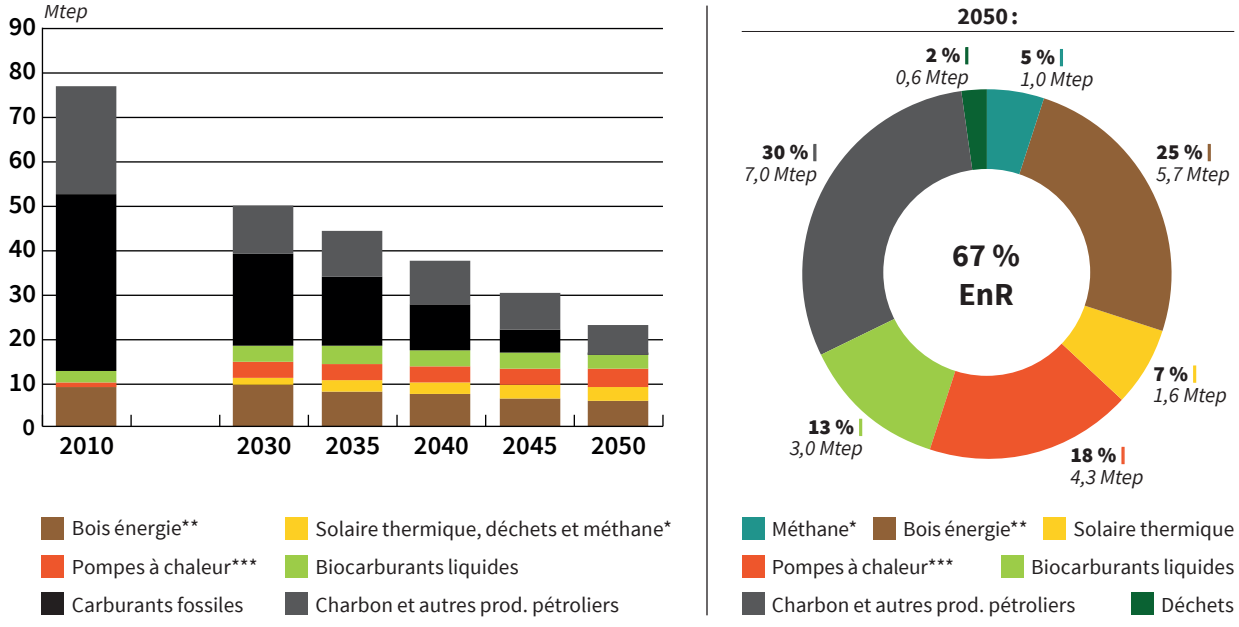
En 2050, les produits pétroliers et le charbon résiduels représentent environ un tiers des consommations en usages directs, alors que la consommation de carburants liquides d'origine fossile a été supprimée. Le taux d'EnR dans les usages directs est de 67 %.

> « Le taux d'énergies renouvelables dans les usages directs est de 67 % en 2050. »

La répartition et l'évolution des sources d'énergie utilisées en usage direct, c'est-à-dire hors réseau de chaleur, d'électricité ou de gaz, sont données dans le graphique suivant : une partie significative de la baisse des usages directs provient de la baisse du recours aux carburants fossiles dans les transports (auxquels ont été substitués des modes de transport électriques et au gaz notamment), ainsi qu'à la baisse du recours au charbon et aux autres produits pétroliers, notamment du fait des efforts d'efficacité énergétique et de substitutions dans le secteur de l'industrie.

Par rapport à l'objectif de la LTECV appelant à ce que *les énergies renouvelables représente[nt]* […] *15 % de la consommation finale de carburant en 2030,* les trois variantes de scénarios aboutissent à des taux similaires (18 % pour la variante 50 % d'électricité nucléaire, 19 % pour les deux autres variantes) en raison d'hypothèses identiques sur l'usage des biocarburants. En 2050, les différences sont plus marquées, puisque la mobilité est assurée par de l'électricité et du gaz et que les parts renouvelables de ces vecteurs d'énergie varient selon les variantes : la mobilité est assurée à 51 % par des énergies renouvelables dans la variante 50 % d'électricité nucléaire, et à respectivement 55 % et 60 %, dans les variantes à 80 % et 90 % d'électricité renouvelable.

