



ASSOCIATION
négaWatt

Scénario négaWatt 2017-2050

Dossier de synthèse



Sommaire

Un nouveau scénario...	3
Les 12 points-clés du scénario négaWatt 2017-2050	4
01. L'urgence de l'action	6
Une transition énergétique trop timidement en marche, un nouveau scénario pour le temps de l'action	
02. Un scénario systémique	10
Les principes et la méthodologie du scénario, pour une trajectoire ambitieuse et réaliste	
03. Des orientations renforcées	14
Une application systématique de la démarche négaWatt dans tous les secteurs de consommation et de production de l'énergie	
04. Bilan global du scénario	27
La sobriété et l'efficacité pour une mutation du système vers 100 % d'énergies renouvelables, et un avenir décarboné	
05. Maîtrise des impacts et des risques	35
Un scénario luttant contre le changement climatique, réduisant la pollution et renforçant la sécurité énergétique	
06. Bénéfices et mise en œuvre	40
Les impacts socio-économiques, les implications territoriales et internationales	
Qui sommes-nous ?	47

Un nouveau scénario

Depuis la publication du premier scénario négaWatt en 2003 et des suivants en 2006 et 2011, le contexte économique, technologique et énergétique a considérablement évolué. La transition énergétique, que ces scénarios ont été parmi les premiers à décrire puis à nommer ainsi, est aujourd'hui engagée. La loi votée en juillet 2015 pour en préciser les orientations inscrit même les principes fondateurs de la démarche négaWatt – sobriété, efficacité énergétique et développement des énergies renouvelables – dans le Code de l'énergie.

Du Grenelle de l'environnement en 2007 au Débat national sur la transition énergétique de 2013, les travaux de l'Association négaWatt ont accompagné toutes les étapes de cette progression. Ils ont sans conteste contribué à faire émerger, par exemple, la nécessité d'un vaste programme de rénovation énergétique des bâtiments, la faisabilité – cruciale après le choc de Fukushima – d'un avenir électrique sans nucléaire, l'importance d'une articulation entre énergie, agriculture et alimentation, ou encore les voies d'une mobilité sans pétrole. Avec toujours en filigrane le cadre d'objectifs ambitieux de lutte contre le changement climatique.

À la lumière de ces travaux, le constat est triple ; tout d'abord, les crises multiples de l'énergie et du climat, qui sont au centre du projet de transformation soutenable du système énergétique porté par l'Association négaWatt, deviennent chaque jour plus aiguës au niveau national comme international, renforçant l'urgence de l'action ; ensuite, cette action reste justement, en France comme dans le monde, insuffisante en regard des enjeux et des objectifs nécessaires de transformation à long terme ; enfin, en contrepoint, l'engagement d'un nombre croissant d'acteurs, ainsi que l'évolution des connaissances, des technologies et des pratiques, renforcent chaque jour la possibilité concrète de ces transformations.

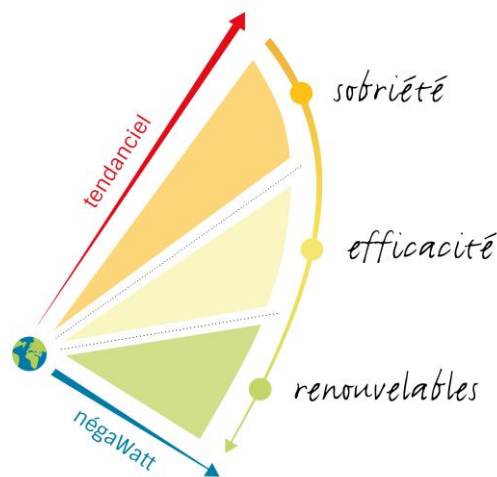
C'est dans ce contexte, fort de la convergence croissante de son approche avec celles d'autres exercices prospectifs en France et nourri des échanges noués au niveau européen et international avec d'autres porteurs de scénarios dans le mouvement de la COP21, que ce quatrième scénario négaWatt a été produit. Comme les précédents, il obéit à un triple objectif :

- revoir et consolider la trajectoire présentée, en actualisant les données et les connaissances pour renforcer le réalisme des orientations proposées et en approfondissant l'analyse systémique de ses ressorts et de ses impacts pour mieux en montrer la cohérence, la robustesse et l'opportunité ;
- interpeler sur cette base les décideurs politiques et économiques pour contribuer à l'orientation positive et ambitieuse de leurs propositions et de leurs décisions futures ;
- donner plus largement aux collectivités, aux acteurs économiques et à la société civile des clés de lecture facilitant la mise en œuvre des actions nécessaires à la transition énergétique dont ils tireront de nombreux bénéfices.

Dans la droite ligne de ses prédécesseurs, le scénario négaWatt 2017-2050 est un exercice riche et complexe. La présente synthèse ne saurait faire le tour des questions qui se posent déjà et ne manqueront pas se poser à l'avenir.

Elle en présente toutefois l'essentiel, depuis les points forts de ce nouveau scénario jusqu'à ses impacts environnementaux et socio-économiques, en passant par sa méthodologie et l'explication de son contenu sur la demande et l'offre d'énergie.

Cet exercice collectif, aussi prenant que passionnant pour ses auteurs, n'a d'autre but que de contribuer à un monde apaisé et plus sûr, en portant avec confiance le message de la nécessité, de la faisabilité et de l'opportunité d'engager enfin, au bon niveau et à la bonne vitesse, la transition énergétique.



Les 12 points-clés du scénario négaWatt 2017-2050

Après l'adoption de la loi pour la transition énergétique et la croissance verte en 2015 puis l'Accord de Paris sur le climat signé en 2016, la France est désormais engagée dans la transition énergétique et dans la lutte contre le changement climatique. Si l'action reste insuffisante et rencontre de nombreuses résistances, elle peut en revanche s'appuyer sur la mobilisation croissante d'acteurs de plus en plus nombreux de la société.

C'est dans ce contexte que s'inscrit, cinq ans après le précédent, le nouveau scénario de l'Association négaWatt.

1. Un constat majeur : la courbe de la consommation s'est inversée

La consommation d'énergie est orientée à la baisse depuis quelques années dans l'ensemble des pays de l'OCDE. Pour la France la courbe de consommation rejoint de fait celle tracée par le scénario négaWatt dès 2003.

Cette baisse affecte également les émissions de gaz à effet de serre, non seulement celles mesurées sur le territoire national mais aussi celles contenues dans nos importations : le phénomène n'est pas lié à la crise de 2008-2009 ni à un mouvement de délocalisation, il est bien structurel et non conjoncturel.

2. La sobriété et l'efficacité sont les clés de l'inflexion de la demande

Grâce aux actions de sobriété et d'efficacité qui se traduisent par la suppression des gaspillages, la consommation d'énergie finale en 2050, au terme du scénario négaWatt 2017, est réduite de moitié et l'énergie primaire de 63 %, tout en maintenant un haut niveau de services. Ce résultat est obtenu grâce à la maîtrise du dimensionnement, du nombre et de l'usage de nos appareils et équipements, au développement d'une mobilité "servicielle", à un programme ambitieux de rénovation énergétique des bâtiments et à une occupation plus raisonnée de l'espace.

3. Une confirmation : le "100% renouvelables" est possible dès 2050

Il est possible de couvrir la totalité des besoins énergétiques de la France par des sources renouvelables à l'horizon 2050. La biomasse solide reste la première source de production d'énergie renouvelable, suivi de très près par l'éolien puis le photovoltaïque, lui-même suivi de très près par le biogaz. Les énergies fossiles importées ne servent plus qu'à des usages non énergétiques. Le fonctionnement des 58 réacteurs nucléaires actuels n'étant pas prolongé au-delà de la quatrième visite décennale (environ 40 ans), le dernier d'entre eux est arrêté en 2035.

4. Zéro émissions nettes en 2050 : la France devient neutre en carbone

Le couplage des scénarios négaWatt et Afterres2050 montre que les émissions nettes de gaz à effet de serre, toutes sources confondues, deviennent nulles en 2050 : les « puits de carbone » agricoles et forestiers compensent alors les émissions résiduelles, principalement dues à l'agriculture. Par la suite, la quantité de carbone stockée finit par plafonner, et la fonction puits de carbone se réduit progressivement sur la période 2050-2100.

5. Gaz et électricité, une complémentarité incontournable

Les vecteurs gaz et électricité voient leur part augmenter de manière concomitante, au détriment notamment des carburants liquides, pour représenter en 2050 plus de 70 % de la consommation d'énergie finale. Capables de couvrir une très grande part de nos usages, ces deux vecteurs sont d'évidence complémentaires et non concurrents. La valorisation et le stockage possible des excédents d'électricité renouvelable sous forme de méthane de synthèse (power-to-gas) est l'une des clés de voûte du système énergétique de 2050.

6. L'agriculture et la forêt jouent un rôle majeur

Couplé au scénario négaWatt, le scénario Afterres2050 montre également que l'agriculture et la forêt jouent un rôle majeur sur le climat, à la croisée des enjeux climatiques et énergétiques, par la fourniture de ressources renouvelables, le stockage de carbone et la réduction des gaz à effet de serre. Le triptyque négaWatt appliqué au système alimentaire démontre ici aussi toute sa pertinence : sobriété dans la consommation, efficacité des modes de production, utilisation et production de ressources renouvelables.

7. L'économie circulaire, moteur du nouveau industriel

Pour répondre à l'évolution des besoins, l'industrie doit réorienter ses productions vers des biens et équipements plus durables, **loin de la surconsommation actuelle**, et veiller au contenu de ses produits en énergie grise et en matériaux. En développant les filières de réparation, de recyclage et de récupération, il est possible de diviser par deux les quantités de matières premières consommées, y compris en prenant en compte le développement des énergies renouvelables qui offrent par ailleurs de nouvelles opportunités pour l'industrie.

8. Des bénéfices multiples pour la santé et l'environnement

Le scénario négaWatt améliore très significativement la qualité de l'air, de l'eau et des sols ainsi que la biodiversité avec des conséquences positives majeures sur la santé publique. Il rend notre air bien plus sain par la quasi-suppression des particules émises par les combustibles et carburants (remplacés par du **méthane**), par l'utilisation d'équipements de combustion performants pour la biomasse et par une forte diminution des émissions d'ammoniac agricole.

9. La transition énergétique, un bienfait pour l'économie et l'emploi

Le scénario négaWatt s'avère globalement moins coûteux que le scénario tendanciel, même en considérant un prix des énergies importées stable. Il est aussi nettement plus riche en emplois : la transition énergétique crée pas moins de 400.000 emplois nets d'ici 2030, confirmant les analyses antérieures.. La société française devient ainsi plus résiliente face à d'éventuels chocs extérieurs tels que, par exemple, une crise géopolitique entraînant une rupture d'approvisionnement ou une hausse soudaine du prix du baril.

10. Une France plus solidaire et plus responsable.

La mise en œuvre de la sobriété, de l'efficacité et du développement des énergies renouvelables apporte à tous les territoires, ruraux comme urbains, de l'activité et des richesses qui permettent de construire à terme un paysage énergétique réparti plus équitablement : elle permet notamment de réduire très fortement le nombre de personnes en situation de précarité énergétique.

À l'international, la France envoie un triple message : de responsabilité en prenant toute sa part de l'effort climatique, d'exemplarité en contribuant à l'émergence d'un nouveau modèle de développement et enfin de solidarité vis-à-vis des pays où la croissance de la consommation d'énergie reste une nécessité.

11. Il n'y a plus de temps à perdre

Il ne faut ni attendre de grand soir énergétique, ni se contenter de gadgets : la priorité pour les 5 ans à venir est à la mise en œuvre des lois et mesures décidées durant les deux quinquennats précédents, mais dont le rythme d'application est très insuffisant. Une réelle volonté réelle d'agir doit se manifester clairement et à toutes les échelles, entre continuité des engagements et nouveaux trains de mesures. Le combat pour le climat n'est pas perdu, mais chaque année d'atermoiements obère notre avenir énergétique et climatique.

12. Le scénario négaWatt, une boussole et un tempo pour agir

Partout dans les territoires, des acteurs de toutes natures, citoyens, entrepreneurs, élus se sont déjà engagés concrètement pour construire un nouveau paysage énergétique.

À ceux-là et à tous les autres qui, toujours plus nombreux, leur emboîtent le pas, le scénario négaWatt offre une trajectoire et un rythme pour guider l'action : à tous, nous disons de s'en saisir pour réussir la transition énergétique, notre immense et vital chantier pour la première moitié de ce siècle.

01.

L'urgence de l'action

Plus de cinq années séparent le scénario négaWatt 2017-2050 de son prédécesseur. Si cela justifie en soi une actualisation, celle-ci trouve des motivations plus profondes dans les mutations qui sont à l'œuvre, en France comme dans le monde. Dans la course de vitesse entre signaux de plus en plus manifestes de l'urgence et motifs de plus en plus nombreux d'espoir, le scénario négaWatt s'inscrit résolument dans un appel à l'action.

1.1. Une inquiétude croissante

L'accélération de la transition énergétique devient chaque jour plus nécessaire. Entre changement climatique, tensions liées aux ressources énergétiques et aggravation des risques sanitaires et technologiques, le poids des choix du passé est de moins en moins supportable.

Les déstabilisations liées au changement climatique

Ce constat s'appuie d'abord sur l'augmentation du nombre et de la gravité des phénomènes liés au changement climatique. Le record de l'année la plus chaude jamais enregistrée battu d'une année sur l'autre, ou la fonte à un rythme de plus en plus rapide de la banquise arctique sont deux signes parmi d'autres d'une probable accélération, voire d'un risque d'emballement des dérèglements. La situation actuelle dépasse, à bien des égards, les prévisions les plus pessimistes établies par les experts du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC).

L'actualité récente nous le montre : cette évolution a des conséquences dramatiques. Les phénomènes de sécheresse, les inondations, les tempêtes et les ouragans affectent avant tout les conditions de vie des populations les plus pauvres et les plus vulnérables. Dans le Pacifique, la montée prévisible des eaux pourrait imposer aux habitants de certaines îles de quitter la terre de leurs ancêtres, et dans de multiples régions, les migrants climatiques sont déjà une réalité. Au Proche-Orient, la pire sécheresse enregistrée depuis plusieurs siècles dans le Croissant Fertile – berceau mondial de l'agriculture et de la civilisation eurasiatique il y a plus de 10 000 ans – est sans aucun doute l'un des facteurs déclenchants de la révolte de 2011 en Syrie et de la guerre qui, depuis, ensanglante depuis ce pays et menace de se propager au-delà.

La dépendance aux ressources fossiles

Cette région n'en finit pas, après la succession de conflits, en Irak ou ailleurs, liés aux immenses réserves pétrolières qu'elle recèle, de payer un très lourd tribut à l'appétit insatiable du "monde moderne" pour l'or noir. Les manifestations néfastes de notre dépendance persistante aux hydrocarbures fossiles n'ont, elles non plus, pas manqué ces dernières années.

Lors de la crise ukrainienne ouverte en 2014, la Russie a par exemple fait la démonstration de l'influence qu'elle exerce sur les Européens à travers leur approvisionnement en gaz fossile. De l'autre côté de l'Atlantique, le rêve nord-américain de s'affranchir des fournisseurs étrangers grâce aux gaz et huiles de schiste et aux sables bitumineux a viré au cauchemar environnemental et à l'absurdité économique, y compris dans ses répercussions sur le marché européen, où il a engendré un rebond temporaire du charbon au détriment du gaz naturel pour la production d'électricité. Alors même que les enjeux climatiques devraient nous conduire à laisser ces ressources dans le sous-sol, l'arrivée au pouvoir aux États-Unis d'un Président ouvertement favorable à la relance de l'industrie du pétrole et même du charbon nous dit malheureusement que cette histoire n'est pas finie.

Les impacts sanitaires et les risques technologiques

À quelques milliers de kilomètres de là, c'est encore le charbon qui, en plus d'émettre des quantités phénoménales de gaz à effet de serre, rend l'atmosphère des villes chinoises irrespirable au point de susciter des mouvements de révolte dans la population et d'entraîner des mesures de plus en plus drastiques de lutte contre cette pollution à la fois locale et globale.

Chez nous, le long épisode de pollution urbaine de l'automne/hiver 2016-2017, qui a suivi de peu le scandale du "Dieselgate", a mis en évidence l'irresponsabilité conjointe de l'industrie automobile et des autorités politiques et administratives censées les contrôler. En 2014, l'Organisation mondiale de la santé (OMS) a révisé

à la hausse ses évaluations de 2001 : un huitième des décès dans le monde est attribuable à la pollution de l'air, dont 48 000 par an dans notre pays.

Au chapitre des risques technologiques, le monde n'a heureusement pas connu de nouvelle catastrophe de l'ampleur de celle de Fukushima. Toutefois, loin de répondre à sa promesse de fournir massivement l'énergie décarbonée dont le monde a besoin, le nucléaire est en déclin. En France, il est en crise profonde : entre aventures ruineuses à l'étranger, faillite de fait des acteurs industriels, perte durable de compétitivité, problèmes majeurs de qualité et découverte de falsifications graves, la sûreté des installations nucléaires vieillissantes n'a peut-être jamais été autant sujette à caution.

1.2. Des raisons d'espérer

L'accélération de la transition énergétique devient en même temps chaque jour plus réaliste. Face à cette accumulation d'événements et d'informations anxiogènes, il y a en effet suffisamment de bonnes nouvelles pour accréditer de manière de plus en plus solide la faisabilité d'une ambition telle que celle portée par le scénario négaWatt.

Une mobilisation de plus en plus large

Malgré ses limites, la COP21 a incontestablement marqué un tournant majeur dans la mobilisation de la communauté internationale autour des enjeux climatiques, et dans la prise de conscience de l'urgence à agir. L'Accord de Paris entérine notamment l'idée d'un "budget carbone mondial" à ne pas dépasser pour rester à terme sous les 1,5 ou 2°C d'augmentation de la température moyenne, ouvrant la voie à des réflexions nécessaires, même si elles sont difficiles, sur les moyens d'atteindre cet objectif. À l'appui de cette vision, des exercices prospectifs de plus en plus radicaux fleurissent dans de nombreux pays.

Des scénarios ambitieux par dizaines

D'abord relativement isolées à l'image du scénario négaWatt en France en 2011, les visions prospectives d'une transition énergétique très ambitieuse se sont multipliées ces dernières années. Ces scénarios émanent aussi bien d'agences publiques que de grands acteurs économiques et financiers, de structures universitaires que d'ONG. Au-delà des différences d'approche et de méthode, et malgré la diversité des options techniques qu'ils favorisent, leur convergence est remarquable sur deux aspects essentiels.

Le premier est la mise en évidence de l'importance et du caractère central des potentiels de maîtrise de la consommation d'énergie. De nombreux scénarios confirment ainsi la possibilité de réduire à terme de moitié la quantité d'énergie nécessaire à la satisfaction des besoins économiques et sociaux dans les pays développés. Partout, cette action sur la demande est vue comme incontournable pour accélérer la transition de la production d'énergie vers des sources renouvelables.



Exemples de scénarios ambitieux, en Europe et dans le monde

Le second concerne justement la confiance croissante dans un avenir alimenté à 100 % par des énergies renouvelables, en particulier mais pas seulement pour la production d'électricité. À l'instar des travaux publiés en 2015 par l'ADEME pour la France, de plus en plus d'études attestent de la faisabilité technique et de la rationalité économique d'un système électrique flexible, décentralisé et fonctionnant au "tout renouvelable".

Cet événement planétaire a aussi montré, pour la première fois, à quel point ce mouvement pouvait s'appuyer sur des larges parties du monde économique et de la société civile qui, même si leurs initiatives restent disparates, sont bien souvent en avance sur les gouvernements.

Partie des universités américaines en 2015, la campagne de désinvestissement dans les fossiles "Divest-Invest" a rapidement gagné de nombreux investisseurs, fondations, universités, fonds de pensions et compagnies d'assurance, dans les secteurs et les pays les plus divers. Avec 5 000 milliards de dollars d'actifs concernés fin 2016, ce mouvement a très vite atteint une taille significative.

De même, la mobilisation des élus locaux lors de la COP21, notamment ceux des régions et des grandes villes rassemblés pour un sommet spécifique qui a précédé celui des États, a mis en lumière l'engagement de territoires urbains et ruraux de plus en plus nombreux autour de l'objectif fédérateur des "100 % renouvelables". En France, parti des campagnes où l'on a les pieds sur terre et porté par ceux qui ont décidé de passer à l'action sans attendre, le mouvement des "Territoires à énergie positive" est devenu le fer de lance d'une vague de fond qui a gagné les villes et même obtenu le soutien de l'État.

Des évolutions positives

L'année 2015 a aussi été la première où l'on a constaté la stagnation des émissions mondiales de gaz à effet de serre, et ceci malgré une croissance économique soutenue, grâce notamment au changement d'attitude de la Chine qui a commencé à réduire sa consommation de charbon pour produire son électricité et décidé de fermer un millier de mines d'ici 2020. La très légère augmentation des émissions mondiales en 2016, probablement liée au phénomène climatique naturel El Niño, semble confirmer une évolution structurelle, certes très loin d'être suffisante mais d'ores et déjà encourageante. De même, les évaluations des émissions françaises, non seulement sur le territoire mais aussi en tenant compte d'un bilan associé aux importations et des exportations, témoignent d'une réduction qui, si elle reste trop timide, est cependant bien réelle.

Ce n'est pas le seul point sur lequel des inflexions significatives apparaissent. La diminution de la consommation d'énergie en France depuis 15 ans, conforme à la tendance européenne, peut être désormais considérée comme structurelle, d'autant que les évolutions sont désormais à la baisse aussi bien pour les carburants que pour l'électricité. Sur le plan de la production, le rythme actuel de développement des énergies renouvelables, dont l'accroissement mondial a pour la première fois en 2015 dépassé celui des énergies fossiles, donne tort à tous ceux qui les cantonnaient à un rôle marginal. C'est dans le domaine de l'électricité, où elles représentent depuis plusieurs années la majorité des nouvelles capacités installées, que se matérialise de la manière la plus visible ce changement.

L'émergence de nouvelles solutions

L'éolien et le photovoltaïque sont en effet parvenus, avec une bonne dizaine d'années d'avance sur les prévisions les plus optimistes, à devenir compétitifs avec le nucléaire, et même, dans les régions les plus favorables, avec la production d'électricité au pétrole ou au charbon.

En outre, les réponses qui semblaient embryonnaires voire exotiques en 2011 aux questions récurrentes sur les moyens de remédier à leur caractère variable – souvent qualifié à tort d'intermittence et perçu comme un frein à leur développement – ont depuis lors été confirmées à la maille de pilotes industriels. C'est notamment le cas du power-to-gas et de la méthanation (fabrication de méthane de synthèse obtenu à partir d'hydrogène, lui-même produit à partir d'électricité) qui émergent comme des clés de voûte incontournables des systèmes énergétiques de demain.

La période récente a également été marquée par des évolutions remarquables dans le domaine de la maîtrise de la consommation d'énergie. L'efficacité a fait de grands pas, notamment dans le domaine des équipements électriques, avec par exemple l'irruption des LEDs pour l'éclairage. Des mesures telles que l'étiquette énergie sur les appareils électro-ménagers ou le durcissement de la réglementation thermique sur les bâtiments montrent clairement leurs effets. Plus largement, l'explosion des technologies du numérique a accéléré la mutation déjà perceptible vers une approche de plus en plus "servicielle" de la demande énergétique, notamment dans le domaine des déplacements. Ainsi, la généralisation des vélos en libre-service dans toutes les grandes villes, l'information en temps réel dans les transports publics urbains et le co-voiturage sécurisé à longue distance contribuent à faire reculer la possession d'une voiture individuelle dans l'imaginaire des jeunes des pays développés.

1.3. Le temps de l'action

Entre prise de conscience de l'urgence à agir et des possibilités concrètes de le faire, la transition énergétique s'est largement imposée dans l'agenda politique. Temps fort de démocratie participative, le Débat national sur

la transition énergétique (DNTE) a fait en 2012-2013 la démonstration de l'appétit des partenaires sociaux et de la société civile à se saisir des questions de l'énergie et du climat et à transformer la nécessité de la transition énergétique en opportunité pour la société tout entière.

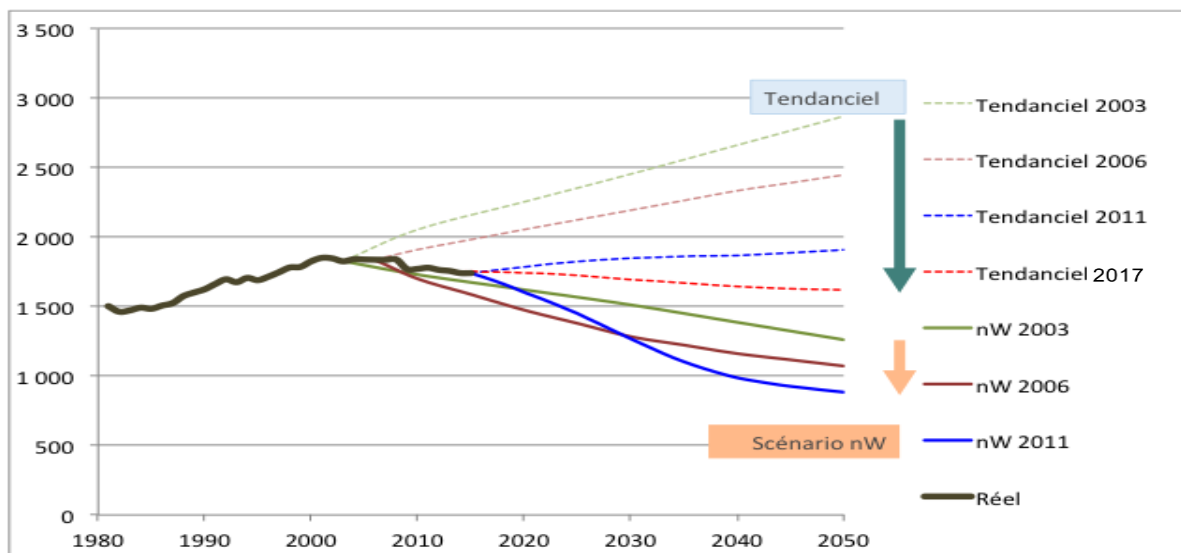
Porteurs de beaucoup d'espoirs, leurs objectifs sont clairs : se défaire de notre double dépendance aux énergies fossiles et au nucléaire ; réduire nos émissions de gaz à effet de serre en même temps que notre facture énergétique ; rendre notre pays et tous ses habitants, notamment les plus précaires, plus autonomes et résilients pour leur accès aux services énergétiques ; permettre à tous les territoires et aux acteurs locaux de valoriser les richesses qu'ils ont à portée de main ; et au bout du compte échapper à la faillite environnementale, économique et sociale à laquelle le vieux monde de l'énergie nous conduit inexorablement.

En regard des espoirs portés dans ce débat, la loi relative à la transition énergétique et à la croissance verte (LTECV), adoptée à l'été 2015, est très ambivalente. D'un côté, les objectifs qu'elle fixe à moyen et long terme marquent une véritable ambition, avec notamment la baisse de la part du nucléaire dans la production électrique à 50 % en 2025 (contre plus de 75 % aujourd'hui), le passage à 32 % d'énergies renouvelables dans la consommation totale en 2030, et surtout la réduction de 50 % de la consommation d'énergie finale d'ici à 2050. Mais de l'autre, les résistances au changement, et le refus de tourner définitivement la page des choix du passé sur le nucléaire ou le Diesel, la privent de la substance correspondante. Ainsi, les mesures qu'elle contient ne suffisent pas à atteindre les objectifs qu'elle se fixe. Une fois celles-ci passées à la moulinette réglementaire et au rabotage de l'application concrète, il est à craindre que l'on reste très loin des ambitions affichées.

Pour réussir la transition énergétique, l'action peut et doit de toute urgence être renforcée. Fort de l'ensemble de ces constats, c'est bien dans cette perspective que s'inscrit le nouveau scénario négaWatt.

Un scénario tendanciel actualisé

Un scénario ambitieux et les mesures qui l'accompagnent doivent pouvoir être comparés à l'absence de politique volontariste que l'on peut définir comme scénario "tendanciel". De tels scénarios sont traditionnellement qualifiés de "laisser-faire", mais dès lors qu'une politique active de transition énergétique, même insuffisante, est décidée, ce terme n'est plus approprié. Ainsi, le scénario tendanciel retenu dans le cadre du scénario négaWatt 2017-2050 prend en compte l'ensemble des mesures prévues dans la loi TECV, mais avec une appréciation volontairement prudente de leur degré réel de mise en œuvre réglementaire et opérationnelle, et donc de résultats.



La consommation d'énergie finale dans le scénario tendanciel de l'exercice 2017, et sa comparaison avec les précédents exercices de scénarios négaWatt

Cette évaluation conduit à retenir un tendanciel orienté à la baisse en termes de consommation d'énergie, ce qui peut sembler être une grande nouveauté mais n'est en fait que la prolongation d'une tendance de fond observée depuis le premier scénario négaWatt en 2003. On constate en effet qu'au fil des ans, le niveau atteint non seulement par les différentes versions du scénario négaWatt, mais aussi par les projections tendanciennes n'a fait que se réduire à mesure que la consommation réelle se stabilisait puis s'orientait à la baisse.

La même logique est appliquée à l'offre d'énergie. Le scénario tendanciel intègre ainsi une baisse du nucléaire, qui n'atteint toutefois 50 % de la production d'électricité qu'aux environs de 2030 pour se maintenir à ce niveau ensuite, et une croissance lente de la production des énergies renouvelables, multipliée par 1,5 au final par rapport à leur niveau de 2015.

02.

Un scénario systémique

Si la diversité et l'ampleur des évolutions constatées depuis 2011 justifient largement l'élaboration d'un nouveau scénario, c'est sur la base de principes fondamentaux et méthodologiques qui conservent toute leur pertinence et restent largement inchangés. Au-delà de l'actualisation des données et des potentiels, ce sont l'approfondissement de la démarche et le relèvement de l'ambition qui caractérisent le scénario négaWatt 2017-2050.

2.1. L'ambition du long terme pour l'action

Il importe tout d'abord de réaffirmer que le scénario négaWatt est un exercice prospectif. Le futur qu'il explore ne constitue en rien une prédiction mais représente un possible. C'est un outil d'aide à la décision permettant d'imaginer la voie d'un avenir énergétique souhaitable et de décrire des solutions pour l'atteindre.

À cette fin, sa construction repose sur trois éléments qui s'alimentent les uns les autres :

- la définition d'une vision de long terme cherchant à prendre en compte l'ensemble des problématiques de soutenabilité du système énergétique ;
- la description d'une trajectoire cohérente et réaliste pour aller vers la réalisation de cette vision, en partant de la situation présente et en tenant compte des contraintes et des opportunités ;
- des préconisations sur les actions prioritaires à engager à court terme dans tous les domaines et sur les indicateurs à mettre en place afin de pouvoir en évaluer le résultat et les adapter si nécessaire.

Les diverses versions du scénario négaWatt s'inscrivent pleinement dans cette temporalité à rebours qui vise à donner, au présent, les clés d'une action à la fois urgente et inscrite dans le long terme. La version 2017 est loin d'être une simple mise à jour : en cinq ans, l'amélioration des connaissances, l'approfondissement de l'analyse et les nombreux retours d'expérience conduisent à des évolutions sensibles dans plusieurs domaines, sans pour autant que les conclusions majeures des exercices précédents ne soient remises en question.

Un scénario renforcé

Ces évolutions intègrent plusieurs éléments. En premier lieu, le retard pris pour une mise en œuvre effective de la transition énergétique augmente mécaniquement le niveau de contrainte pour tenir les objectifs. Si 2050 reste conventionnellement l'horizon du scénario négaWatt 2017, il convient à la fois de renforcer l'action sur cette période, et de s'interroger davantage sur ce qui se passe au-delà. En particulier, l'évaluation de la trajectoire du point de vue des émissions de gaz à effet de serre impose de se projeter jusqu'à 2100.

La volonté de mieux prendre en compte l'ensemble de ces émissions (et pas seulement le CO₂ lié à l'énergie comme dans le scénario 2011) participe d'un effort général d'élargissement et de cohérence du périmètre des indicateurs de la trajectoire à 2050. De la même manière, le scénario s'enrichit d'analyses sur la disponibilité des ressources et des matières premières ou sur les émissions de particules. Dans un autre registre, les développements portent aussi sur la réduction de la précarité énergétique.

Enfin, les évolutions technologiques et sociétales visiblement à l'œuvre, notamment la progression des énergies renouvelables et la numérisation de l'économie, conduisent à une révision des orientations et des potentiels dans plusieurs domaines.

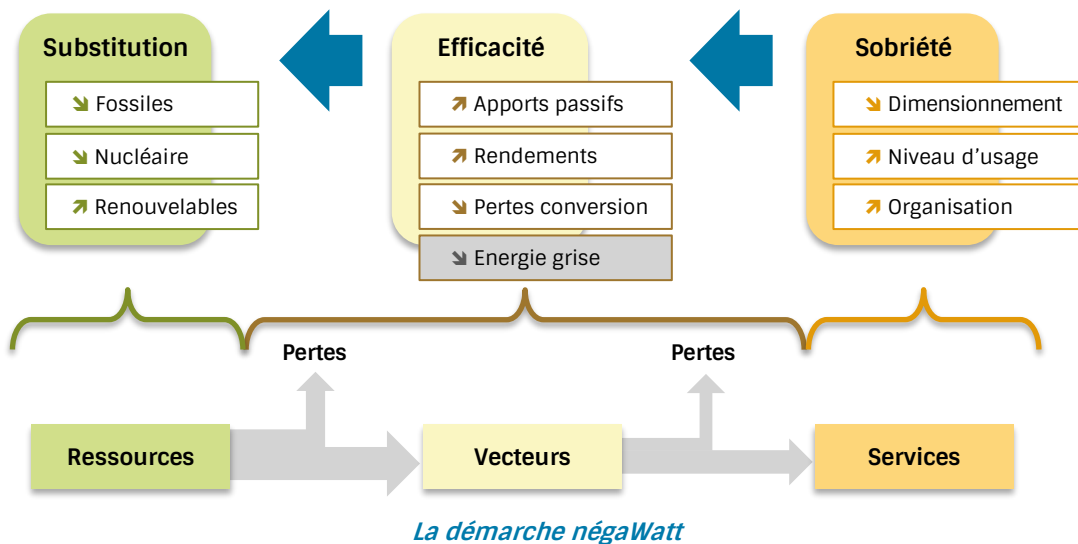
2.2. Des choix méthodologiques structurants

Comme tout exercice prospectif, le scénario négaWatt 2017-2050 est structuré autour d'un certain nombre de principes fondamentaux et de choix méthodologiques, qu'il convient d'explicitier.

La démarche négaWatt

Le premier de ces principes est l'application systématique, à l'ensemble du système énergétique, de la fameuse "démarche négaWatt" :

- l'entrée se fait par les **services énergétiques**, c'est-à-dire l'analyse des services rendus par la consommation d'énergie : chauffage, déplacements, fonctionnement des appareils, process industriels, etc. Afin de ramener le besoin de services énergétiques au plus près de leur utilité réelle, la **sobriété** agit sur des paramètres aussi divers que le dimensionnement des équipements, leur durée d'usage et leur degré de mutualisation, le taux de remplissage et la vitesse des véhicules, ou encore l'organisation de l'espace et de la société ;
- l'**efficacité** consiste quant à elle à chercher à réduire au maximum les pertes associées à la chaîne énergétique qui fournit ces services à travers différents vecteurs tels que le gaz, l'électricité ou la chaleur, eux-mêmes tirés des ressources énergétiques primaires. Ceci passe par l'amélioration des rendements de conversion et de consommation, aussi bien des bâtiments que des véhicules et de toutes les catégories d'équipements et d'appareils, ainsi que par la prise en compte de la consommation d'énergie nécessaire à leur fabrication, appelée énergie grise ;
- le choix prioritaire des **énergies renouvelables** en substitution aux énergies fossiles et au nucléaire pour couvrir les besoins résiduels. Il se justifie par leur caractère inépuisable (ce sont des énergies de flux, par contraste avec les énergies de stock fondées sur des réserves finies de charbon, pétrole, gaz fossile et d'uranium) et leur bien moindre impact sur l'environnement, que ce soit au niveau local ou mondial.



Objectif : 100 % soutenable

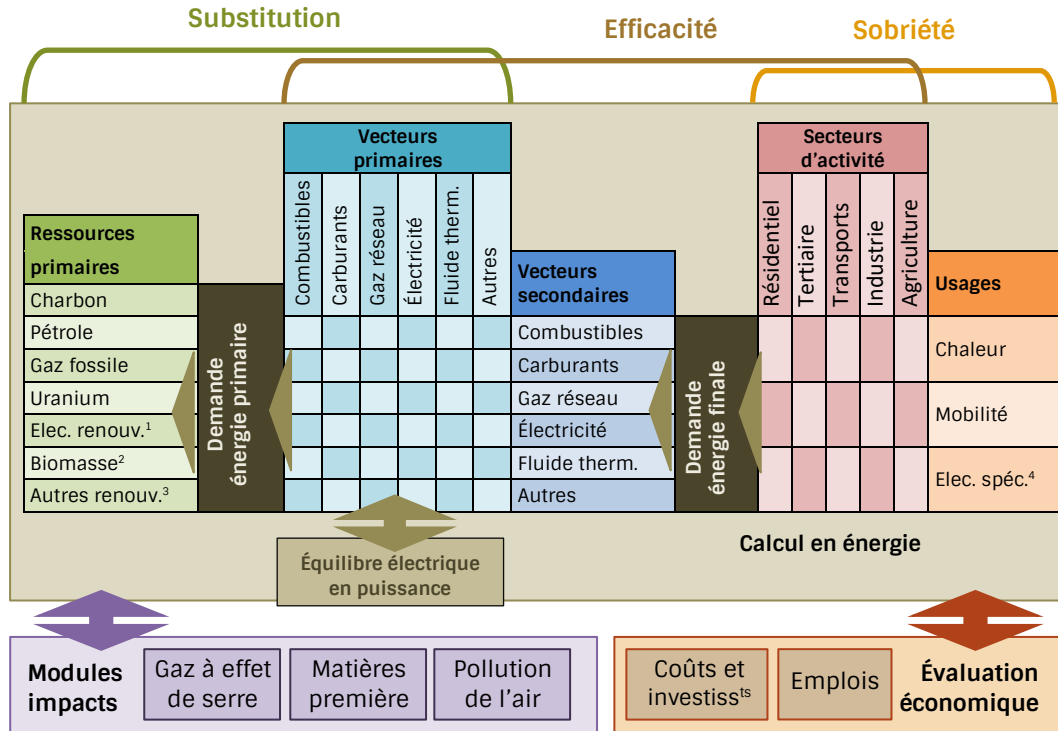
Le scénario négaWatt 2017-2050 vise à s'approcher autant que possible d'une couverture intégrale des besoins par les énergies renouvelables à l'horizon 2050 dans les trois grandes catégories d'usage que sont la chaleur, la mobilité et l'électricité spécifique. Il s'agit ainsi non seulement de décarboner l'énergie pour lutter contre le dérèglement climatique, mais plus fondamentalement de viser une diminution significative de l'ensemble des impacts environnementaux et des risques technologiques associés plus ou moins directement à notre système énergétique (y compris en privilégiant dans le même esprit, hors de la consommation d'énergie, l'usage raisonné de matériaux renouvelables).

Dans sa méthode et dans sa philosophie, le scénario développe à cet effet une vision systémique de la transition énergétique qui implique des changements plus ou moins importants des conditions d'usage, d'approvisionnement, d'acheminement et de production de l'énergie, et par conséquent des évolutions sensibles de l'ensemble des activités de consommation et de production dans tous les secteurs : habitat, tertiaire, transports, industrie, agriculture et alimentation.

À cet égard, l'articulation du scénario négaWatt avec le scénario Afterres 2050 de l'association Solagro, qui développe une approche similaire vis-à-vis des problématiques d'agriculture, d'alimentation, de sylviculture et d'usage des sols, apporte un renfort essentiel pour assurer la cohérence et la crédibilité de l'exercice.

La modélisation du scénario

Le scénario négaWatt est basé sur un calcul en énergie. Celui-ci part des services énergétiques, en distinguant les usages liés à la chaleur, à la mobilité et à l'électricité spécifique, pour remonter secteur par secteur vers une demande en énergie finale, puis primaire, qui est enfin croisée avec la disponibilité des différentes ressources énergétiques. Cette construction permet notamment de représenter de façon fine les évolutions liées à la sobriété sur les usages, à l'efficacité sur l'ensemble de la chaîne énergétique, et à la substitution des sources d'énergie, en cohérence avec les choix relatifs aux vecteurs. Le modèle assure un équilibre en énergie, au pas annuel, complété par un équilibrage en puissance au pas horaire pour l'électricité.



¹ Électricité primaire d'origine renouvelable : hydraulique, éolien, photovoltaïque, énergies marines...

² Biomasse solide, biomasse liquide et biogaz.

³ Autres énergies renouvelables : solaire thermique, géothermie, déchets ménagers...