BILAN DE LA PRODUCTION NETTE D'ÉNERGIE HORS RÉSEAUX (« USAGES DIRECTS ») IDENTIQUE DANS LES TROIS VARIANTES



** Biométhane en usages directs agricoles et industriels*
*** Usages domestiques, chaleur hors domestique, cogénération*
**** Géothermiques et aérothermiques*

LE MIX DE PRODUCTION DES RÉSEAUX DE CHALEUR

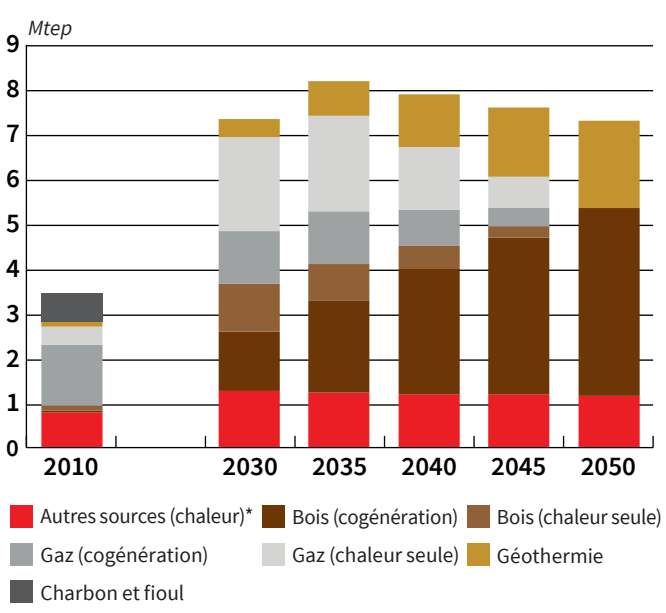
Les objectifs 2030 de développement de la chaleur correspondent au raccordement de 8 à 10 millions d'équivalents-logements (ils étaient un peu plus de deux millions en 2015). Les réseaux existants sont donc étendus, densifiés et de nouveaux se développent. Dans les logements collectifs et tertiaires, ces raccordements se font notamment en substitution des chaudières « en bas d'immeuble », fonctionnant au fioul.

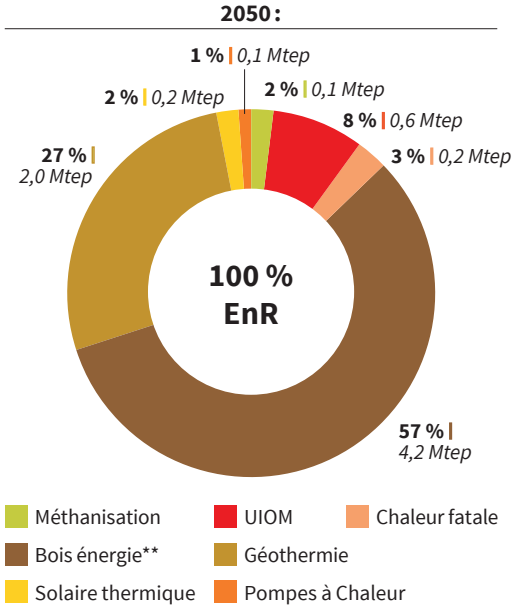
Sur les réseaux de chaleur, un fort recours au bois ainsi qu'une progression de la géothermie, permet d'atteindre un mix à 100 % d'énergie renouvelable et de récupération en 2050. La part d'énergie renouvelable, de 31 % en 2010, passe à 59 % en 2030, puis à 64 % en 2035, lors du pic de production. Après 2035, la réduction des usages thermiques des bâtiments se poursuivant, le niveau de demande baisse, malgré les nouveaux raccordements aux réseaux. Cette baisse de demande de chaleur s'accompagne d'un développement progressif des cogénérations bois (en substitution à la valorisation seule de la chaleur), permettant la valorisation d'une partie de l'énergie sous forme d'électricité.

Par rapport à l'objectif de la LTECV de porter à 38 % en 2030 la part des EnR dans la consommation finale de chaleur (réseau de chaleur et chauffage des bâtiments), les trois variantes aboutissent à un résultat proche (37 %). En 2050, cette part renouvelable de la chaleur est portée à 55 % dans les variantes « 50 % d'électricité nucléaire » et « 80 % d'électricité renouvelable », tandis qu'elle atteint 60 % dans la variante « 90 % d'électricité renouvelable et power-to-gaz », en raison de la production accrue de gaz de synthèse.

Ces mix électriques à forte pénétration d'EnR, ont conduit à proposer une mobilisation importante de la biomasse vers la production combinée de chaleur et d'électricité, à travers l'installation de 3,5 GW de cogénération, connectée aux 2 réseaux. Cette orientation permet à la fois de diversifier la production électrique de base et semi-base, et d'atteindre un taux très élevé d'EnR dans le mix de production de chaleur. Cet équilibre entre vecteurs est d'autant plus pertinent que le stockage de la chaleur permet à la cogénération de fonctionner lorsque le prix de l'électricité est le plus élevé [38], tout en assurant la production de chaleur au moment des pointes de demande.