⁴ Usages énergétiques spécifiquement associés à l'électricité.

Principe de modélisation du scénario négaWatt

Au delà de ce bilan en énergie, la modélisation retenue permet de calculer un bilan global en émissions de gaz à effet de serre ainsi que d'autres impacts environnementaux. Enfin, la modélisation physique est complétée par une évaluation économique basée sur l'agrégation des coûts associés aux transformations décrites, et au calcul de leurs conséquences en emplois.

Le réalisme des choix

Une fois ce cadre posé, de nombreuses options techniques sont envisageables. Le scénario négaWatt s'applique à retenir celles que l'on peut considérer comme réalistes d'un point de vue technologique et sociétal autant qu'économique.

Sur le plan technologique, il s'agit de ne pas s'en remettre à d'hypothétiques ruptures, souvent prétextes à différer l'action. Loin d'écarter l'innovation, moteur essentiel de la transition énergétique, le scénario négaWatt ne fait appel de manière significative qu'à des technologies aujourd'hui suffisamment matures pour être certain qu'elles seront disponibles à temps, en quantité suffisante, à un coût abordable et avec des impacts acceptables.

Le scénario s'appuie à cet effet sur les échelles internationales de *Technology Readiness Level* (TRL) et de *Manufacturing Readiness Level* (MRL), en proposant de compléter cette évaluation par celle de leur maturité sur le plan des impacts environnementaux et sociaux (*Environmental & Social Readiness Level*, ESRL). Seules des options correspondant au moins à la démonstration du système au niveau d'un prototype en environnement opérationnel (TRL ≥ 9) sont intégrées, et les options qui présentent le plus haut degré de

maturité sont toujours privilégiées. Construite selon cette approche prudente, la trajectoire décrite ne peut qu'être renforcée en cas de progrès plus rapide que prévu ou de rupture effective dans une technologie donnée.

Sur le plan économique, le réalisme consiste paradoxalement à s'affranchir des limites imposées par les règles actuellement reflétées dans les modèles d'analyse macro-économique. Basées sur des prix qui ne reflètent pas les externalités et sur des logiques essentiellement court-termistes, celles-ci constituent souvent un obstacle à la mise en œuvre des actions nécessaires. C'est la raison pour laquelle le scénario négaWatt est construit sur la base d'un modèle purement physique : c'est bien dans ce domaine que des limites non négociables en termes de ressources et d'impacts s'imposent. La trajectoire physique compatible avec ces contraintes est en fait construite en privilégiant les solutions *a priori* les moins coûteuses, avant d'évaluer *a posteriori* son contenu économique et surtout, de s'interroger sur les régulations nécessaires pour être en mesure de la suivre.

2.3. La complémentarité comme valeur cardinale

La transition énergétique ne se résume pas au passage d'une offre énergétique basée sur les énergies fossiles et nucléaire à une offre basée sur les énergies renouvelables. Elle concerne tout le système énergétique, qui relie des ressources, des vecteurs et des usages dans un espace réel et dans un temps donné, en l'occurrence le territoire de la France métropolitaine d'ici 2050. À travers son modèle et sa démarche, c'est bien un processus de transformation dans cet espace et sur cette durée que le scénario négaWatt s'attache à décrire.

Le bon vecteur pour le bon usage

Le système énergétique français s'est historiquement construit sur un "principe de spécialité" qui a organisé la coexistence d'opérateurs nationaux disposant de monopoles sur leurs vecteurs respectifs (électricité, gaz, charbon, produits pétroliers...), interdisant de fait toute réflexion et toute pratique supposant leur complémentarité. Chaque vecteur présente pourtant des caractéristiques qui lui sont propres en matière de simplicité d'usage, de flexibilité, de transport, de stockage, d'émission d'effluents, de nuisances locales, de besoin d'infrastructure, etc.

Associée à celle des énergies renouvelables et à celle des usages, cette diversité permet un grand nombre de combinaisons, ce qui est séduisant pour imaginer les possibles mais impose de s'assurer de la cohérence des solutions retenues. Le scénario négaWatt ne les hiérarchise pas *a priori* : il interroge au contraire de manière pragmatique, en fonction des usages, le choix des vecteurs permettant une optimisation globale du système – dans le souci d'une économie des ressources et d'une priorité à l'utilisation des infrastructures existantes, à commencer par les réseaux. Ainsi, le scénario cherche à valoriser chacun des vecteurs selon un meilleur équilibre entre ressources mobilisables et usages, et privilégie notamment, dans leurs usages les plus efficaces, le vecteur gaz et le vecteur électricité, qui présentent tous les deux une forte flexibilité, une capacité de réseau, un potentiel reposant sur des sources diversifiées, et qui offrent une grande complémentarité.

Le rôle central des territoires

Par convention et par volonté de simplicité, tous les éléments du scénario négaWatt, y compris sa modélisation, sont traités à l'échelle de la France métropolitaine et de ses échanges avec l'extérieur. Cette vision est cependant réductrice. Construit sur une logique de plus en plus centralisée, et basé sur des ressources de plus en plus extérieures au pays, notre système énergétique a progressivement gommé les territoires et réduit leurs habitants au statut de consommateur final. Or, dans leur richesse et leur diversité, ils ont au contraire un rôle essentiel à jouer dans la mise en œuvre de la transition énergétique décrite par le scénario négaWatt.

Celle-ci repose en effet principalement sur la mobilisation par les acteurs de terrain, dans les villes et les campagnes, au plus près des situations concrètes, des potentiels d'action sur la consommation d'énergie et des ressources d'énergies renouvelables. Le scénario intègre par exemple, à la croisée des problématiques du bâtiment et de la mobilité, une analyse différenciée de l'action sur les déplacements selon la densité urbaine des zones considérées. L'articulation avec le scénario Afterres 2050 s'inscrit elle-aussi pleinement dans cette perspective.

03.

Des orientations renforcées

Sur la base de l'ambition et de la méthode décrites ci-dessus, le scénario négaWatt 2017 décrit une transformation du rapport à l'énergie dans l'ensemble des secteurs d'activité, avec 2050 comme horizon. Cette description commence logiquement par la consommation de biens, d'équipements et de services consommateurs d'énergie et de ressources. Elle se poursuit par le rôle des bâtiments et plus largement de l'organisation de l'espace dans la consommation d'énergie, avant de se concentrer sur le système productif industriel puis agricole. Enfin, elle aborde les conséquences de ces transformations sur les besoins en énergie, et leur adéquation au développement des énergies renouvelables.

Réalisé à l'échelle de la France métropolitaine, l'exercice tient compte d'une évolution de la population conforme à la "projection centrale" de l'INSEE. Celle-ci, restée inchangée par rapport à celle du scénario de 2011, prévoit une population atteignant 72 millions d'habitants en 2050, contre 65 millions aujourd'hui.

Le scénario négaWatt 2017 reste globalement conforme aux orientations de son prédécesseur. La révision des contraintes et surtout des potentiels associés à différentes options, la nécessité d'agir plus vite compte tenu du retard accumulé et l'analyse plus complète des impacts conduisent néanmoins à des évolutions sensibles, à la recherche de résultats plus poussés et d'une trajectoire plus optimale.

3.1. Consommation durable

C'est une évidence : nos besoins en énergie sont intimement liés à notre mode de vie. Les équipements que nous utilisons, les biens et les services que nous consommons nécessitent des quantités plus ou moins grandes d'énergie pour être fabriqués, pour être acheminés et pour fonctionner. Ainsi, la première étape de la transition énergétique est d'interroger cette consommation. Comme pour le reste du scénario, les évolutions projetées dans ce domaine ne sont pas immédiates, mais étalées sur une durée de 35 ans : les changements décrits ici, s'ils peuvent paraître radicaux, ne le sont en réalité pas plus que ceux que nous avons connus depuis 1980, époque où les ordinateurs, l'internet et les téléphones mobiles pour tous n'existaient que dans la science-fiction... Par ailleurs, si les changements individuels sont représentés dans le scénario sous la forme d'une moyenne, ils n'en sont pas pour autant uniformes, et peuvent au contraire représenter une combinaison d'évolutions plus ou moins radicales ou modérées au sein de la société.

Un usage plus sobre d'équipements plus efficaces

Le lien entre consommation et énergie se joue d'abord dans les différents équipements qui utilisent de l'énergie pour nous rendre des services au quotidien, depuis les luminaires jusqu'aux automobiles, en passant par l'électro-ménager, la bureautique ou la cuisson. Il se joue à la fois dans leur niveau de performance et dans l'usage que nous en faisons : on retrouve ainsi l'efficacité et la sobriété qui sont appliquées à l'évolution de la consommation dans chacun des secteurs concernés.

En ce qui concerne l'électricité consommée dans les secteurs résidentiel et tertiaire, une politique consistant à faire correspondre les normes aux meilleures performances du marché et la généralisation de comportements responsables suffisent, sans effort spectaculaire, à réaliser des économies importantes. Celles-ci représentent au final un volume équivalent à 15 % de l'ensemble de la consommation électrique actuelle. Elles sont d'autant plus bénéfiques qu'elles contribuent dans le même temps à diminuer le niveau des pointes de puissance appelée, facteur dimensionnant de la capacité des réseaux ainsi que des moyens de production et de stockage d'électricité.

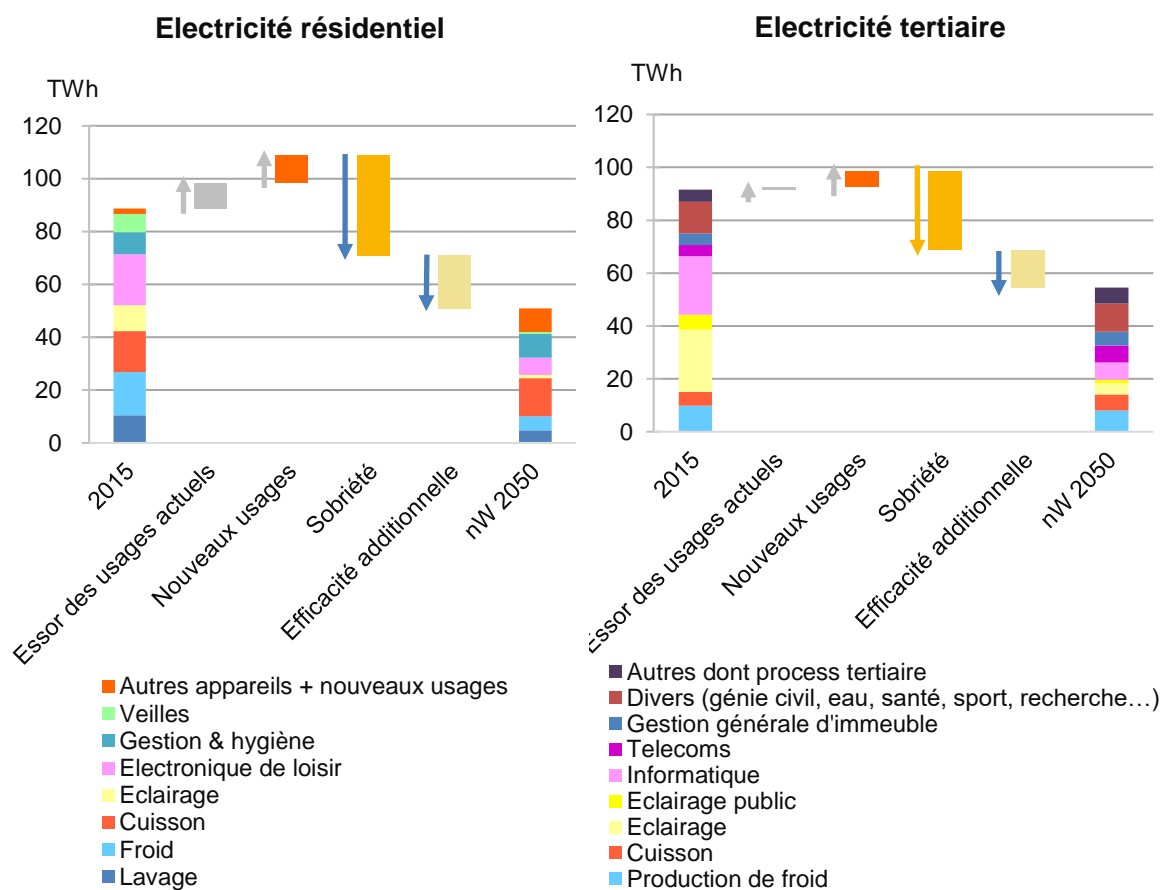
Appareils électriques

La prolifération d'appareils en tous genres dans nos logements et dans les bâtiments tertiaires a été longtemps symptomatique de notre ébriété énergétique. Électroménager, audiovisuel, appareils numériques : au fil de ces nouveaux usages, la consommation d'électricité associée a été multipliée par 6 depuis les années 1970. Depuis une dizaine d'années, les normes européennes couvrant ces produits – dont la plus visible est l'étiquette énergie – ont été renforcées pour mettre fin à cette dérive. Malgré leur succès incontestable pour améliorer l'efficacité moyenne des appareils vendus, elles ont seulement permis de stabiliser les niveaux globaux de consommation, car dans le même temps nous continuons à nous équiper de plus en plus d'appareils et à en multiplier les utilisations.

Le scénario négaWatt, à travers une analyse fine de plus de 120 paramètres d'usage, modélise deux évolutions principales. La première est une poursuite soutenue de cet effort réglementaire – logique au vu de sa pertinence économique et des relativement bonnes dispositions des fabricants – permettant la diffusion des technologies les plus efficaces. Grâce aux progrès attendus, un foyer moyen dispose en 2050 d'un électroménager de 5 % à 15 % plus efficace que le meilleur niveau d'aujourd'hui, d'éclairages LED et d'écrans très performants, etc. Les bureaux et bâtiments tertiaires seront eux aussi équipés d'ordinateurs et serveurs, ou leur équivalent, correspondant aux meilleures performances connues à ce jour.

Ces progrès sur l'efficacité de l'ensemble des appareils ne porteront leurs fruits que s'ils sont accompagnés d'une certaine modération sur les usages. Le scénario reste mesuré sur ce second volet, combinant une retenue sur les taux d'équipement de certains appareils (sèche-linge, congélateur,...) avec une optimisation des usages (par exemple un meilleur remplissage des lave-linge, une box numérique multifonction unique par foyer, etc.). Le niveau de sobriété moyen retenu traduit des comportements qui peuvent être différenciés : si certains voudront s'émanciper des nombreux appareils qui envahissent nos vies, pour d'autres il s'agira simplement d'user de bon sens vis-à-vis de leur dimensionnement ou de leur niveau d'usage. Cette sobriété est aussi appliquée dans le tertiaire, où l'on privilégie par exemple les terminaux informatiques légers, et dans l'espace public à travers des pratiques plus raisonnables sur l'éclairage ou en limitant l'usage des écrans publicitaires.

Le scénario n'oublie pas la possibilité d'apparition de nouveaux usages ou appareils encore inconnus, à l'instar de l'internet à la maison, de l'explosion des smart phones, et des tablettes qui n'existaient pas il y a encore 10 ans. Il intègre à cet effet une réserve confortable de plus de 10 TWh d'usages inédits d'ici à 2050, équivalents à la consommation actuelle de l'ensemble du poste lave-linge et lave-vaisselle des ménages.



Consommation électrique (hors chaleur) dans le résidentiel et dans le tertiaire, en 2015 et en 2050 dans le scénario négaWatt 2017-2050

Sans limiter le niveau de confort ni ralentir l'avènement d'une société numérique de plus en plus connectée, la sobriété et l'efficacité contribuent à une réduction de 46 % de la consommation moyenne par ménage des appareils électriques par rapport à 2015, et de 41 % dans le tertiaire.

La mobilité, secteur dans lequel les tendances actuelles restent les plus préoccupantes, demande des évolutions plus marquées. Notre goût collectif pour la liberté de déplacement se traduit en effet aujourd'hui par une très grande dépendance à la voiture individuelle, selon un modèle dans lequel nous devons en être propriétaire : nous l'utilisons pour 65 % du total des km que nous parcourons. Conséquence : prisonniers de ce véhicule à tout faire, nous utilisons la plupart du temps seul, à 30 km/h et en ville un engin dimensionné,

en poids et en motorisation, pour transporter cinq personnes et leurs bagages à 130 km/h sur autoroute. Tant du point de vue énergétique que des ressources, ce modèle est particulièrement inefficace.

Plusieurs leviers sont à notre disposition pour agir sur cette situation. Le premier est d'équiper les véhicules de motorisations plus efficaces, en développant l'usage de véhicules hybrides allant vers le 2 litres aux cents km et de véhicules électriques : à terme, ces derniers s'imposent dans les centres urbains et les zones péri-urbaines mais pas pour les longues distances. Il s'agit également de mieux utiliser les véhicules, en augmentant leur taux de remplissage pour atteindre 1,8 personnes par véhicule, contre 1,6 aujourd'hui, grâce notamment au co-voiturage. Plus largement, le développement d'une offre de mobilité servicielle, *via* les nouvelles pratiques d'auto-partage par exemple, crée la possibilité de disposer à tout moment d'un véhicule adapté à l'usage que l'on en fait sans pour autant en être soi-même propriétaire. Enfin, la réduction de la vitesse autorisée sur route (80 km/h) et sur autoroute (110 km/h) permet un gain immédiat et substantiel sur les consommations de carburant, sans pour autant augmenter les temps de parcours grâce à la décongestion du trafic qui l'accompagne.

Une consommation maîtrisée de biens et de services

Une grande partie de l'énergie que nos modes de vie et nos comportements d'achat nécessitent est en réalité cachée. Il ne s'agit plus ici de l'électricité ou du carburant qui font fonctionner nos équipements et nos appareils, mais de celle, désignée par le terme d'*énergie grise*, qu'il a fallu consommer en amont pour concevoir, produire, conditionner et acheminer les biens et les services que nous achetons, et celle qu'il faudra consommer en aval pour s'occuper des déchets qui seront inéluctablement générés. L'enjeu va d'ailleurs bien au delà de l'énergie, car cette fourniture de biens et de services consomme aussi des matières premières, de l'eau, de l'espace et bien d'autres ressources.

Cette préoccupation concerne avant tout l'industrie où, indépendamment de l'efficacité des process, ce sont les besoins de production eux-mêmes qui doivent être interrogés. Le principe de sobriété mis en avant par la démarche négaWatt conduit à combattre la surconsommation actuelle en s'appliquant à de nombreux niveaux, à commencer par la maîtrise du dimensionnement et la limitation de la redondance des biens que nous possédons. Sa mise en œuvre s'appuie également, selon le principe "serviciel" plutôt que "propriétaire" déjà appliqué aux véhicules, sur des progrès en matière de mutualisation. Surtout, elle intègre une inversion de la tendance actuelle à une durée de vie de plus en plus courte d'un grand nombre de biens, dont la conception rompt avec la logique d'obsolescence programmée et favorise leur "réparabilité" à laquelle répond le développement des filières de réparation et de réutilisation.

Enfin, la sobriété touche aux conditions de mise à la disposition des consommateurs de biens et de services en réduisant au strict nécessaire les consommations intermédiaires inutiles telles que le suremballage, le matraquage publicitaire ou la gabegie de transports de marchandises. Ainsi les emballages réutilisables, moins coûteux en énergie et en matières première, comme les bouteilles en verre consignées deviennent la règle et les prospectus publicitaires sont à termes éliminés, tandis que les circuits courts sont systématiquement privilégiés.

En lien avec le scénario Afterres 2050, une attention particulière est portée à notre système alimentaire qui, du champ à l'assiette, représente plus du tiers des émissions totales de gaz à effet de serre en France, en comptant les étapes de l'agroalimentaire, de la distribution et de la gestion des déchets. Au-delà de l'énergie, répondre aux enjeux environnementaux, sanitaires, nutritionnels et sociétaux impose de réduire significativement les 200 kg d'aliments perdus ou gaspillés par an et par personne à tous les stades de la chaîne. Il convient également d'inverser la proportion actuelle entre les protéines d'origine animale et celles d'origine végétale dans notre alimentation, en passant d'un rapport 2/3-1/3 à 1/3-2/3. Ceci passe notamment par la réduction à terme de moitié la consommation de viande au profit par exemple de légumineuses et de fruits à coques – une évolution qui ne fait que prolonger celle que l'on observe déjà dans les statistiques. En parallèle, l'évolution des pratiques culturelles vers l'agro-écologie et l'agriculture biologique – dont la part dans l'alimentation a commencé à augmenter – contribue à la réduction sensible des impacts de toutes natures de notre alimentation,

3.2. Le parc de bâtiments

À lui seul le secteur résidentiel-tertiaire représente actuellement plus de 40 % de la consommation d'énergie finale : c'est dire s'il représente un enjeu considérable ! Au-delà des usages abordés plus haut, notamment en électricité spécifique, l'essentiel de cette consommation est lié aux besoins de chaleur pour le chauffage, l'eau chaude sanitaire et parfois la climatisation qui sont associés à l'occupation des bâtiments eux-mêmes. C'est pourquoi une action globale sur le parc de logements et de bâtiments tertiaires s'impose comme une priorité.