BILAN DE LA PRODUCTION NETTE DE CHALEUR (INJECTÉE SUR RÉSEAUX) IDENTIQUE DANS LES TROIS VARIANTES





** Ordures ménagères (UIOM), chaleur fatale, pompes à chaleur, solaire thermique, bio-méthane hors réseau (cogénération)*
*** Production de chaleur seule ou cogénération*

(38) Ce mode de fonctionnement existe au Danemark et des démonstrateurs l'expérimentent en France. Ils ont fait l'objet d'une analyse récente (« Étude de valorisation du stockage thermique et du power-to-heat », ATEE Ademe, 2016).

LE SYSTÈME GAZIER

La méthanisation de la biomasse est la principale source de production de gaz renouvelable. L'injection de biogaz dans le réseau de gaz est l'option prioritaire retenue : entre 2035 et 2050, la part du biométhane produit qui est injectée sur le réseau de gaz, ou en injection portée, reste majoritaire et passe de 60 à 65 %.

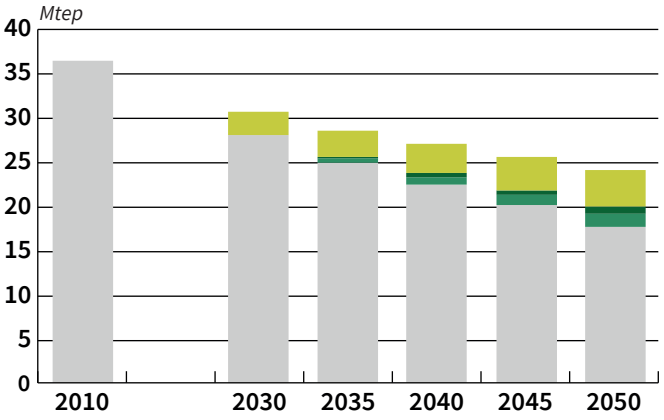
Une part d'hydrogène générée par électrolyse à partir d'électricité d'origine renouvelable est également injectée au réseau de gaz (1,5 Mtep). Cette quantité d'hydrogène peut être mélangée directement au gaz naturel si les points d'injection sur le réseau de gaz sont bien répartis [39].

À l'horizon 2050, le bois disponible ne servant pas à la production de chaleur et d'électricité est transformé en gaz par un procédé de gazéification (BtG) et injecté dans le réseau (0,8 Mtep en 2050).

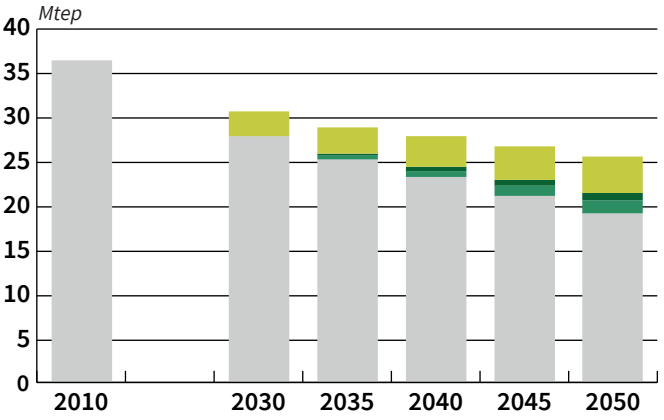
Le potentiel théorique maximal de génération de gaz de synthèse par méthanation est estimé entre 100 et 150 TWh de gaz (soit 9 à 13 Mtep) [40]. Le déploiement de la technologie de méthanation par procédé biologique peut

BILAN DE LA PRODUCTION NETTE DE GAZ INJECTÉ SUR LE RÉSEAU

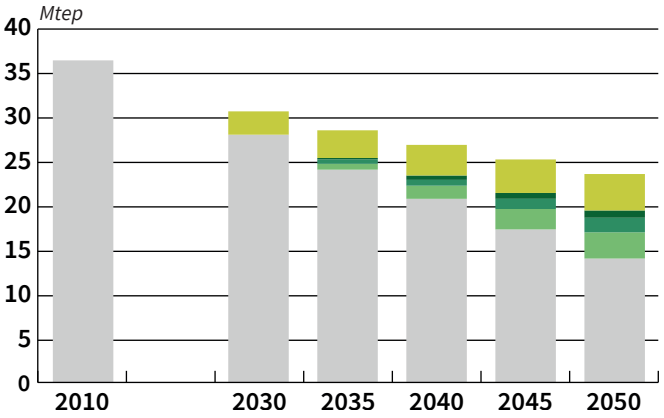
Mix à 50 % d'électricité nucléaire sur la période 2030-2050 ↔ mix à 27 % d'EnR dans le réseau de gaz