La maîtrise des surfaces occupées

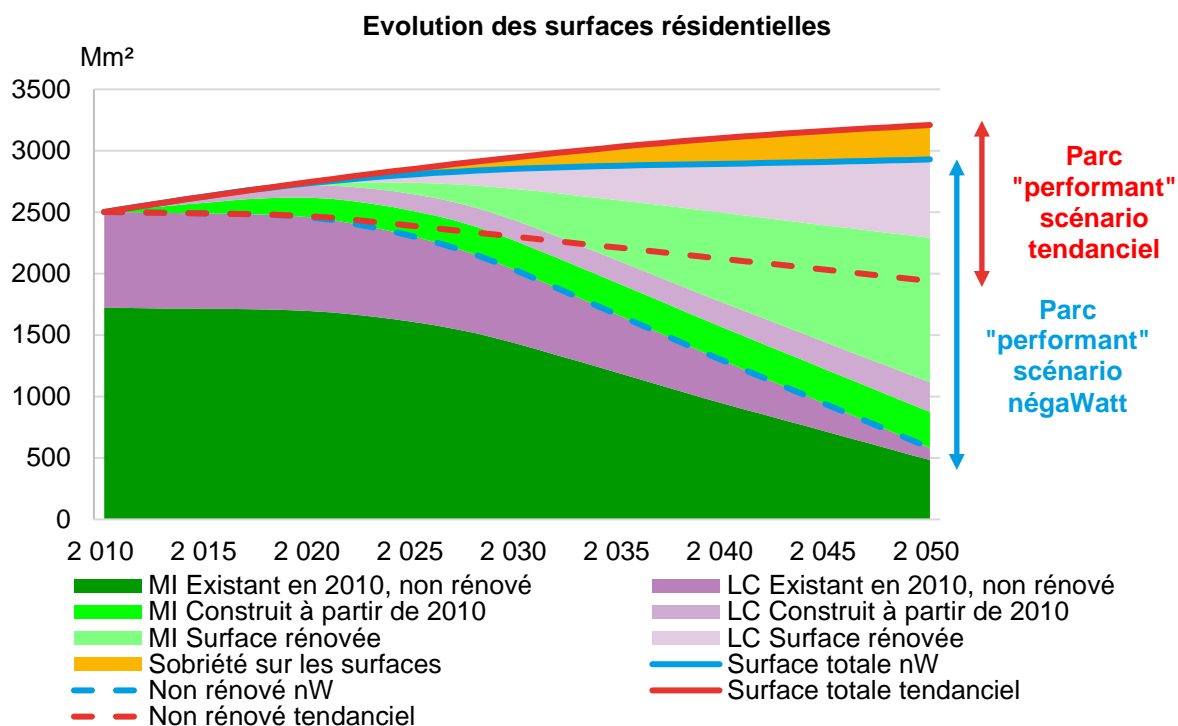
Le premier niveau d'action concerne, au titre de la sobriété, une maîtrise des surfaces occupées. Même s'il est difficile de dire si elles sont conjoncturelles ou structurelles, les tendances observées depuis quelques années vont de ce point de vue dans le bon sens : légère diminution des surfaces unitaires et baisse sensible de la proportion des maisons individuelles dans le logement neuf, mais aussi réduction du rythme de construction de surfaces tertiaires neuves, dont une bonne partie reste aujourd'hui inoccupée. Ces évolutions, plus marquées que celles qui figuraient dans les premières années du scénario 2011, confirment que ces inflexions sont possibles et réalistes.

En maintenant une hypothèse de ralentissement sensible de l'augmentation des surfaces tertiaires, le scénario négaWatt 2017-2050 revient grosso modo à un rythme indexé sur la croissance de la population pour atteindre 1,1 milliard de m² en 2050, à comparer aux 950 millions de m² actuels. Il projette également une stabilisation de la surface moyenne de logement par occupant au niveau actuel de 42 m² par personne. Outre les évolutions sur la taille et la typologie des logements neufs, cette projection tient compte de la mise en œuvre de politiques incitatives visant à maintenir le taux de cohabitation à son niveau actuel, en encourageant par exemple la colocation d'étudiants et l'hébergement de jeunes travailleurs chez des personnes âgées. Ce facteur joue énormément sur le nombre de nouveaux logements nécessaires : la poursuite de la dynamique actuelle de décohabitation nécessiterait la construction d'environ 2 millions de logements supplémentaires par rapport à une hypothèse de stabilisation.

Le chantier majeur de la rénovation

La construction de bâtiments neufs permet de leur appliquer une meilleure performance énergétique, que le scénario négaWatt intègre au plus haut niveau raisonnablement envisageable. Mais elle engendre de fortes consommations d'énergie grise, d'autant plus si l'on n'a pas recours à des matériaux bio-sourcés (bois, paille, isolants végétaux, etc.). Ce constat, qui incite à modérer le nombre de nouvelles constructions supplémentaires, plaide aussi pour ne pas accélérer le rythme du cycle de démolition-reconstruction, aujourd'hui très faible à l'échelle du parc existant.

C'est pourquoi le diagnostic posé voilà plus de dix ans demeure plus que jamais d'actualité : l'enjeu principal dans le secteur résidentiel-tertiaire reste la mise en œuvre d'un vaste chantier de rénovation énergétique, visant à la fois un traitement complet du parc existant d'ici à 2050 et un niveau élevé de performance, non seulement au niveau de l'enveloppe mais aussi des systèmes. Le retard pris dans la montée en puissance de ce programme de grande ampleur impose de porter progressivement le volume annuel des travaux à 780 000 logements et 3,5 % environ des surfaces tertiaires si l'on veut avoir la certitude que la quasi-totalité du parc construit avant 2000 a pu être traitée avant 2050. La différence avec le programme envisagé dans le tendanciel sur la base des mesures actuellement en place ou annoncées, qui conduit à un rythme environ 3,5 fois moins élevée avec des niveaux de performance nettement moins ambitieux, est majeure. Cet enjeu est déterminant pour la réussite de la transition énergétique.



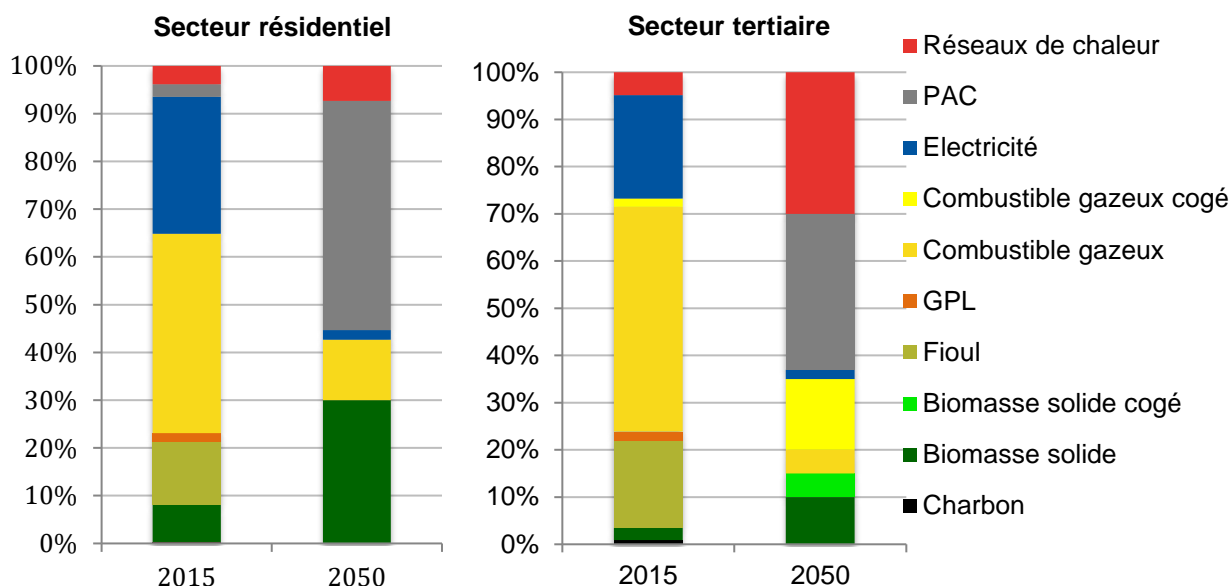
Programme de rénovation du secteur résidentiel

Tous les chantiers, qu'il s'agisse de rénovations ou de constructions neuves, cherchent par ailleurs à réduire l'énergie grise contenue dans les matériaux employés : par exemple, la part de bois utilisé en structure, menuiseries et isolation passe de 7 % en 2015 à 15 % en 2050 de la masse des matériaux.

Une électrification plus poussée

Qu'il s'agisse de construction ou de rénovation, le très grand nombre de chantiers ouverts chaque année offre l'opportunité de faire évoluer la répartition entre les différents vecteurs alimentant les besoins de chauffage, d'eau chaude sanitaire et de climatisation. L'arbitrage entre les solutions disponibles et leur performance, différencié selon la typologie des bâtiments, donne une place privilégiée aux pompes à chaleur performantes, principalement électriques, qui disposent d'atouts indéniables en termes d'efficacité et de flexibilité.

Cette évolution se fait principalement aux dépens du chauffage électrique par effet Joule (convecteurs), qui disparaît presque totalement, mais aussi, bien que dans une moindre mesure, aux dépens du gaz, notamment individuel, qui bénéficie en contrepartie du développement de la micro-génération dans le tertiaire. Au total, c'est bien à une électrification des modes de chauffage que l'on assiste, mais avec des niveaux de performances qui n'ont rien à voir avec ceux d'aujourd'hui – avec au passage un effet très bénéfique sur les pointes hivernales qui constituent actuellement le principal risque de black-out du réseau.



Partes modales des différents vecteurs pour le chauffage (énergie principale)

3.3. Occupation de l'espace

Les évolutions nécessaires dans l'utilisation de nos véhicules et de nos bâtiments ne prennent tout leur sens que dans une approche globale de notre occupation de l'espace. La flexibilité d'usage, la diversité fonctionnelle, la densité de réseaux et de services, le réinvestissement de l'espace rural sont autant de clés pour rompre avec une tendance lentement destructrice.

Cinquante années de politiques publiques en faveur de l'automobile ont en effet considérablement transformé nos paysages, notre urbanisme, et plus globalement notre manière d'aménager et d'utiliser l'espace. La France a construit le premier réseau routier d'Europe, le fret routier est devenu la norme et le fret ferroviaire l'exception, et nos villes ont toutes suivies un même schéma de développement : disparition progressive des commerces de proximité au profit de centres commerciaux installés en périphérie, loin des zones résidentielles, contraignant les consommateurs à l'utilisation d'une voiture individuelle. La multiplication de zones pavillonnaires a progressivement allongé les distances domicile-travail tout en grignotant toujours plus sur des espaces agricoles pourtant nécessaires à l'alimentation des populations. Archi-dominé par le trafic routier et hyper-dépendant au pétrole, le secteur des transports représente aujourd'hui en France la première source d'émissions de gaz à effet de serre.

Urbanisme et mobilité - zoom méthodologique

La multiplicité des typologies de déplacement, liées à la fois à leurs motifs et aux lieux où ils se déroulent ou qu'ils relient, nécessite une multiplicité de réponses, qui relèvent aussi bien de la technique pure que de l'organisation sociétale de nos villes et de nos campagnes.

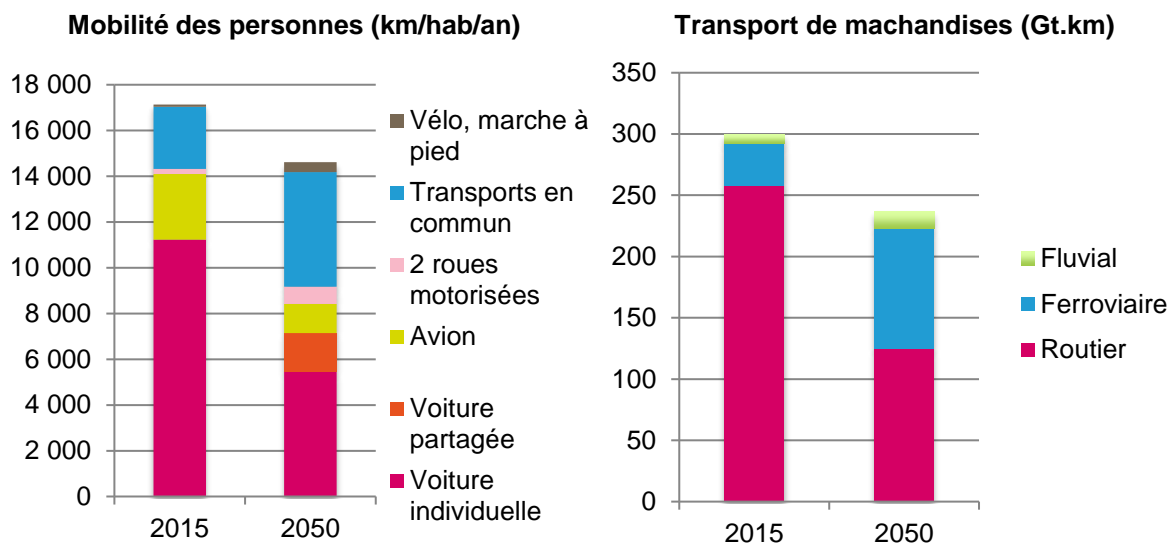
Grâce aux statistiques nationales, l'ensemble des déplacements réalisés en France a pu être classé en 25 catégories et sous-catégories, selon la typologie du déplacement (trajets pendulaires, occasionnels de loisir, professionnels, etc.), sa longueur, et son espace (du centre parisien à l'espace rural). Dans chacune d'entre elles, le scénario négaWatt fait évoluer de façon différenciée les voyageurs.km parcourus, ainsi que leur répartition entre une dizaine de modes de transport. Au sein de ces derniers, le scénario négaWatt distingue trois types de « voitures », allant du taxi collectif à la toute petite citadine urbaine de quelques centaines de kg.

Le scénario négaWatt mise sur un changement profond de notre manière de penser le développement urbain et rural. L'accès pour tous à des services de proximité - par cette notion on entend aussi bien des services publics que des commerces mais aussi des infrastructures de transport en commun ou encore l'accès aux réseaux d'énergie - doit être la norme, sans recourir à davantage d'artificialisation. Pour continuer à accueillir les logements et les zones d'activité qu'il sera nécessaire de construire, il convient à la fois de densifier les zones déjà artificialisées qui s'y prêtent et de revitaliser les zones rurales, tout en favorisant la mixité des fonctions et des usages au sein des quartiers, voire des îlots et des bâtiments, afin de réduire les distances à parcourir.

Ce nouvel aménagement de l'espace doit laisser une plus grande place aux transports en commun comme aux modes actifs, tels que le vélo et la marche à pied. En milieu urbain, ces modes de déplacement doivent

sortir de la marginalité pour devenir majoritaires sur les courtes distances, mais ils ne pourront l'être que si l'organisation de l'espace le permet. Ce nouvel aménagement doit également permettre au transport de marchandises d'effectuer son *dernier kilomètre* de manière douce, sans nuisances pour le voisinage. La continuité entre les modes de déplacement et la flexibilité que permettent progressivement les technologies numériques peuvent faciliter cette évolution.

Pour les déplacements à plus grande distance de personnes et de marchandises, les transports ferrés peuvent répondre à une majorité des besoins, à condition qu'ils soient performants et qu'ils maillent suffisamment le territoire. Leur développement – et celui des infrastructures sur lesquelles ils reposent – doit rendre possible les relations entre les villes moyennes aujourd'hui délaissées des grands axes de communication. Les liaisons ferroviaires doivent également permettre une disparition progressive des vols aériens intérieurs, en priorité pour tous les déplacements inférieurs à 800 km. L'aérien concerne aussi les échanges internationaux, qui sont pris en compte par le scénario négaWatt en comptabilisant la moitié des vols décollant ou atterrissant de France dans la consommation nationale. Au total, le nombre de voyageurs.km en avion a augmenté de 50 % entre 2000 et 2015, contre 5 % pour les voyageurs.km en voiture. S'agissant d'un usage où le carburant utilisé, le kérosène, est le plus difficile à remplacer par les énergies renouvelables, une forme particulière de sobriété s'impose sur cette mobilité grande distance.



Evolution des parts modales des km parcourus

Au terme de ces évolutions, un aménagement plus harmonieux de l'espace qui nous entoure a pour effet une réduction des distances parcourues par habitant et par an. Couplé au développement du télétravail rendu possible par l'ouverture de centres de co-working disséminés dans l'ensemble du territoire, cela se traduit une réduction globale de 17 % des km / hab / an. Parallèlement, la diversification des modes de transport permet de ramener le mode automobile, largement dominant aujourd'hui pour les personnes et plus encore pour les marchandises, à la moitié environ des kilomètres parcourus en 2050.

3.4. Production durable

À travers la maîtrise de nos modes de consommation, de nos bâtiments et de notre espace, ce sont l'ensemble des besoins de biens, d'équipements et de construction qui sont impactés. Il s'agit à la fois de réorienter la production pour répondre à cette évolution des besoins, mais aussi de réduire l'énergie grise et la consommation de matières premières non renouvelables associées à ces productions.

Une industrie plus efficiente

Le secteur de l'industrie suit historiquement une lente progression en termes d'intensité énergétique (la quantité d'énergie consommée en moyenne par unité de richesse produite), grâce à des efforts d'efficacité sur les process mais aussi du fait du recul progressif dans sa production de la part des filières industrielles les plus "énergivores".

Le scénario négaWatt mobilise tous les leviers pour aller, en lien avec les besoins de biens et d'équipements et dans une volonté de réduire l'ensemble de ses impacts, vers une industrie beaucoup plus efficiente. Cette projection intègre d'abord un développement plus poussé de l'efficacité énergétique dans l'ensemble des

chaînes de fabrication : malgré les efforts déjà observés dans ce domaine, un gisement important reste en effet à exploiter, par exemple dans la généralisation de moteurs à vitesse variable.

Mais la description de l'évolution possible de la production industrielle va plus loin, en se fondant sur une analyse extrêmement détaillée qui croise, filière par filière, les besoins finaux de biens et d'équipements et les besoins correspondants de matières. Cette analyse intègre, autant que possible, l'impact des actions menées sur la consommation : la lutte contre l'obsolescence programmée des biens, l'évolution du taux d'équipement des ménages en appareils, le résultat des actions de réduction du suremballage sur les besoins de plastique ou de verre, ou encore l'évolution des besoins de véhicules ou de matériaux de construction. La réorientation du secteur du bâtiment vers moins de démolitions / constructions neuves au profit de la rénovation des logements existants, de même que les besoins d'équipement liés au développement des filières de production d'énergie renouvelable sont également pris en compte.

La production industrielle nationale et l'empreinte

La production industrielle sur le territoire national varie en fonction des besoins, mais aussi au gré de l'évolution des importations et des exportations. Il est très difficile d'étayer une quelconque projection dans ce domaine. Il est tout aussi insatisfaisant, mais logique, de projeter par défaut un statu quo. Raisonner sans délocalisation ni relocalisation de productions industrielles ne permet dès lors pas de prendre en compte l'impact de ces évolutions éventuelles sur le bilan en énergie, en émissions de gaz à effet de serre, ou encore en matières.

Il s'agit pourtant d'un enjeu non négligeable, dès lors qu'on ne raisonne pas seulement au niveau territorial mais en "empreinte". Celle-ci cherche à comptabiliser les consommations d'énergie ou les émissions de gaz à effet de serre (on parlera d'empreinte énergétique ou d'empreinte carbone) engendrées par la consommation française, indépendamment du lieu géographique des productions associées. L'empreinte carbone est donc par exemple égale aux émissions mesurées sur le territoire national, en retirant celles associées à des exportations, mais en ajoutant les émissions à l'étranger correspondant à nos importations.

Pour rester comparable aux autres exercices prospectifs, et parce que l'évaluation détaillée de l'empreinte carbone est rendue complexe par un manque global de données fines sur le sujet, le scénario négaWatt conserve jusqu'en 2050 une production industrielle à périmètre constant. Il ne représente ni davantage de délocalisations, ni une relocalisation de l'économie. Pour chaque type de biens ou matériaux consommés, les ratios importations / consommation et exportation / consommation sont par hypothèse conservés.