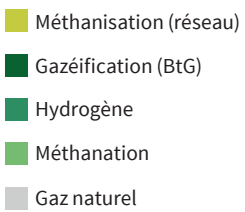


Mix à 80 % d'électricité renouvelable en 2050 ↔ mix à 25 % d'EnR dans le réseau de gaz



Mix à 90 % d'électricité renouvelable en 2050 ↔ mix à 40 % d'EnR dans le réseau de gaz





(39) Jusqu'à environ 6 % en volume d'hydrogène peut être mélangé au gaz naturel sur le réseau.
(40) Estimation réalisée dans l'étude « Un mix électrique 100 % renouvelable ? Quelles opportunités pour décarboner les systèmes gaz et chaleur », ADEME, octobre 2017.

réduire les coûts, mais la compétitivité de ces technologies dépend fortement des prix du gaz, comme de la hausse de la taxe carbone, ainsi que des services attendus pour la gestion des réseaux (flexibilité, réserve de capacité, etc.). Le niveau de maturité de ces technologies étant encore faible, la variante « 90 % d'électricité renouvelable et power-to-gaz » considère que leur développement reste limité (3 Mtep en 2050).

Dans la variante « 90 % d'électricité renouvelable et power-to-gaz », le méthane additionnel produit par méthanation se substitue au gaz naturel fossile qui alimente le reste des besoins. Une partie de la production renouvelable de gaz étant consommée directement, essentiellement sur les exploitations agricoles (cogénération, GNV pour engins agricoles – voir partie sur les usages directs), le taux d'énergie renouvelable du gaz injecté sur le réseau diffère du taux d'énergie renouvelable du gaz consommé. Cette variante aboutit à une part renouvelable dans le gaz consommé, comprise entre 35 et 50 % en 2050 (pour une part renouvelable dans le réseau de gaz évoluant entre 25 % et 40 %).

> « Au vu de la maturité des technologies et de leur évolution à l'horizon 2030 et 2050, les productions d'énergie renouvelables pénètrent plus rapidement sur les réseaux de chaleur et d'électricité, leur substitution aux carburants fossiles dans les transports étant plus progressive. »

Davantage de gazéification de la biomasse (Biomasse-to-gaz) pourrait accroître la quantité de biogaz, mais nécessiterait des arbitrages différents pour accroître ou réorienter les ressources en biomasse disponibles [41].

Par rapport à l'objectif de la LTECV de 10 % d'EnR dans la consommation de gaz en 2030 (soutiré du réseau ou en usage direct), les trois variantes proposées ici sont plus ambitieuses (16 %).

SYNTHÈSE DE L'ÉVOLUTION DE L'OFFRE D'ÉNERGIE

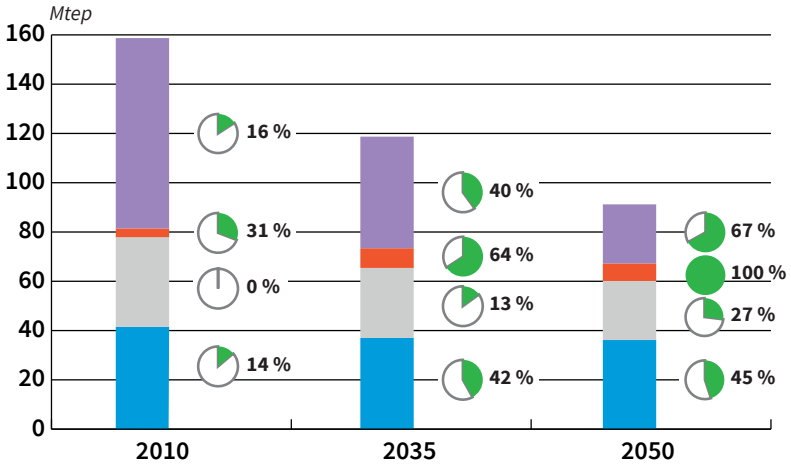
Le développement des sources d'énergies renouvelables, diversifiées, alimente les différents réseaux énergétiques dont l'équilibre change progressivement au cours de la période. Le recours aux vecteurs d'énergie (électricité, gaz et chaleur) se substitue aux usages directs de produits pétroliers dans les bâtiments et les transports. Pour produire ces vecteurs, des ressources renouvelables, essentiellement disponibles sur le territoire, se substituent aux ressources fossiles importées.