À partir des résultats de cette analyse, le scénario négaWatt cherche à minimiser les besoins de matières premières non renouvelables, et ceci de plusieurs manières. La première est la généralisation du recyclage, qui permet lui-même d'agir sur plusieurs leviers, à commencer par la réduction de l'énergie grise contenue dans les produits finis : une tonne d'acier, de papier, de plastique ou de cuivre consomme entre deux fois moins – et jusqu'à cinquante fois moins dans le cas extrême de l'aluminium – à obtenir par recyclage qu'à produire à partir de matières premières "neuves". Mais c'est avant tout un moyen essentiel pour ralentir l'épuisement inéluctable à terme des matières premières non renouvelables que notre société industrielle consomme sans compter. Aussi, des efforts portant aussi bien sur le taux de collecte que sur celui de réutilisation des matières collectées dans la production industrielle permettent de multiplier par deux à trois selon les filières les taux de recyclage atteints en 2050 par rapport à la situation actuelle.

Pour réduire encore le besoin de matériaux non renouvelables, le scénario négaWatt va plus loin en cherchant à leur substituer autant que possible des matériaux d'origine renouvelable. Par exemple, la part du bois progresse sensiblement dans la construction comme dans la rénovation (structure, charpente, bardage, ouvertures, isolants, etc.). Plus largement, le recours à des matériaux biosourcés est encouragé, tout en veillant à rester compatible avec la satisfaction d'autres besoins vitaux qui incombe à l'agriculture et à la sylviculture (alimentation, biodiversité, qualité des sols, etc.). Enfin, cette substitution ne concerne pas que les matériaux *stricto sensu* : par exemple, la production d'hydrogène pour valoriser les excédents d'électricité renouvelable peut parfaitement alimenter certains process comme la fabrication d'ammoniac, ou des nouveaux procédés dans la sidérurgie.

Cet effort global sur les matières porte en particulier ses fruits vis-à-vis de la consommation de matières énergétiques fossiles pour des usages non énergétiques, c'est-à-dire comme matière première de productions industrielles. Celles-ci, sans être comptabilisées dans le bilan en énergie rapporté aux usages énergétiques, doivent être prises en compte. Elles représentent aujourd'hui à l'échelle de la France 214 TWh, dont 89 % de pétrole consommé pour les plastiques. La consommation de charbon, de gaz fossile et de pétrole pour ces usages non énergétiques est à terme limitée à un talon non substituable de 92 TWh, soit 2,3 fois moins que le niveau actuel.

Agriculture résiliente, sylviculture durable

Dans le domaine de la production agricole et sylvicole, le scénario négaWatt 2017-2050 s'appuie une nouvelle fois sur le scénario Afterres 2050. Celui-ci propose, en cohérence avec la démarche négaWatt, une approche systémique de l'utilisation des terres et de la biomasse visant un nouvel équilibre entre les grandes fonctions de celles-ci : alimentation humaine, alimentation animale, matériaux, énergie, écosystèmes et fonctions naturelles.

L'agriculture selon Afterres 2050 mobilise et généralise l'ensemble des meilleures pratiques et techniques disponibles. Le niveau de production primaire est maintenu par rapport au niveau actuel, mais les usages de ces productions sont profondément modifiés. Le solde exportateur diminue, mais nettement moins que dans le scénario tendanciel. Ceci répond à un souci de participation de la France à la sécurité alimentaire mondiale – avec en tête le risque d'effondrement des productions agricoles dans certaines régions du monde –, tout en supprimant le dumping actuel sur les exportations qui s'avère préjudiciable aux paysanneries des pays du Sud. Les pratiques telles que le non-labour et l'agroforesterie permettent de préserver l'humus des sols et/ou de stocker plus de carbone. La production de produits d'origine animale diminue significativement. Enfin, l'utilisation de co-produits végétaux comme matériaux ou pour l'énergie augmente.

Entre aujourd'hui et 2050, la France se couvre de nouveaux paysages au fur et à mesure de la généralisation des différentes formes d'infrastructures agroécologiques. Les effluents polluants (émissions de méthane et de protoxyde d'azote, engrais azotés, produits phytosanitaires) et les consommations de ressources (eau d'irrigation, artificialisation des terres, énergie) sont divisés d'un facteur 2 à 5. Leurs impacts sur la qualité de l'eau, de l'air et sur la biodiversité sont donc considérablement diminués.

Face au changement climatique, deux stratégies sont envisagées aujourd'hui pour la forêt. L'une consiste à intervenir le moins possible pour laisser la forêt s'adapter de façon naturelle, l'autre à privilégier au contraire l'intervention de l'homme pour accélérer la mutation. Dans les deux cas, il semble que la fonction de puits de carbone de la forêt française soit amenée à diminuer sensiblement, voire à devenir négligeable d'ici la fin du siècle. Toutefois, les stratégies de "sylviculture dynamique" ont le mérite de maintenir une fonction productive de la forêt, sans pour autant prôner son artificialisation, mais en veillant au contraire à augmenter la biodiversité et les aménités offertes par les espaces boisés en général. Le scénario Afterres2050 s'inscrit dans cette perspective, avec une production qui plafonne à 90 millions de m³ de bois dans les années 2040.

3.5. Substitutions entre énergies et entre vecteurs

Les besoins de fonctionnement des équipements, des bâtiments et des activités de production industrielle et agricole déterminent, ensemble, un niveau de consommation d'énergie finale. Il reste à fournir cette énergie aux consommateurs, et en amont de cela, à la produire. Le scénario négaWatt vise dans ce domaine à substituer les énergies fossiles et le nucléaire par les énergies renouvelables.

La fin programmée des fossiles et du nucléaire

La première étape consiste à s'interroger sur le rythme auquel les énergies aujourd'hui dominantes dans le système reculent pour à terme disparaître. Pour les énergies fossiles, la démarche est simple : dans la mesure où leur flexibilité le permet, dès lors que la consommation d'énergie diminue et que la production des renouvelables augmente, la consommation d'énergies fossile est diminuée d'autant, en lien avec les usages.

Entre son besoin de fonctionner "en base", c'est-à-dire à un niveau stable, la taille unitaire de chacun des 58 réacteurs en service, d'une puissance de 900 MWe à 1 450 MWe, et l'effet de falaise dû à leur âge, 80 % du parc ayant été mis en service en moins de 10 ans, le parc nucléaire ne s'ajuste pas facilement. Sa fermeture doit être planifiée, et donc faire l'objet d'une analyse spécifique dans le scénario. Celle-ci repose sur trois grands principes :

- sur le plan énergétique, la fermeture de réacteurs doit être articulée avec l'évolution de la consommation d'électricité et du développement des renouvelables, de manière à éviter un pic de recours aux centrales thermiques à flamme ;
- la priorité absolue doit être donnée à la sûreté nucléaire, et le vieillissement du parc de réacteurs constitue de ce point de vue une préoccupation croissante ;
- à terme, sur le plan industriel, il ne fait pas sens de laisser fonctionner longtemps un parc de quelques réacteurs avec l'outil industriel (usines de combustible) et institutionnel (évaluation et contrôle) tel qu'il est dimensionné aujourd'hui, ni de le redimensionner pour s'adapter.

Le choix va devoir se faire dans les prochaines années, alors que les réacteurs vont les uns après les autres atteindre l'échéance de leur quatrième visite décennale (VD4) et que l'autorisation de poursuivre leur fonctionnement devrait être soumise à la réalisation de travaux potentiellement très coûteux. Compte tenu des risques associés et des alternatives, ces investissements ne sont pas réalisés dans le scénario négaWatt : cette prolongation, présentée comme un moyen de donner du temps à la transition énergétique, conduirait en réalité à la retarder. Au final, aucun des 58 réacteurs ne se trouve ainsi prolongé dans le scénario négaWatt. Leurs fermetures sont un peu lissées, par anticipation de l'échéance de la VD4, jusqu'à la dernière fermeture, projetée en 2035. Par ailleurs, le réacteur EPR de Flamanville, affecté par de graves problèmes de qualité et conçu pour fonctionner jusqu'en 2080, n'est pas pris en compte dans le scénario négaWatt.

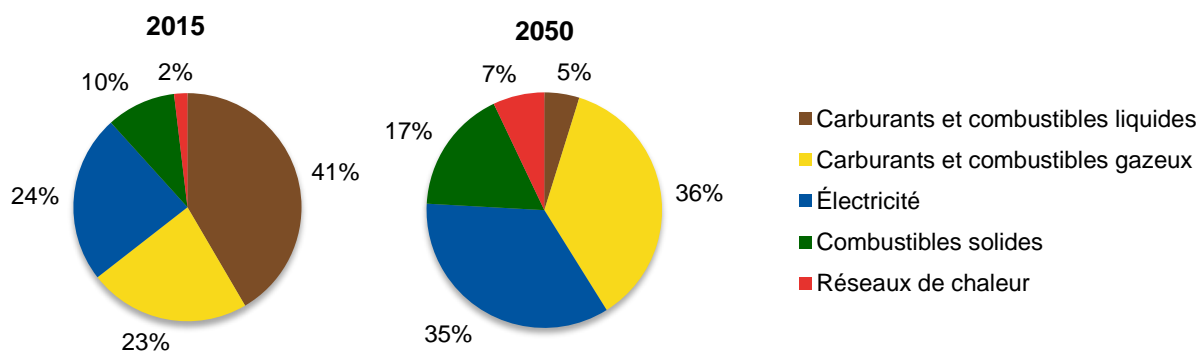
L'arbitrage entre vecteurs énergétiques

Ce n'est en réalité pas au niveau des ressources primaires que le scénario articule la substitution, mais au niveau des **vecteurs**, en cherchant quels pourraient être, dans chacun des secteurs étudiés et pour chacun des usages, les vecteurs énergétiques les plus appropriés.

Cette méthodologie a par exemple conduit le scénario négaWatt à envisager un développement raisonné du véhicule électrique. Loin d'en faire une solution unique et universelle, il le réserve principalement aux trajets urbains et péri-urbains, pour lesquels il a le mérite supplémentaire de participer à la réduction des nuisances sonores, et envisage avec une certaine prudence son développement en milieu rural. Le vecteur gaz lui est préféré pour la majorité des trajets effectués par les particuliers (à terme les $\frac{3}{4}$ des voyageurs.km sont effectués grâce au gaz, le reste avec l'électricité). Ce vecteur alimente également la totalité du trafic routier de marchandises en 2050.

De même, le fort développement des usages performants de l'électricité (pompes à chaleur, fours à induction) est envisagé dans le bâtiment et dans l'industrie, pour le chauffage, la production d'eau chaude sanitaire, les process industriels, où son efficacité est pertinente. Cette électrification plus poussée permet de réserver le gaz à des usages où il est le meilleur candidat grâce à sa flexibilité, à sa densité énergétique et à sa facilité de stockage.

Au global, la quasi-totalité des carburants et combustibles liquides est remplacée par les vecteurs gaz et électricité. Contribuant aujourd'hui à part pratiquement égales à l'approvisionnement énergétique, chacun voit sa part augmenter parallèlement d'ici à 2050, pour arriver à des contributions à nouveau de même grandeur. Reposant sur un mix équilibré, le scénario négaWatt envisage enfin une augmentation de la part des combustibles solides, favorisant ainsi l'utilisation de la biomasse dans le bâtiment.



Répartition en 2015 et 2050 des vecteurs consommés par les utilisateurs finaux

La décarbonation de l'énergie

Source par l'excès de sa concentration dans l'atmosphère d'une grande partie de nos problèmes actuels, le carbone est aussi l'un des principaux éléments chimiques à la base du cycle de la vie.

Présent dans les hydrocarbures fossiles comme le charbon, le pétrole ou le gaz "naturel" issus de la décomposition de matières organiques dans le sol sur des temps géologiques, il l'est aussi dans toutes les matières organiques à cycle court, notamment celles qui peuvent avoir un usage énergétique que l'on appelle les bioénergies : bois et autres combustibles solides (pailles), biogaz, bio-carburants liquides, etc. Enfin, même s'il n'est pas présent physiquement dans les vecteurs "sans carbone" comme l'électricité ou l'hydrogène, il peut très bien avoir participé à leur production, par exemple dans une centrale à charbon pour la première, le craquage de molécules de gaz "naturel" pour le second.

Ainsi, dans la perspective de la lutte contre les changements climatiques, la notion de décarbonation de l'énergie signifie

exclusivement l'absence de carbone d'origine fossile tout au long de la chaîne énergétique considérée, pas seulement dans l'un ou l'autre des différents vecteurs qui la constituent, et pas non plus du carbone d'origine renouvelable.

La consommation mondiale d'énergie repose actuellement à 90 % (80 % pour la France) sur des vecteurs qui contiennent du carbone, qu'il soit d'origine fossile ou renouvelable. Même si les vecteurs sans carbone sont appelés à les remplacer en partie, il est en pratique impossible de s'en passer intégralement d'ici 35 ans et même peu probable que l'on puisse le faire à plus long terme.

La transition énergétique consiste donc en partie à remplacer du carbone d'origine fossile par du carbone d'origine renouvelable, ce qui pose la question de la disponibilité de ce dernier en quantité suffisante.

L'augmentation conjointe des vecteurs gaz et électricité permet de s'affranchir progressivement de notre consommation de pétrole, première énergie fossile utilisée en France. En 2050, le charbon a lui aussi presque totalement disparu. Le gaz fossile, nécessaire dans une période de transition, s'efface ensuite régulièrement grâce à la mobilisation du gaz d'origine renouvelable. De manière encore plus rapide que pour le vecteur gaz, l'électricité arrive au cours de cette transition énergétique à un approvisionnement à 100 % renouvelable.

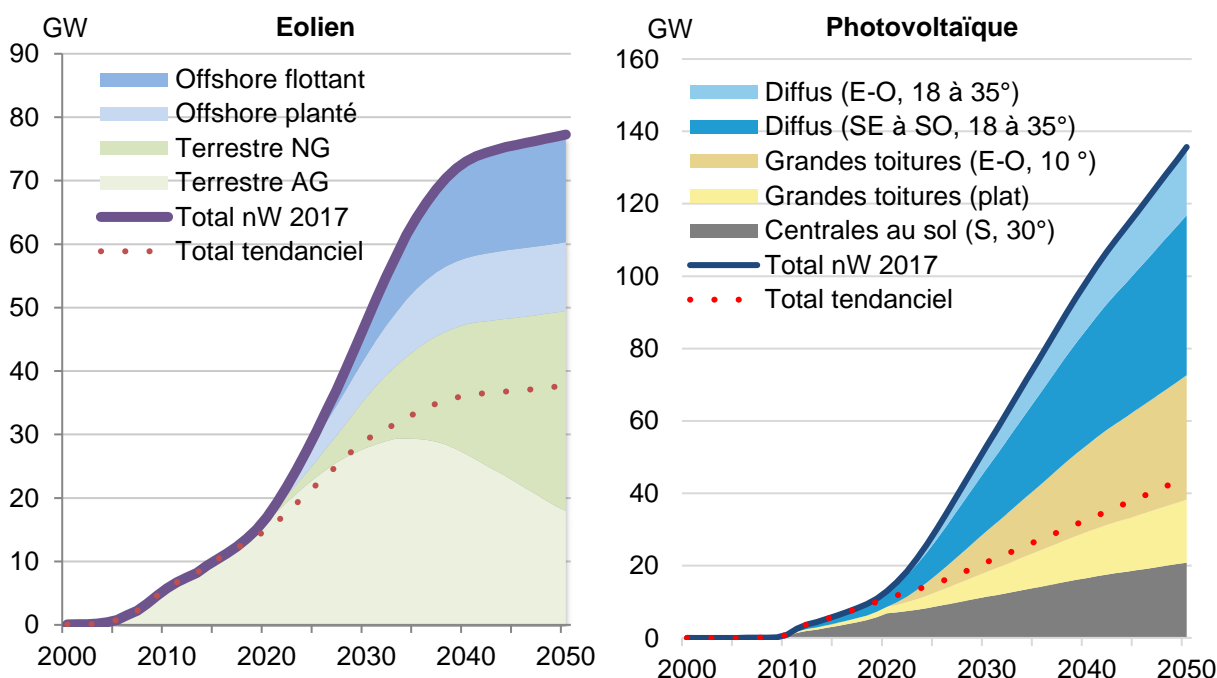
3.6. Mobilisation des renouvelables

Cette décarbonation des vecteurs est possible grâce à l'application de la sobriété et de l'efficacité dans l'ensemble des secteurs de consommation et de production, et grâce à un développement ambitieux mais réaliste des filières renouvelables considérées comme étant les plus matures. Si la biomasse solide reste la première source d'énergie renouvelable tout au long de la trajectoire proposée par le scénario négaWatt, l'éolien – et dans une moindre mesure le photovoltaïque – connaissent un développement considérable, et assurent la grande majorité des besoins d'électricité en 2050.

Électricité renouvelable

Première source d'électricité en 2050, la production éolienne terrestre et en mer croît de façon très soutenue, fournissant 123 TWh en 2030 et 247 TWh en 2050. Elle est assurée principalement par des éoliennes terrestres avec 49 GW installés en 2050, grâce à un développement progressif des éoliennes dite de nouvelle génération (NG), plus fortement toilées et adaptées à des vents plus faibles. Par rapport à la situation actuelle, le parc terrestre est multiplié par 3,1 en 2050, soit un total d'environ 18 000 éoliennes ... à comparer aux 26 800 éoliennes déjà implantées en Allemagne fin 2015 !

Cette production à terre est complétée par l'implantation d'éoliennes en mer sur fondations pour 11 GW en 2050 ainsi que par des éoliennes sur barges flottantes à partir de 2025, avec une croissance jusqu'à 17 GW en 2050 : cette filière présente un potentiel significatif à la fois en Atlantique et en Méditerranée, permettant de développer des projets industriels complets de reconversion industrielle, notamment pour le secteur pétrolier et les chantiers navals.



Evolution des puissances installées d'énergies éolienne et photovoltaïque

Le photovoltaïque connaît lui aussi un essor important, qu'il s'agisse de petites installations sur maisons individuelles, d'installations de taille moyenne sur des bâtiments plus importants, d'ombrières de parkings ou de grands parcs au sol sur des friches industrielles ou des terrains délaissés impropres à l'agriculture. Un module spécifique intégré dans la modélisation du scénario négaWatt permet d'optimiser l'orientation et l'inclinaison par grandes régions et par type de système afin de réduire les pointes de production de midi et de favoriser le début de matinée et la fin d'après-midi. En 2050, la production annuelle total du parc atteint 147 TWh pour une puissance installée de 140 GW.

Filière historique, l'hydraulique ne dispose pas d'un potentiel important de développement. Entre d'un côté l'amélioration des ouvrages existants et l'équipement de sites anciennement utilisés sans porter atteinte à la biodiversité, de l'autre la baisse de la ressource en eau imputable au dérèglement climatique estimée à 15 % en 2050, la production hydraulique, avec une production annuelle de 54 TWh, reste globalement stable sur la durée du scénario négaWatt.

Enfin, le développement des énergies marines (hors éolien off-shore) reste limité. Si des prototypes de taille industrielle sont aujourd'hui à l'essai, les retours d'expérience ne sont pour l'instant pas tous probants. Pour cette filière, le scénario négaWatt envisage une production d'environ 14 TWh à l'horizon 2050.

La complémentarité des sources et des réseaux

Les deux grandes sources d'électricité en 2050 que sont l'éolien et le photovoltaïque ont un caractère variable qui renvoie a priori à un risque de manque de production imposant de faire appel à d'autres sources, notamment pilotables, pour assurer la sécurité d'approvisionnement.

Dans un système électrique 100% renouvelable dans lequel elle se taillent la part du lion avec une puissance totale installée très nettement supérieure à la pointe de puissance appelée par les consommateurs, c'est au contraire la valorisation des nombreux et fréquents excédents qui devient une question centrale d'un point de vue technico-économique.

Embryonnaire en 2011, la solution qui s'impose aujourd'hui est celle du "power-to-gas" qui combine la production d'hydrogène par électrolyse de l'eau et, lorsque les volumes deviennent vraiment importants, la réaction de ce dernier avec du CO₂ pour produire du méthane de synthèse.

Cette *méthanation* qui représente la troisième source de gaz renouvelable avec la gazéification et la méthanisation est particulièrement complémentaire de cette dernière dont le produit (biogaz) contient près de 50% de CO₂ qu'il doit être épuré en cas d'injection dans le réseau. Si l'on ajoute les co-produits valorisables que sont la chaleur (la méthanation est exothermique) et l'oxygène issu de l'électrolyse de l'eau, on a là un exemple particulièrement probant et pertinent d'économie circulaire et d'écologie industrielle.

Outre l'avantage de pouvoir être stocké dans les infrastructures existantes (réseau gazier) le méthane produit permet de bénéficier à plein la très grande flexibilité du vecteur gaz en matière d'usage, y compris la production électrique d'appoint pouvant contribuer à assurer la sécurité du réseau.

On notera pour finir que la combinaison entre des ressources dont la disponibilité est loin d'être saturée et des outils de flexibilité extraordinairement puissants comme le power-to-gas permet d'envisager avec sérénité l'augmentation sensible de la production d'énergie qui serait nécessaire pour faire face aux besoins d'une relocalisation poussée de l'industrie.

La biomasse énergie

Afterres2050 pose comme principe de ne pas dédier de terres à la seule production d'énergie. La biomasse utilisée pour l'énergie provient essentiellement de matières dérivées d'autres usages, dans une logique de priorité des fonctions. Pour le bois, il s'agit principalement de productions liées à du bois utilisé comme matériau (construction et industrie, dont les nouveaux usages de matériaux biosourcés en substitution aux hydrocarbures) et aux opérations de sylviculture permettant d'assurer une meilleure adaptation de la forêt au changement climatique ; de sous-produits générés à chaque stade de transformation et de consommation de produits à base de bois ; et de la valorisation des arbres « hors forêt », notamment de l'agroforesterie.

Le biogaz est produit également à partir de résidus de cultures, de déjections d'élevage, de biodéchets, et de couverts végétaux. Ces derniers assurent des fonctions agroécologiques et sont généralisés sur la quasi totalité des terres arables en 2050. Les installations de méthanisation jouent également un rôle clé dans la transition agroécologique, notamment dans la substitution de l'azote de synthèse (actuellement produit à partir de gaz naturel) par de l'azote d'origine biologique. Elles constituent aussi une source de gaz carbonique indispensable à la filière méthanation.

La production de biocarburants de 1^{ère} génération est fortement réduite et se limite aux besoins de production de tourteaux, co-produits des biocarburants utilisés en alimentation animale, en substitution des importations de soja. La production d'algues à des fins alimentaires génère également des co-produits pouvant être source d'énergie (huile, alcool, biogaz).

Le scénario négaWatt 2017 prévoit une production de biocarburants 2nde génération à partir de matériaux ligno-cellulosiques (paille, bois) pour les usages qui semblent difficilement pouvoir être assurés par le gaz et l'électricité et nécessitent des carburants liquides, comme l'aviation. Il existe désormais plusieurs technologies que l'on peut considérer comme matures sur le plan technologique. Leur complexité et leur coût les réservent à des usages particuliers et limités en volume.

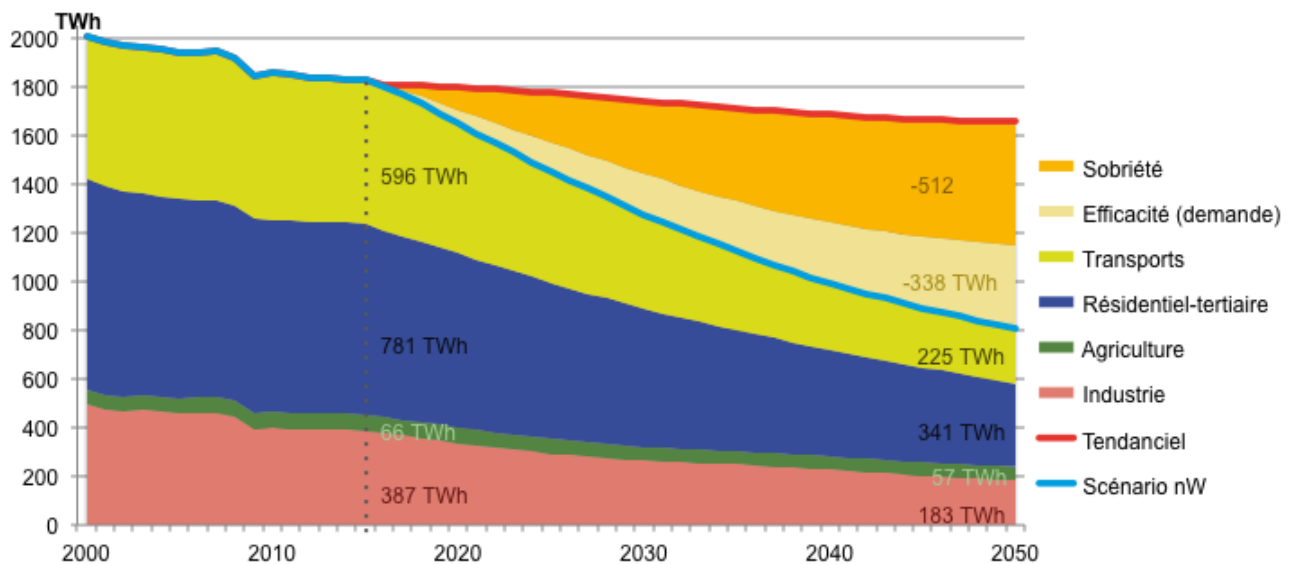
04.

Bilan global du scénario

Les transformations des modes de consommation, d'occupation des bâtiments et de l'espace, de production agricole et industrielle et de production d'énergie nécessaires pour atteindre les objectifs du scénario négaWatt modifient profondément le bilan énergétique de la France, ainsi bien sûr que ses émissions de gaz à effet de serre.

4.1. Énergie finale

À l'issue des différentes actions prévues dans le scénario négaWatt, la consommation d'énergie finale est divisée par deux en 2050 par rapport à son niveau de 2015. En comparaison de la réduction beaucoup plus modeste de la consommation dans le scénario tendanciel, cette baisse s'explique par un effort sur la demande réparti entre la sobriété (60%) et l'efficacité (40%).



Bilan en énergie finale du scénario négaWatt, par secteur de consommation

L'évolution est toutefois contrastée selon les principaux secteurs de consommation de l'énergie. Le **résidentiel-tertiaire** enregistre une baisse significative de 56 % par rapport à 2015, dans laquelle l'impact de la sobriété est loin d'être négligeable. Combinant les efforts de maîtrise des surfaces, d'usage des services de chaleur et de froid et d'utilisation des appareils électriques, celle-ci représente un bon tiers des réductions supplémentaires par rapport au scénario tendanciel. C'est toutefois l'efficacité qui joue dans ce secteur le rôle le plus important. Outre la performance renforcée de l'enveloppe des bâtiments neufs et de tous les équipements, l'essentiel se joue dans la mise en œuvre d'un vaste programme de rénovation thermique en profondeur de l'ensemble des bâtiments existants d'ici à 2050.

Ces actions menées au niveau de la demande s'accompagnent de substitutions entre vecteurs qui modifient fortement les parts modales des énergies utilisées pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire. Cette évolution se fait au profit des pompes à chaleur, principalement électriques, et de la biomasse, aux dépens de l'électricité par effet Joule et du fioul, qui disparaissent complètement, mais aussi dans une moindre mesure du gaz de réseau. En incluant les consommations d'électricité des appareils, et en tenant compte de l'évolution des mix électrique et gaz, le taux de couverture des besoins dans les bâtiments par les énergies renouvelables passe dans le résidentiel-tertiaire de 20,7 % en 2015 à quasiment 100 % en 2050.

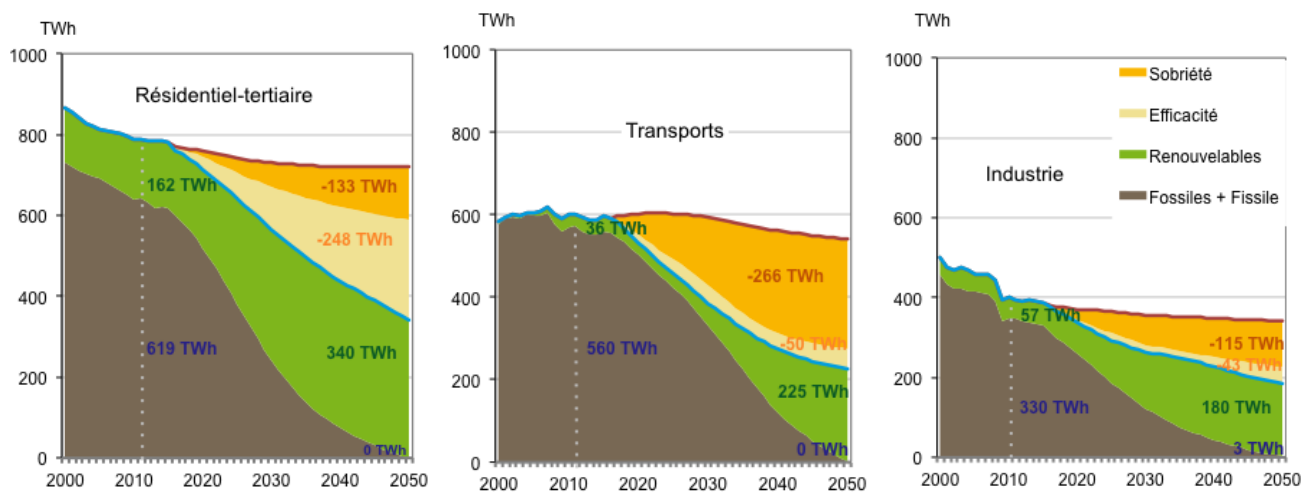
C'est dans le secteur des **transports** que la réduction est la plus marquée, avec une baisse de 62 % par rapport à 2015. Celle-ci s'explique en partie par les gains en efficacité, notamment du fait de la pénétration des véhicules électriques et de la performance accrue des véhicules hybrides. Toutefois, par rapport au tendanciel, dans lequel une bonne partie de ces gains sont également pris en compte, c'est la sobriété au sens large qui représente plus des 4/5^{èmes} de la baisse supplémentaire. La maîtrise des distances grâce à un urbanisme repensé, le transfert modal vers le ferroviaire et les transports en commun, et l'amélioration des taux de

remplissage des véhicules, grâce notamment à la banalisation du co-voiturage et à de meilleures pratiques de chargement des poids-lourds, sont les principaux leviers permettant d'atteindre ce résultat.

C'est aussi dans ce secteur fortement dépendant au pétrole que la substitution est la plus spectaculaire, même si elle n'est pas complète. Entre le recours au carburant gaz, qui devient progressivement renouvelable, et la place de la mobilité électrique, la part des énergies renouvelables dans les transports passe de 6 % aujourd'hui à presque 100 % en 2050.

Comme dans les transports, la sobriété (à travers la réduction des tonnages induite par la sobriété dans les autres secteurs, l'augmentation des taux de recyclage et la réduction des emballages) conduit à une réduction très sensible de la consommation dans l'**industrie**, puisque qu'elle représente un tiers de la consommation tendancielle. L'efficacité énergétique accrue des process conduit à une baisse supplémentaire de 13 % environ par rapport au tendanciel, qui en inclut déjà une part. Dans le même temps, le remplacement des énergies fossiles par la biomasse dans les process et l'évolution du mix énergétique permettent d'atteindre ici encore à un taux élevé de substitution, passant de 15 % à 98,5 % d'énergies renouvelables entre 2015 et 2050.

Enfin, l'**agriculture** n'occupe dans la consommation finale d'énergie qu'un rôle marginal, avec moins de 4 % du total. Cela n'empêche pas d'appliquer à ce secteur des efforts de sobriété et surtout d'efficacité dans les consommations d'énergie des bâtiments et des engins agricoles, qui représentent au total une baisse de 15 % par rapport à 2015. De même, les logiques de substitution permettent de passer de 7 % d'énergies renouvelables dans cette consommation finale aujourd'hui à quasiment 100 % à l'horizon 2050.



Bilan en énergie finale et en substitution du scénario négaWatt, dans le résidentiel-tertiaire, les transports et l'industrie

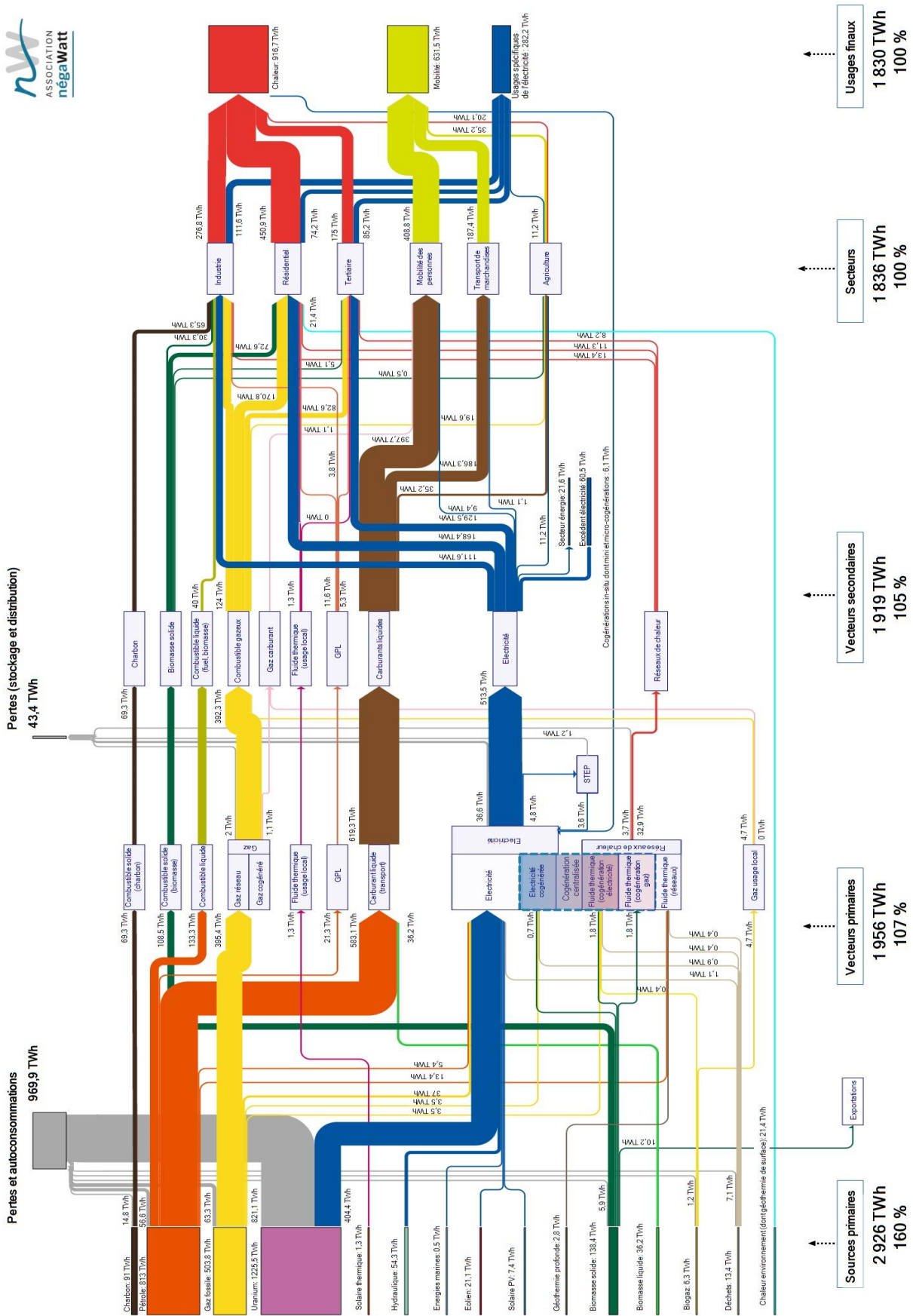
4.2. La mutation du système énergétique

Au-delà des évolutions mesurées en énergie finale dans les différents secteurs de consommation, c'est l'ensemble du système énergétique qui se trouve profondément transformé. Les diagrammes de Sankey, qui permettent de visualiser année par année le bilan de l'ensemble des flux, des transformations et des pertes intervenant entre les ressources mobilisées pour la production d'énergie et les usages finaux de cette énergie, rendent pleinement compte de cette mutation.

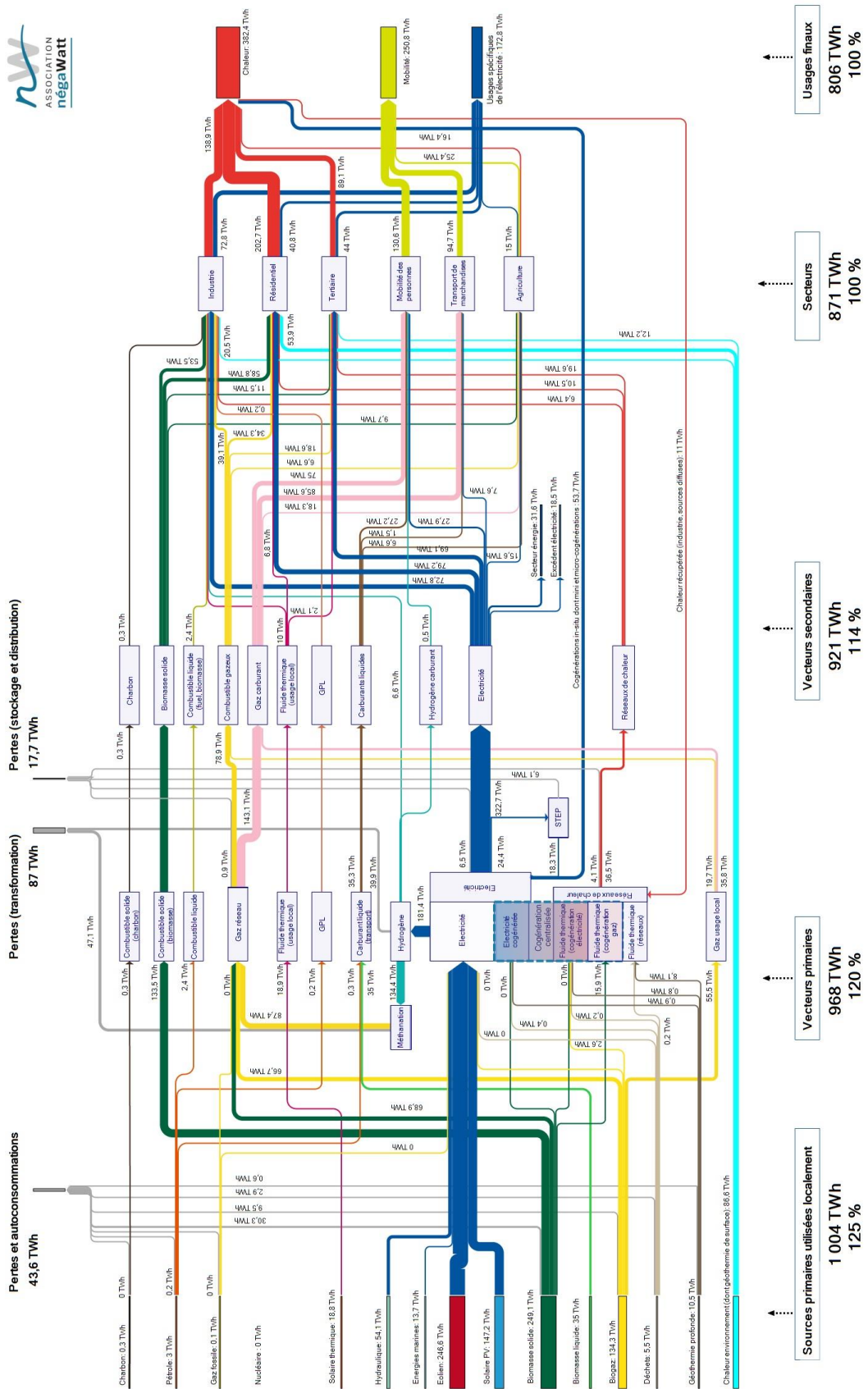
La comparaison visuelle entre la situation de 2015 et celle de 2050 met en évidence de manière éclatante les limites du système énergétique actuel. Outre son degré très élevé de dépendance au pétrole, au gaz et aux matières fissiles, tous importés, on note sa piètre efficacité globale, caractérisée notamment par la perte des deux tiers de l'énorme quantité d'énergie primaire mobilisée par le parc nucléaire sous forme de chaleur dissipée dans l'environnement. Cette quantité est pratiquement équivalente à la totalité de la chaleur finale consommée dans les bâtiments en France – chaleur qui constitue par ailleurs de loin, en y ajoutant celle consommée dans l'industrie, le premier poste de consommation d'énergie finale (50 %), devant la mobilité (34,5 %) et l'électricité spécifique (15,5 % en comptant les équipements dans le résidentiel-tertiaire et les process dans l'industrie).

Le système énergétique découlant de la mise en œuvre du scénario négaWatt en 2050 est radicalement différent. En premier lieu, les efforts de sobriété sur les usages et de performance énergétique sur les équipements ont fortement réduit les quantités d'énergie finale nécessaires à la satisfaction des besoins de chaleur, de mobilité et d'électricité spécifique dont la hiérarchie reste la même. Ramenés à ce niveau, les besoins peuvent être satisfaits en quasi-totalité par le mix des énergies renouvelables qui se sont progressivement développées.