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 totale injectée sur le réseau de gaz diminue globalement sur la période. Les EnR progressent globalement pour l'ensemble des vecteurs énergétiques avec une pénétration accrue sur les réseaux de chaleur et le réseau électrique.

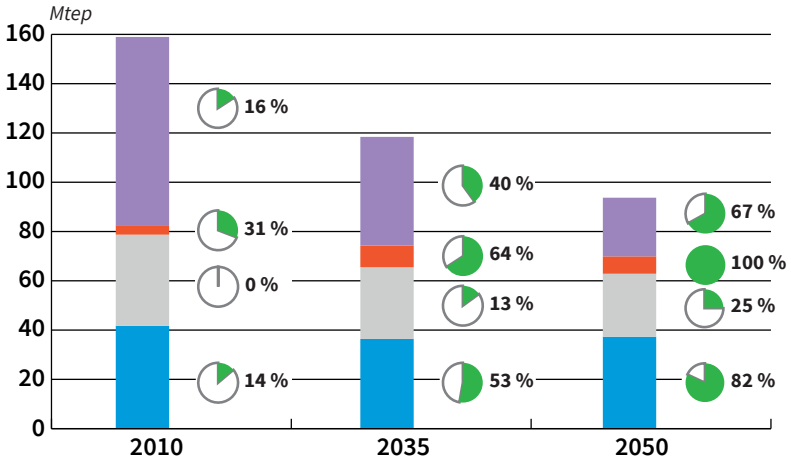
(41) L'analyse de cette possibilité fait l'objet d'une étude en cours d'un scénario de production de gaz issu à 100 % de sources renouvelables.

VECTEURS ÉNERGÉTIQUES, RÉSEAUX ET SOURCES RENOUVELABLES
(Le pourcentage et la part verte des camemberts donnent la part de production de gaz à 100 % de sources renouvelables)

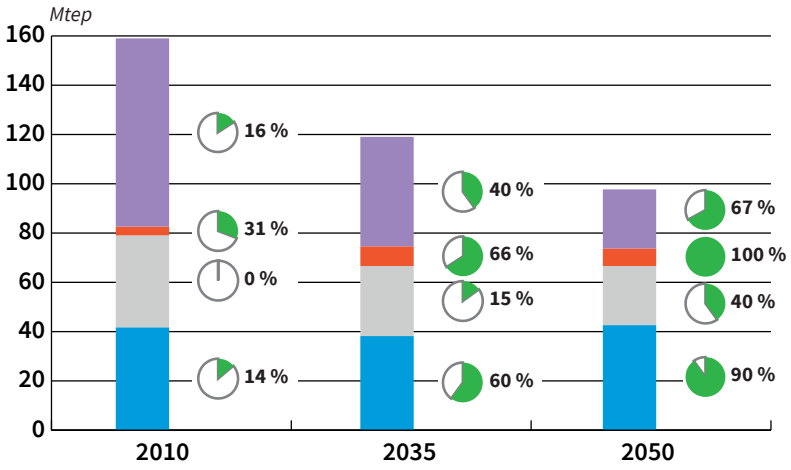
Mix à 50 % d'électricité nucléaire sur la période 2030-2050 – part EnR du mix énergétique : 34 % en 2035 et 46 % en 2050

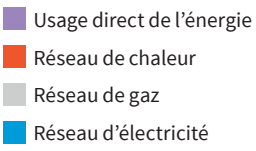


Mix à 80 % d'électricité renouvelable en 2050 – part EnR du mix énergétique : 39 % en 2035 et 60 % en 2050



Mix à 90 % d'électricité renouvelable et power-to-gaz en 2050 – part EnR du mix énergétique : 40 % en 2035 et 69 % en 2050



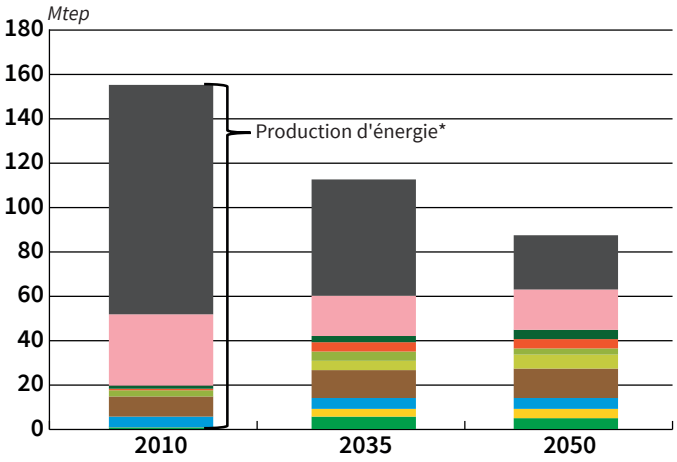


Ce scénario actualisé des « Visions énergétiques » permet d'atteindre les objectifs de la LTECV concernant :