Enfin les diagrammes de Sankey permettent de saisir toute l'importance de la cohérence du choix des vecteurs énergétiques. Les combustibles et carburants liquides, vecteur dominant en 2015, ont pratiquement disparu en 2050 : forme privilégiée d'utilisation du pétrole, ils sont au contraire peu performants et problématiques pour la valorisation de la biomasse qui a remplacé l'or noir comme source primaire. Derrière l'électricité, dont la quantité totale se réduit d'un quart mais qui devient le premier vecteur énergétique, le gaz et les combustibles solides s'imposent pour une utilisation optimale des bio-énergies. Grâce à la diversité de ses sources (méthanisation, gazéification et méthanation) et à la flexibilité de ses usages, le vecteur gaz joue à plein la complémentarité avec l'électricité, dont il produit du reste une partie certes marginale mais très utile à l'équilibre et à la sécurité du réseau.



Bilan énergétique ressources-vecteurs-usages de la France, reconstitué pour 2015



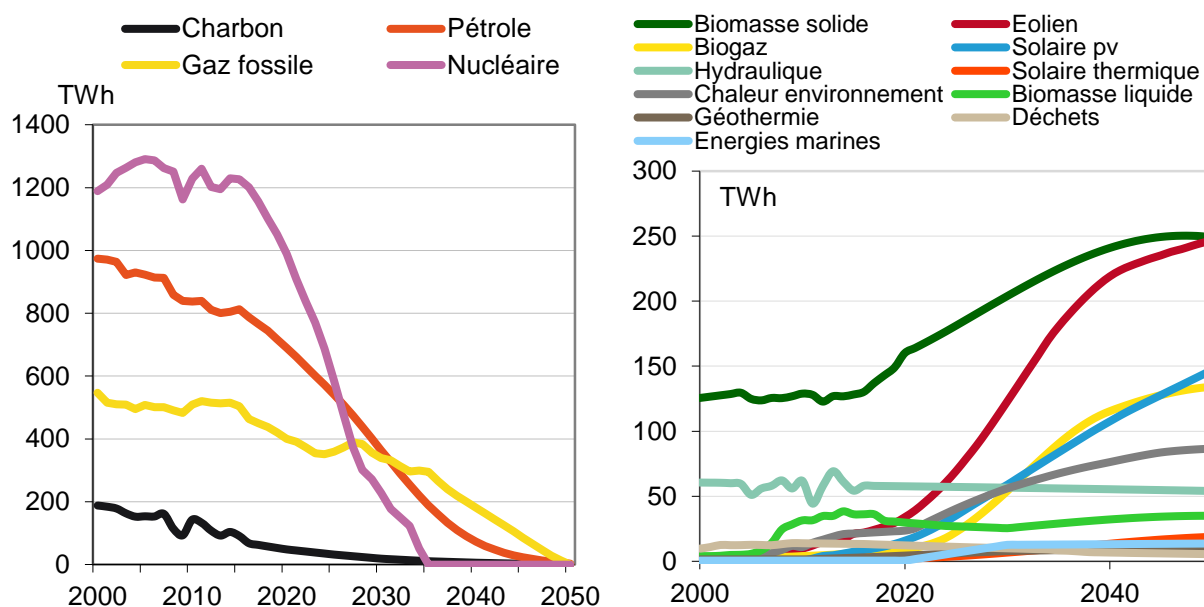
Bilan énergétique ressources-vecteurs-usages de la France à l'issue du scénario négaWatt, en 2050

4.3. Énergie primaire

La remontée opérée par le modèle négaWatt depuis les usages vers les ressources *via* le choix des vecteurs permet une transformation profonde du système énergétique à travers une action globale de substitution des sources primaires. Celle-ci repose sur un développement volontariste mais néanmoins prudent et réaliste des énergies renouvelables, qui se combine avec un abandon progressif des énergies fossiles et du nucléaire.

La fermeture des réacteurs avant tout investissement dans la prolongation de leur durée de vie au-delà de leur quatrième visite décennale conduit à un arrêt complet de leur production en 2035. Le charbon, puis le pétrole et enfin le gaz fossile auquel se substitue peu à peu le gaz d'origine renouvelable sont progressivement ramenés à des niveaux marginaux, qui ne correspondent plus qu'à des usages très spécifiques et jugés aujourd'hui non substituables pour des raisons technologiques. Le rythme de cette réduction est piloté par la combinaison de la baisse de la demande et du développement des renouvelables.

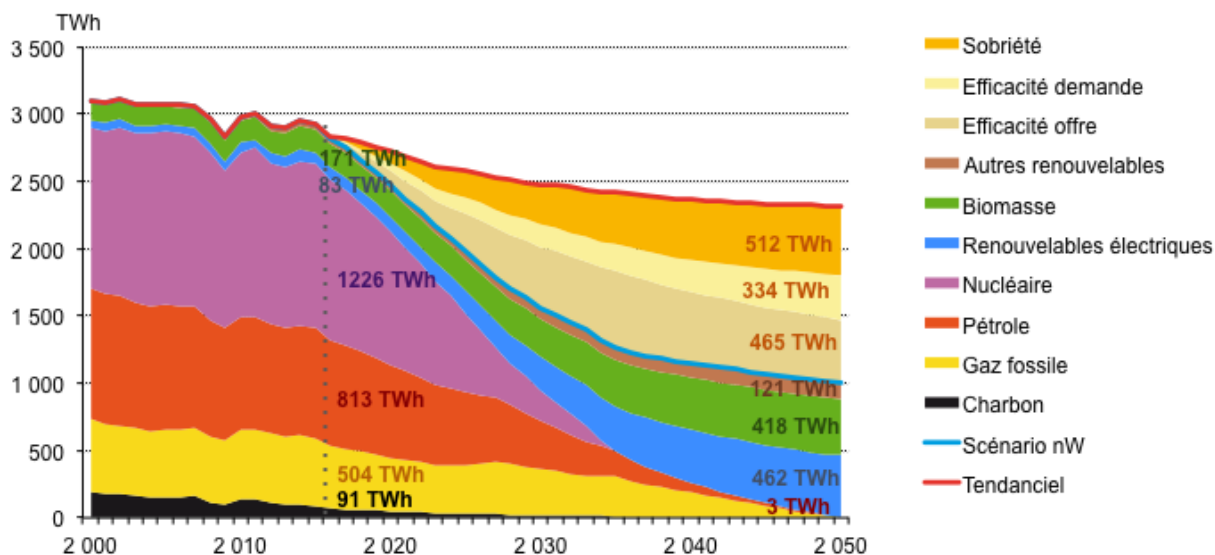
Ce dernier tire profit de leur grande diversité en privilégiant les ressources dont les filières d'exploitation sont les plus matures aujourd'hui : l'éolien, appelé à devenir la première source d'énergie, et la biomasse solide fournissent chacun près d'un quart de la production, suivis par le photovoltaïque et le biogaz issu de méthanisation ou de gazéification, qui contribuent à hauteur d'un peu plus d'un huitième chacun – le reste étant apporté par un mélange d'hydraulique, de biocarburants liquides, de solaire thermique, de géothermie, d'énergies marines et de déchets.



Mobilisation des ressources énergétiques fossiles et fissile et des énergies renouvelables dans le scénario négaWatt

Au total, la consommation d'énergie primaire est réduite de 66 % en 2050 par rapport à son niveau de 2015. Outre la contribution de la sobriété et de l'efficacité sur la demande observée dans le bilan en énergie finale, ce résultat tient aussi à une très forte réduction des pertes dans le système de production et de transformation de l'énergie. Ainsi, le rendement global entre l'énergie primaire mobilisée et l'énergie finale utilisée par les consommateurs passe de 62,5 % à 80 %. Au total, les gains en efficacité sur l'offre représentent plus des 2/5^{èmes} de la différence observée entre le scénario négaWatt et le scénario tendanciel en 2050.

Les énergies renouvelables assurent à cet horizon un approvisionnement qui frise les 1 000 TWh, soit une multiplication par 3,4 de leur contribution actuelle. Combiné à la réduction de la demande, cet accroissement est suffisant pour contrebalancer la fin programmée des énergies fossiles et du nucléaire. Au total, 99,7 % des besoins en énergie primaire sont couverts par les énergies renouvelables, intégralement produites sur le territoire national. Près la moitié de ce total provient de sources électriques, et plus de 40 % de la biomasse.



Bilan en énergie primaire du scénario négaWatt, par ressource énergétique

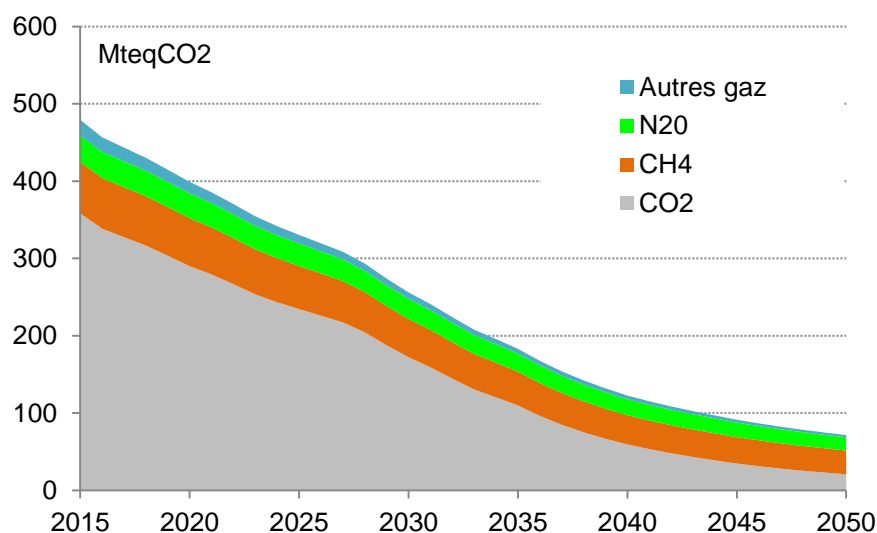
4.4. Gaz à effet de serre

La mise en œuvre du scénario négaWatt permet de d'éliminer d'ici 2050 la quasi-totalité des émissions de gaz carbonique (CO₂) dues à tous les secteurs d'activités en France, et de réduire considérablement les émissions de tous les autres gaz à effet de serre.

Les émissions de gaz carbonique (CO₂ énergie et CO₂ non énergie dans l'industrie) décroissent ainsi de 358 millions de tonnes (niveau 2015) à 21 en 2050, et sont donc divisées par 17.

La réduction des émissions de méthane (CH₄) est plus contrainte puisqu'un volume important d'émissions est dû à des activités agricoles ou d'élevage pour lesquelles une suppression ou une substitution n'est pas possible. Ces émissions sont cependant réduites d'un facteur 2,2, passant de 66,5 (niveau 2015) à 31 millions de tonnes d'équivalent-carbone (MteqCO₂) en 2050, devenues donc légèrement supérieures aux émissions de CO₂.

Les émissions de protoxyde d'azote (N₂O) sont également fortement réduites d'un facteur 2. Il s'agit également pour la majeure partie de gaz d'origine agricole, émis de manière diffuse par des processus biologiques qu'il n'est pas possible de supprimer dans l'état actuel des connaissances. Les émissions des autres gaz fluorés restent marginales (PFC, NF₃, SF₆), ou sont très fortement réduites (HFC).



Émissions brutes de gaz à effet de serre (MteqCO₂) dans le scénario négaWatt

La vitesse de décroissance annuelle des émissions, qui est de l'ordre de -1,5 % en moyenne par an depuis 2000, s'accélère régulièrement pour atteindre -5,5 à -7 % par an entre 2027 et 2042 lorsque la transition énergétique produit son plein effet. Ce taux annuel de réduction diminue ensuite, la phase principale de la transition vers une économie décarbonée étant réalisée.

Au total, les émissions brutes de gaz à effet de serre (GES) dans le scénario négaWatt sont réduites de 480 MteqCO₂ en 2015 à 71 MteqCO₂ en 2050, soit d'un facteur 6,8. Par rapport à la valeur de référence de 1990, le facteur 2 est atteint en 2031 et le facteur 4 dès 2040.

Le scénario tendanciel, quant à lui, avec un niveau de réduction de l'ordre de 1 % par an, émet 348 MteqCO₂ en 2050, soit un facteur de réduction de l'ordre de 1,4, bien en-deçà du facteur 4 inscrit dans la loi française.

05.

Maîtrise des impacts et des risques

À l'issue de ce bilan énergétique, les flux d'énergie associés au scénario, et leur transformation, permettent moyennant quelques analyses complémentaires d'élargir le bilan du scénario négaWatt à d'autres paramètres physiques. Ceci permet d'évaluer ses impacts sur plusieurs plans, à commencer par la question cruciale de la lutte contre le changement climatique. Cette évaluation des bénéfices associés au scénario est complétée par d'autres éclairages, sur la pollution atmosphérique ou sur la sécurité énergétique par exemple.

5.1. Lutte contre le changement climatique

Pour apprécier la contribution du scénario négaWatt 2017-2050 à la lutte contre le changement climatique, les résultats du bilan établi non seulement sur le CO₂ énergie, mais sur l'ensemble des gaz à effet de serre, constituent une base indispensable. Ils doivent cependant être placés dans une perspective plus large, tenant compte à la fois du stockage naturel de carbone, de la trajectoire au-delà de 2050, et du niveau d'effort de la France dans une trajectoire mondiale.

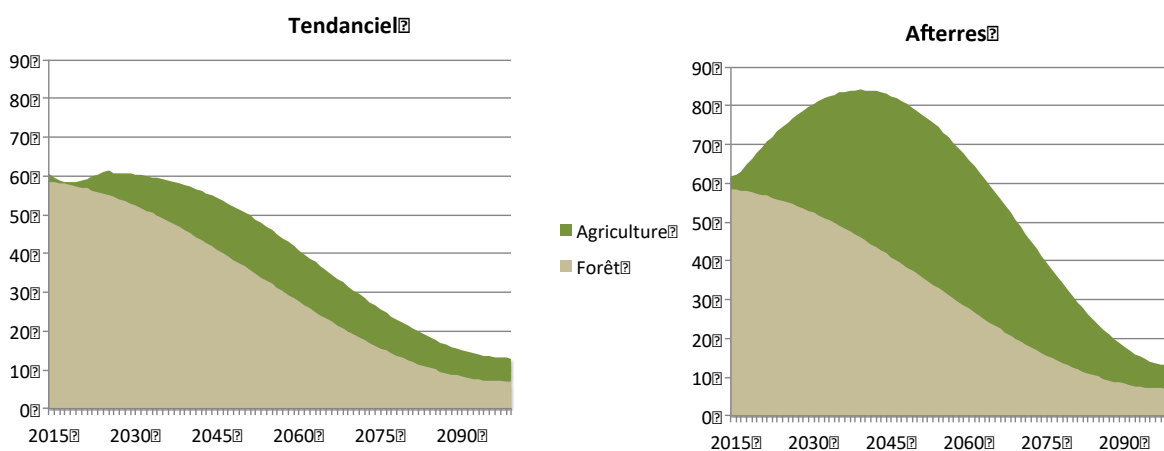
Zéro émissions nettes en 2050

Les émissions de gaz à effet de serre sont en partie compensées par le stockage : c'est l'effet « puits de carbone », imputable aujourd'hui en France principalement à la forêt, dont la croissance permet d'absorber l'équivalent de plus de 10 % de nos émissions brutes. On parle ainsi d'émissions nettes. Les pratiques culturales mises en œuvre dans le scénario Afterres permettent d'accroître le stockage de carbone par l'agriculture. Le puits de carbone national passe ainsi de 62 MteqCO₂ par an à plus de 80 MteqCO₂ sur la période 2030 à 2050, contre une légère décroissance à 48 MteqCO₂ dans le scénario tendanciel.

Dans le scénario négaWatt, le solde des émissions nettes (émissions brutes - stockage) se réduit ainsi jusqu'à une valeur nulle en 2050 : la France est alors totalement "neutre", toutes activités confondues, vis-à-vis de toutes les émissions de gaz à effet de serre !

L'après-2050 : les limites des solutions actuelles

Il est probable cependant que l'effet "puits de carbone" forestier vienne à plafonner rapidement, puis à diminuer régulièrement jusqu'à la fin du siècle, sous l'effet du changement climatique. Si cette diminution est compensée au départ par l'effet de stockage en agriculture, ce n'est plus le cas après 2050 : un stock maximal de carbone finit nécessairement par être atteint, et l'agriculture pourrait perdre à son tour sa fonction de puits de carbone à la fin du siècle.



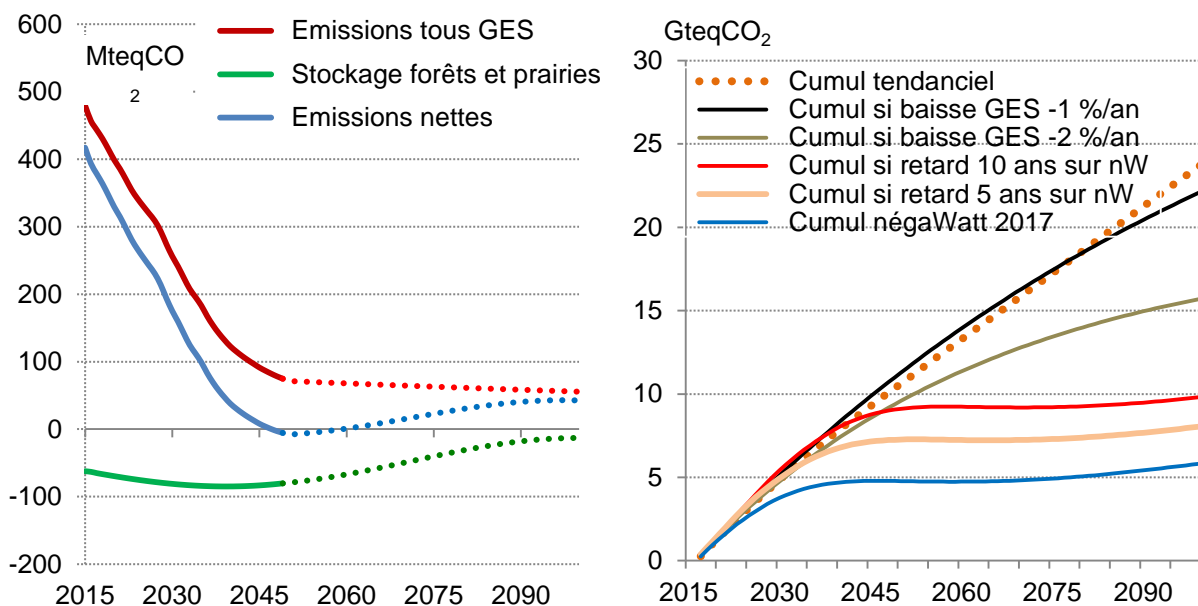
Évolution des puits de carbone selon les scénarios tendanciel et Afterres, en Mt CO₂ par an

En absence de nouvelles mesures autres que celles imaginées dans les scénarios négaWatt et Afterres, les émissions brutes diminueraient donc a priori peu sur la seconde moitié du siècle tandis que l'effet puits de carbone s'atténuerait progressivement : les émissions nettes remonteraient alors vers 40 MteqCO₂ à l'horizon 2100.

Emissions cumulées et effet retard

Au-delà du volume d'émissions en 2050 ou en 2100, il est surtout nécessaire, dans une perspective de lutte mondiale contre le dérèglement climatique, d'évaluer le cumul des émissions françaises de GES, c'est-à-dire la part française des émissions dans le "budget-carbone global" qui reste possible d'ici 2100 pour limiter le niveau d'augmentation de température du globe.