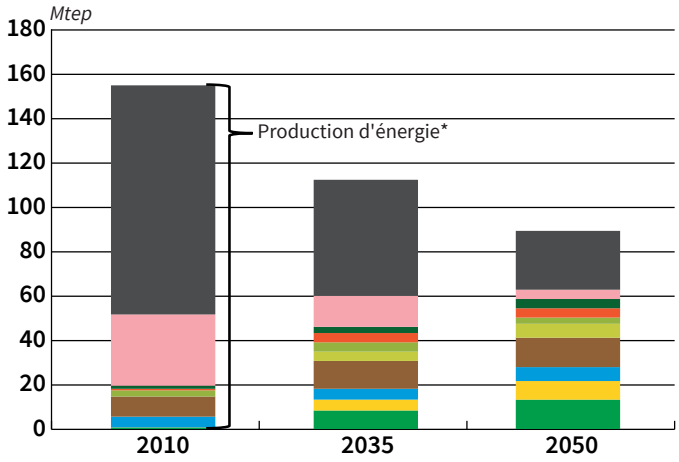
- la réduction de la consommation énergétique primaire des énergies fossiles de 30 % en 2030 par rapport à la référence 2012 : on atteint 42 % de baisse pour chacune des variantes,
- l'ambition de porter la part des énergies renouvelables à 23 % de la consommation finale brute d'énergie en 2020 et à 32 % en 2030 : on atteint 33 % et 34 % en 2030 dans les variantes de mix électrique à 80 % et 90 % de renouvelables, mais seulement 31 % dans la variante où la part du nucléaire est maintenue à 50 % après 2025.

PRODUCTION D'ÉNERGIE À PARTIR DE SOURCES PRIMAIRES RENOUVELABLES ET NON RENOUVELABLES

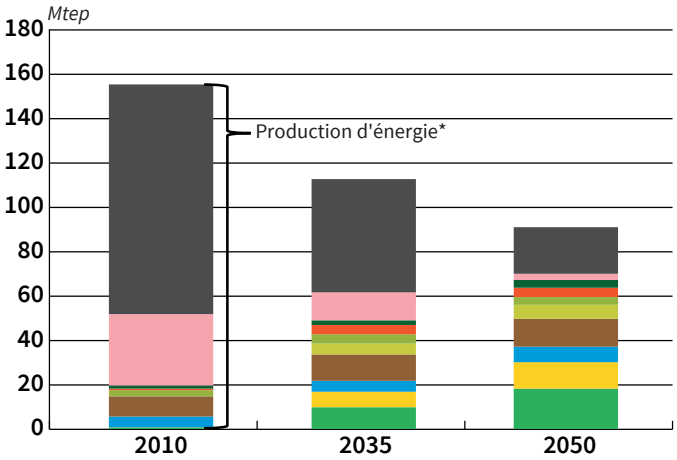
Mix à 50 % d'électricité nucléaire sur la période 2030-2050 – part EnR du mix énergétique : 34 % en 2035 et 46 % en 2050



Mix à 80 % d'électricité renouvelable en 2050 – part EnR du mix énergétique : 39 % en 2035 et 60 % en 2050



Mix à 90 % d'électricité renouvelable et power-to-gaz en 2050 – part EnR du mix énergétique : 40 % en 2035 et 69 % en 2050



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

ÉVOLUTION DES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE

L'exercice comptabilise les émissions de dioxyde de carbone (CO_2), de méthane (CH_4) et de protoxyde d'azote (N_2O) sur le territoire de la France métropolitaine. Les émissions issues des territoires d'outre-mer, du trafic maritime et aérien international, les émissions d'hydrocarbures halogénés, et le bilan net de l'usage des terres et de la gestion forestière (UTCATF [42]) ne sont pas pris en compte.

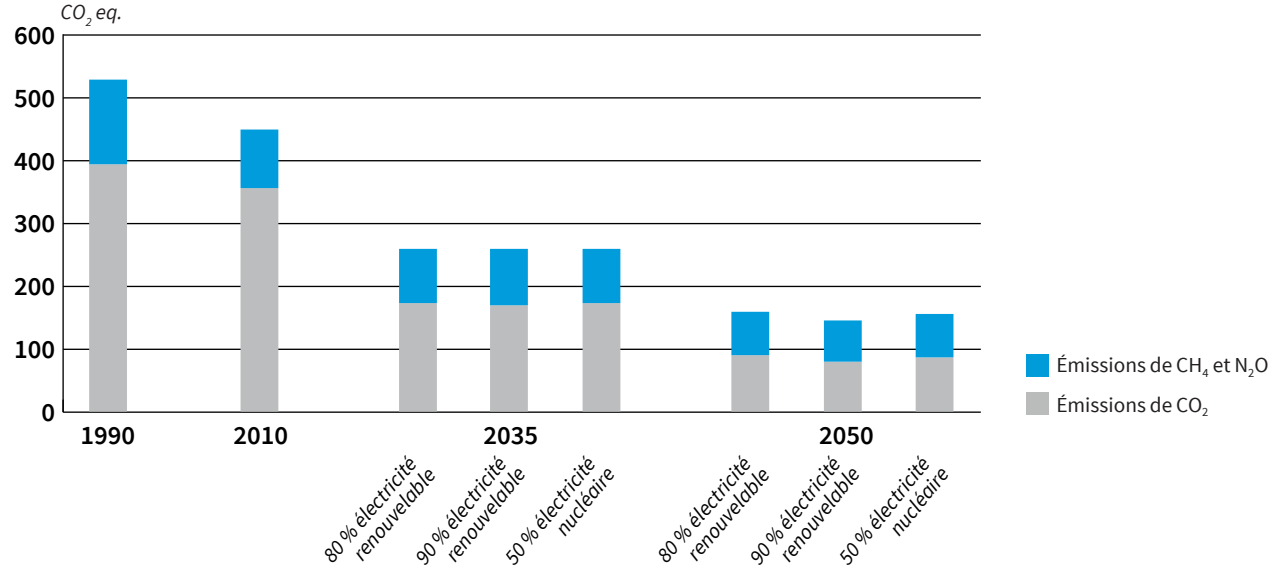
Les émissions proviennent de la combustion d'énergies fossiles [43] pour les usages finaux et la transformation d'énergie, ainsi que des processus de production industrielle et agricole.

L'impact en tonnes CO_2 eq dépend des variantes de mix électrique : il varie entre une réduction de 70 à 72 % des émissions, par rapport à leur niveau de 1990.

L'objectif de la LTECV de réduire les émissions de gaz à effets de serre de 40 % entre 1990 et 2030 et de diviser par quatre les émissions de gaz à effet de serre entre 1990 et 2050 n'est ainsi pas tout à fait atteint. Pour dépasser l'ensemble des objectifs ambitieux de la LTECV 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 en étudiant des scénarios où se développeront des modes de production, de consommation et d'organisation de l'espace, plus en rupture avec ceux actuels : des scénarios de ruptures technologiques (stockage et séquestration du carbone, forte pénétration des équipements à hydrogène, mutation numérique des transports et des équipements énergétiques, etc.), ou de ruptures socio-économiques (effets de l'évolution des modes de vie sur la consommation et les déplacements).

> « Les émissions en tonnes CO_2 équivalent sont réduites de 70% à 72% par rapport à 1990. »

ÉMISSIONS DE LA FRANCE CONTINENTALE (HORS UTCATF ET AÉRIEN INTERNATIONAL)



(42) Utilisation de Terres, Changement d'Affectation de Terres et Foresterie.
(43) Ce calcul utilise les facteurs d'émission Ademe en vigueur.

BILAN DES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE EN $MtCO_2$ EQ

Mix à 50 % d'électricité nucléaire sur la période 2030-2050 – part EnR du mix énergétique : 34 % en 2035 et 46 % en 2050

		2035				2050			
Secteurs		**CO_2**	**CH_4**	**N_2O**	**Total**	**CO_2**	**CH_4**	**N_2O**	**Total**
Industrie									
	Combustion	43,5			**43,5**	30,1			**30,1**
	Procédés	21,0		2,4	**23,4**	20,7		2,8	**23,5**
Résidentiel									
	Combustion	15,3			**15,3**	7,2			**7,2**
	Autres		0,6	1,1	**1,6**		0,1	1,1	**1,2**
Tertiaire									
	Combustion	7,8			**7,8**	1,4			**1,4**
	Autres				**0,0**				**0,0**
Transports									
	Combustion	54,2			**54,2**	14,2			**14,2**
	Autres			0,5	**0,5**			0,0	**0,0**
Agriculture									
	Combustion	3,3			**3,3**	1,3			**1,3**
	Autres		42,0	29,0	**71,0**		33,0	25,0	**58,0**
Production d'énergie		24,2	0,5		**24,7**	10,2	0,2		**10,4**
Déchets		1,4	10,5	1,3	**13,2**	0,7	5,3	0,6	**6,6**
Solvants		1,0			**1,0**	0,5			**0,5**
Total		**171,7**	**53,5**	**34,2**	**259,4**	**86,4**	**38,6**	**29,5**	**154,5**

Unité : millions de tonnes d'équivalent CO_2.

Mix à 80 % d'électricité renouvelable en 2050 – part EnR du mix énergétique : 39 % en 2035 et 60 % en 2050

		2035				2050			
Secteurs		**CO_2**	**CH_4**	**N_2O**	**Total**	**CO_2**	**CH_4**	**N_2O**	**Total**
Industrie									
	Combustion	43,5			**43,5**	30,3			**30,3**
	Procédés	21,0		2,4	**23,4**	20,7		2,8	**23,5**
Résidentiel									
	Combustion	15,4			**15,4**	7,4			**7,4**
	Autres		0,6	1,1	**1,6**		0,1	1,1	**1,2**
Tertiaire									
	Combustion	7,8			**7,8**	1,4			**1,4**
	Autres				**0,0**				**0,0**
Transports									
	Combustion	54,2			**54,2**	14,5			**14,5**
	Autres			0,5	**0,5**			0,0	**0,0**
Agriculture									
	Combustion	3,3			**3,3**	1,3			**1,3**
	Autres		42,0	29,0	**71,0**		33,0	25,0	**58,0**
Production d'énergie		25,0	0,5		**25,5**	13,0	0,2		**13,3**
Déchets		1,4	10,5	1,3	**13,2**	0,7	5,3	0,6	**6,6**
Solvants		1,0			**1,0**	0,5			**0,5**
Total		**172,6**	**53,5**	**34,2**	**260,3**	**89,9**	**38,6**	**29,5**	**158,1**

Unité : millions de tonnes d'équivalent CO_2.

Mix à 90 % d'électricité renouvelable et power-to-gaz en 2050 – part EnR du mix énergétique : 40 % en 2035 et 69 % en 2050

		2035				2050			
Secteurs		**CO_2**	**CH_4**	**N_2O**	**Total**	**CO_2**	**CH_4**	**N_2O**	**Total**
Industrie									
	Combustion	43,5			**43,5**	28,0			**28,0**
	Procédés	21,0		2,4	**23,4**	20,7		2,8	**23,5**
Résidentiel									
	Combustion	15,3			**15,3**	5,9			**5,9**
	Autres		0,6	1,1	**1,6**		0,1	1,1	**1,2**
Tertiaire									
	Combustion	7,8			**7,8**	1,2			**1,2**
	Autres				**0,0**				**0,0**
Transports									
	Combustion	54,2			**54,2**	11,7			**11,7**
	Autres			0,5	**0,5**			0,0	**0,0**
Agriculture									
	Combustion	3,3			**3,3**	1,2			**1,2**
	Autres		42,0	29,0	**71,0**		33,0	25,0	**58,0**
Production d'énergie		23,5	0,4		**23,9**	8,1	0,2		**8,3**
Déchets		1,4	10,5	1,3	**13,2**	0,7	5,3	0,6	**6,6**
Solvants		1,0			**1,0**	0,5			**0,5**
Total		**170,9**	**53,5**	**34,2**	**258,6**	**78,0**	**38,5**	**29,5**	**146,0**

Unité : millions de tonnes d'équivalent CO_2.

> Pour se mettre dans une perspective ambitieuse de neutralité carbone en cohérence avec l'accord de Paris, de nouveaux leviers sont à explorer pour proposer des scénarios plus en rupture (technologiques, socio-économiques).

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. Ceci concerne plus particulièrement la mise en œuvre d'une stratégie de rénovation adaptée au parc de bâtiments existants, ainsi qu'une transition profonde dans les transports. À ce sujet, les annonces du plan Climat du Ministre de la Transition écologique et solidaire, Nicolas Hulot, vont déclencher de nouveaux travaux afin de préciser les mesures à mettre en œuvre, susceptibles de réduire rapidement et de façon majeure le nombre de véhicules fonctionnant aux énergies thermiques carbonées. Dans les secteurs agricole et industriel, l'adoption des évolutions technologiques permettant la baisse des consommations énergétiques doit être amplifiée (valorisation des énergies fatales, remplacement d'équipements, développement du numérique).

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 variantes de mix énergétique sont en effet envisageables, étant donné les potentiels techniques de production de gaz issu d'énergies renouvelables ainsi que les capacités de distribution du réseau gazier. 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.**

> « 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. »

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