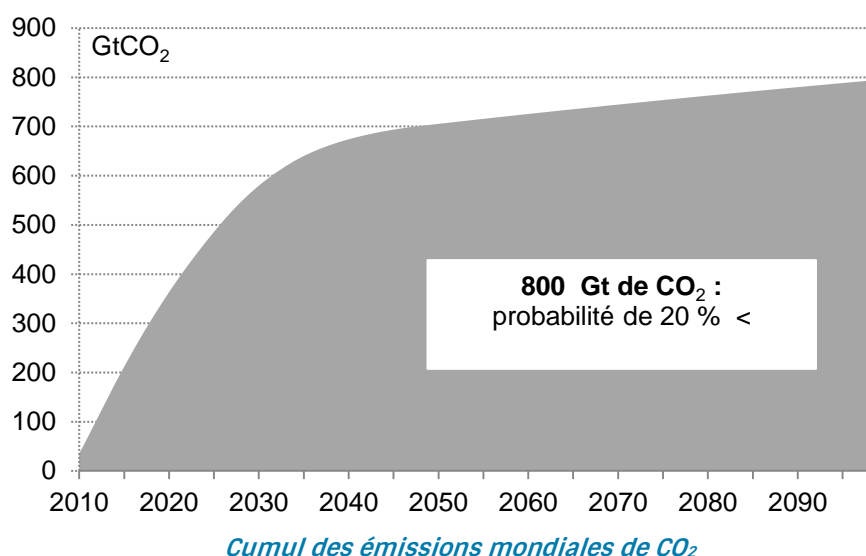
Un retard de cinq ans dans l'application d'un scénario de type négaWatt augmente le cumul des émissions à l'horizon 2100 de l'ordre de 2,3 GteqCO₂ (milliards de tonnes d'équivalent CO₂), et un retard de 10 ans de 4,0 GtCO₂. De même une trajectoire de type tendanciel ou de réduction de simplement 1 % par an des émissions jusqu'à 2050 conduit à émettre environ 16 GteqCO₂ de plus que le scénario négaWatt.



Emissions annuelles de GES (à gauche) et cumulées selon différents scénarios (à droite)

Si l'on prend comme hypothèse que le monde entier adopte une trajectoire de type négaWatt, c'est-à-dire un *même rythme de réduction* des émissions de gaz à effet de serre, le cumul des émissions mondiales de CO₂ sur la période 2015-2050 sera de l'ordre de 800 GteqCO₂. Ce niveau conduit d'après les estimations en budget-carbone du 5^{ème} rapport du GIEC à une élévation de la température mondiale de l'ordre de 1,8°C (probabilité de 20 % de rester en-deçà d'une élévation de 1,5 degrés, de 80 % de rester sous les +2°C).

Le scénario négaWatt reflète bien le niveau et le rythme qu'il nous faut atteindre au niveau mondial pour contenir la température moyenne du globe afin de limiter les risques climatiques. Un pays comme la France doit *totalemment* supprimer le recours aux énergies fossiles, diviser *par 15* les émissions de CO₂ et diviser *au moins par 2* les émissions de méthane et de protoxyde d'azote.

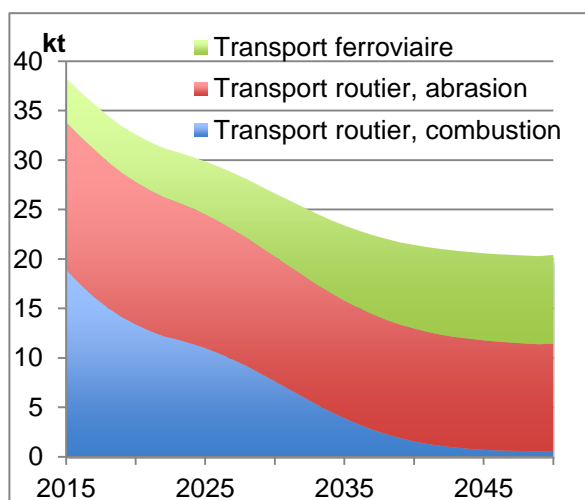


5.2. Autres impacts et risques

Ainsi, le scénario négaWatt inscrit notre système énergétique dans une trajectoire qui permet une quasi-disparition des émissions de gaz à effet de serre liées à l'énergie, condition ambitieuse mais indispensable à l'atteinte de nos objectifs climatiques. Toutefois, cette question majeure n'est pas la seule à prendre en compte lorsqu'il s'agit des impacts et des risques environnementaux associés à la production et à la consommation d'énergie. L'approche développée par le scénario intègre, quantitativement ou qualitativement, ces différents éléments, présentant ainsi de multiples bénéfices connexes.

Le premier concerne la pollution de l'air. La consommation d'énergie est en particulier un contributeur essentiel aux émissions de particules fines, dont l'impact sanitaire est de plus en plus inquiétant. Ces microparticules, de quelques microns de diamètre, pénètrent dans nos organes respiratoires et sont responsables de nombreuses maladies chroniques et de nombreux décès. Au niveau national, ce sont les secteurs résidentiel-tertiaire (notamment par l'utilisation d'appareils vétustes de chauffage au bois), agricole et industriel qui émettent la majorité des PM10, particules dont le diamètre est inférieur à 10 microns. Mais dans les centres-villes, là où les concentrations sont les plus importantes, le trafic routier représente la première source d'émission.

En misant à la fois sur une réduction des distances parcourues, un report modal vers des modes de transport moins polluants, et un abandon progressif du Diesel, le scénario négaWatt permet presque une division par deux des émissions du secteur des transports, et une division par trois de celles attribuées au trafic routier. Si l'on additionne les secteurs résidentiel-tertiaire, agricole, des transports et celui de la production d'énergie, le scénario négaWatt permet une réduction d'environ un tiers des émissions de PM10. Ainsi le scénario négaWatt permet, par les choix qu'il préconise, d'envisager une amélioration sensible de la qualité de l'air.



Evolution des émissions de PM10 du secteur des transports, entre 2015 et 2050

Le scénario négaWatt permet par ailleurs, c'est une évidence, une réduction du risque d'accident nucléaire. Ce qui représente aujourd'hui un risque pour les dizaines de millions de riverains des centrales réparties à travers la France ne devient en fin d'exercice plus qu'un lointain souvenir. La fin progressive de l'utilisation de l'énergie nucléaire permet ainsi de réduire le nombre d'années de fonctionnement de réacteurs, tout en limitant la quantité de matières radioactives qui seront à traiter et stocker par la suite, diminuant ainsi l'ensemble des risques liés à leur traitement.

Enfin, l'approche sobriété - efficacité - énergies renouvelables permet plus globalement d'envisager une réduction de nos impacts environnementaux grâce à une forte baisse de l'artificialisation des sols, une limitation des prélèvements d'eau, une réduction du volume de déchets à traiter et une diminution des matières premières consommées notamment par le secteur industriel.

Matières premières

Notre mode de consommation actuel, basé en grande partie sur des objets peu durables et peu réparables, est dévoreur de matières premières. Si certaines d'entre elles se trouvent en grande abondance à la surface de la terre, d'autres sont vouées à une disparition prochaine si les volumes annuels de consommation perdurent.

Le scénario négaWatt a recensé les matières premières à usage non énergétiques consommées par le secteur industriel. Il s'en suit des hypothèses d'évolution de ces tonnages, qui traduisent aussi bien les impacts de la transition énergétique (une plus grande consommation de verre pour la fabrication de panneaux solaires, de béton pour l'éolien, de matériaux d'isolation, etc.) que ceux d'une plus grande sobriété dans nos usages de l'énergie et dans nos équipements. Il prend également en compte une meilleure réparabilité et recyclabilité des biens de consommation. Enfin, il intègre dans la mesure du possible une part importante de matériaux biosourcés.

Les résultats sont sans appel. Malgré les milliers de m² de panneaux solaires ou de vitrage, la consommation de verre primaire est divisée par 10. Celle d'acier par 6, d'aluminium par 3. Et celle de béton est réduite de 40 %. Conséquence directe, l'empreinte carbone associée à la fabrication de ces matériaux diminue.

Loin des idées répandues sur la supposée grande quantité de matériaux nécessaires à la fabrication d'énergies renouvelables, la transition énergétique s'avère au contraire être économe en matériaux. Le triptyque sobriété-efficacité-renouvelables, adapté aux matériaux, permet de repenser dès aujourd'hui notre mode de consommation afin de prévenir toute pénurie sur des matières premières aujourd'hui banales mais qui pourraient demain relever du domaine de la rareté.

La problématique des métaux et terres rares mérite également d'être regardée de près. Si de nombreuses voix s'élèvent pour souligner que le développement des énergies renouvelables risque d'être freiné par la rareté de certains métaux, une analyse plus détaillée montre qu'il n'en est rien. La grande majorité des éoliennes et panneaux solaires installés ne requiert aucun métal rare. Les seuls métaux utilisés de manière importante dans les énergies renouvelables et pouvant dans le futur devenir rares sont le cuivre et l'argent. Loin d'être réservée au secteur des renouvelables, une pénurie de ces métaux aurait un impact dans d'innombrables autres secteurs industriels. Il est donc nécessaire d'anticiper dès maintenant un éventuel déclin de leur production et de mettre en place des filières appropriées de récupération et de recyclage, avec l'immense avantage de métaux recyclables à 100 %.

5.3. Sécurité d'approvisionnement

Parallèlement à la question des impacts et des risques liés à la production et à la consommation d'énergie sur le territoire national, un autre type de risque existe au niveau de l'approvisionnement en énergie aux frontières, dès lors que des ressources énergétiques doivent être importées. Cet enjeu est traditionnellement discuté en termes d'indépendance énergétique, c'est-à-dire de ratio entre le total de l'énergie consommée et produite sur le territoire. Il doit en fait s'examiner plus largement en termes de continuité de la chaîne d'approvisionnement : c'est bien la disponibilité de l'énergie nécessaire à la satisfaction des besoins au niveau des consommateurs finaux qui importe, quelle que soit la nature d'une éventuelle interruption, aux frontières ou sur le territoire.

Une indépendance énergétique réelle

Du point de vue de l'indépendance énergétique, la situation actuelle est généralement présentée en entretenant volontairement la confusion. Le taux d'indépendance officiel de la France est depuis l'avènement du programme nucléaire situé autour de 50 %. Ce calcul se base sur deux biais fondamentaux. En premier lieu, il s'appuie sur une comptabilité en énergie primaire, qui intègre donc comme une énergie fièrement produite en France, et consommée – alors qu'elle est en réalité perdue – l'énorme quantité de chaleur non convertie en électricité dans nos centrales nucléaires. Ensuite, le calcul intègre toute l'énergie nucléaire comme une production domestique, alors même que tout l'uranium qu'elle consomme est importé, au même titre que le pétrole ou le gaz, qui pour leur part sont bien comptés comme tels. Ramené à la réalité des consommations d'énergie finale, et déduction faite des importations d'uranium, le taux d'indépendance énergétique de la France n'est que d'environ 15 %.

De même que plus de 90 % de nos transports dépendent des importations de pétrole, près de 80 % de notre électricité dépend d'importations d'uranium. Le scénario négaWatt apporte dans ce domaine un profond bouleversement. Qu'il s'agisse de la biomasse énergie, de l'éolien et du photovoltaïque, et plus largement de l'ensemble des énergies renouvelables qu'il développe en substitution des énergies fossiles ou du nucléaire, toutes les productions qu'il intègre progressivement sont basées sur des ressources disponibles et mobilisées

localement. Ainsi, à terme, c'est pratiquement 100 % d'indépendance énergétique qu'atteint la France. Cette indépendance est d'autant plus solide qu'elle ne repose pas sur une seule source d'énergie, mais au contraire sur un appel diversifié, à hauteur de leur potentiel, à toutes les énergies renouvelables disponibles.

Une sécurité énergétique mieux partagée

Le bénéfice est d'autant plus grand que cette sécurité d'approvisionnement aux frontières se double d'une bien meilleure répartition de la production d'énergie – aujourd'hui concentrée notamment autour de 18 sites de production nucléaire – au niveau national. Ainsi, chaque territoire a la capacité de mobiliser des productions d'énergie, dans une logique qui n'est dès lors plus de dépendance de certains territoires aux territoires producteurs, mais plutôt de mutualisation entre territoires pour la meilleure valorisation des ressources de chacun.

Cette mutualisation repose en partie sur le rôle clé que jouent pour les échanges d'énergie entre les territoires les deux réseaux nationaux de transport des vecteurs gaz et électricité. Il est à ce titre essentiel de s'assurer de l'équilibre entre production et consommation sur le réseau électrique, ce que le scénario négaWatt s'attache à vérifier tout au long de la transition vers 100 % d'énergies renouvelables. La complémentarité entre les réseaux électrique et gaz s'avère d'ailleurs, à long terme, un levier très précieux pour répondre à cet objectif.

Équilibre électrique

La sécurité du réseau électrique, qui repose sur l'équilibre à tout instant entre production injectée et consommation soutirée, est un enjeu social et économique majeur. Il le devient d'autant plus que l'électricité, déjà essentielle à la continuité de l'ensemble de nos activités, est appelée à prendre une place croissante dans le système énergétique.

Cet équilibre est aujourd'hui très vulnérable. D'un côté, il est soumis à de très fortes variations, liées notamment aux pics de consommation générés l'hiver par le chauffage électrique direct. De l'autre, outre que le nucléaire, fonctionnant en base, n'est pas adapté pour suivre ces pointes, la dépendance de la production à cette source fortement majoritaire peut créer une crise au cas où un problème de sûreté viendrait toucher plusieurs réacteurs. La nécessité d'abandonner progressivement le recours à des centrales thermiques, qui présentent l'avantage de pouvoir adapter leur production aux fluctuations des besoins mais sont fortement émettrices de CO₂ tant qu'elles sont alimentées avec des combustibles fossiles, représente une contrainte supplémentaire.

Les taux actuels de pénétration du photovoltaïque et de l'éolien dont la production dépend de conditions météorologiques non pilotables ne posent aucun problème de sécurité, leur foisonnement naturel venant simplement s'ajouter à celui plus classique de la consommation.

Les moyens de flexibilité aujourd'hui disponibles (hydraulique de barrage, stations de pompage-turbinage, centrales thermiques d'appoint, effacement des industries électro-intensives, importations, ...) sont largement suffisants pour faire face à une augmentation sensible de la contribution de ces deux filières, par ailleurs complémentaires en termes de saisonnalité et de localisation.

Ce n'est que lorsqu'elles atteindront des taux élevés de pénétration qu'il sera nécessaire de disposer de davantage de moyens de stockage permettant de déplacer dans le temps des quantités d'énergie importantes.

Depuis les volants d'inertie qui agissent sur des temps courts et sur des quantités très faibles jusqu'au power-to-gas, seul capable d'assurer le stockage inter-saisonnier de dizaines de TWh grâce au réseau gazier, en passant par les batteries et l'air comprimé, la gamme des solutions déjà éprouvées ou en cours de développement préindustriel permet d'affirmer que le problème sera résolu, alors même qu'il n'est pas encore apparu.

Le scénario négaWatt 2017 intègre une modélisation, heure par heure et jusqu'en 2050, de l'équilibre en réseau tel qu'il peut être assuré au fil de la conversion intégrale du système électrique français à une production 100 % renouvelable. Cette modélisation s'appuie sur des profils types détaillés de la puissance fournie au long de l'année par les différents moyens de production et de la puissance appelée au fil des heures par les différents usages, tenant compte dans un cas comme dans l'autre des variations climatiques d'un jour à l'autre et entre les saisons.

Grâce tout d'abord à une forte diminution des besoins de pointe associée à l'élimination progressive du chauffage électrique par effet Joule, cet équilibre est assuré en mobilisant les différents leviers d'action dont dispose le système : complémentarité entre énergies renouvelables, dont une partie pilotable, maintien de centrales thermiques converties à l'usage de gaz d'origine renouvelable, lissage de la courbe de demande, globale et introduction progressive de capacités de stockage, dont à terme et de manière croissante, la méthanation. Le déploiement progressif des différentes solutions au fur et à mesure que la part respective des différentes énergies sur le réseau bascule, permet de maintenir l'équilibre tout au long du processus de transition.

L'équilibre du réseau électrique, ainsi modélisé au niveau national, ne signifie pas que dans la réalité, des échanges transfrontaliers n'auront pas lieu. Mais il assure que les bilans du fonctionnement 100 % renouvelable du système énergétique font sens, et que le résultat du calcul des émissions de gaz à effet de serre correspond effectivement à l'impact global de la population française.

06.

Bénéfices et mise en œuvre

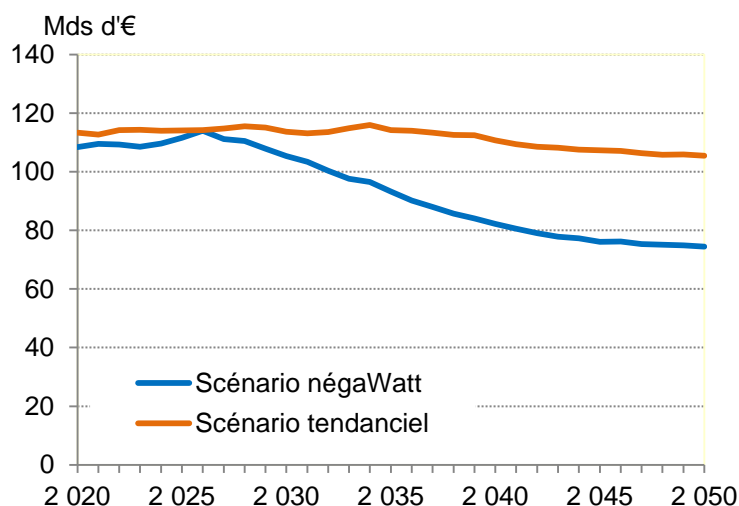
6.1. Coûts et investissements

Une facture énergétique globale en nette diminution

Le scénario négaWatt mobilise 1.160 milliards d'euros (G€) d'investissements en cumul d'ici 2050 dans le secteur de l'énergie, soit l'équivalent de 6 mois de PIB national. Sont comptés dans ce périmètre 860 G€ dans les renouvelables et 304 G€ dans les réseaux d'énergie et les énergies non renouvelables. Le scénario tendanciel ne mobilise quant à lui que 650 G€.

Les coûts de fonctionnement sont similaires dans les deux cas – autour de 1.000 G€. Mais la facture énergétique du pays est divisée par 2 entre les deux scénarios, en cumul sur la période 2015-2050 (et par 30 pour l'année 2050), avec un gain net de 1130 G€. Le solde en faveur du scénario négaWatt est de 700 G€.

La facture énergétique cumulée globale (investissements, dépenses de fonctionnement et importations) passe ainsi de 4.200 G€ dans le tendanciel à 3.530 G€ dans négaWatt.



Dépenses totales du secteur de l'énergie (y compris les importations d'énergies fossiles)

Des secteurs d'activité en profonde mutation

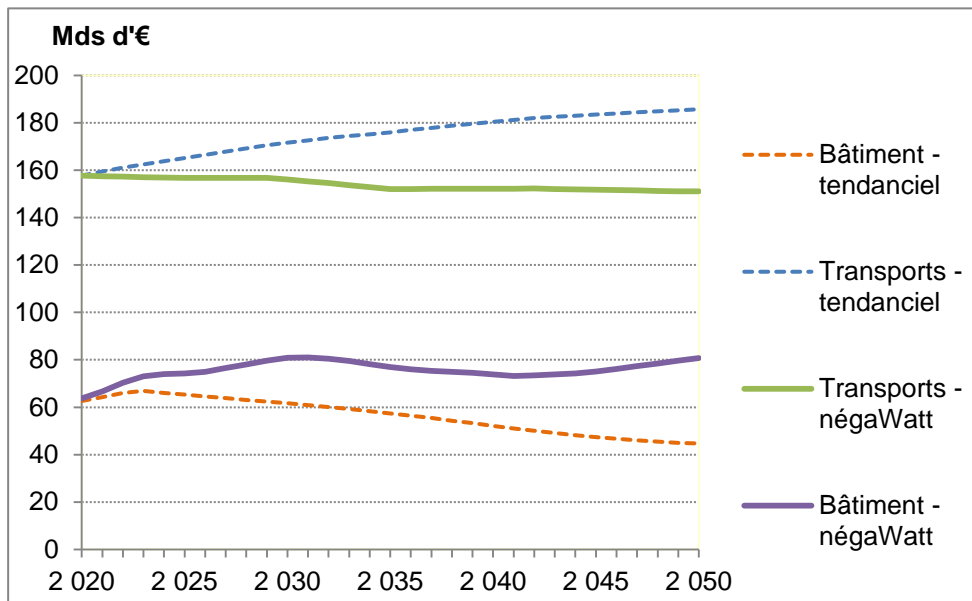
La transition énergétique entraîne une mutation de pans entiers de notre économie, le bâtiment et le transport se situant au premier rang.

La rénovation énergétique des bâtiments augmente de 30% environ le volume global d'activité de ce secteur, faisant plus que compenser la diminution d'activité liée à la construction neuve. Le calcul est ici effectué en considérant des coûts moyens de travaux de l'ordre de 550 €/m², qui ne couvrent pas que les travaux d'amélioration énergétique au sens strict, mais également l'ensemble des travaux induits lorsque l'on rénove un bâtiment. Ici comme dans d'autres domaines, il est souvent délicat de fixer précisément le périmètre de la « transition énergétique », et le recours à des arbitrages est souvent nécessaire.

L'ensemble de ces travaux (construction neuve et rénovation) cumulent 2.650 G€ de chiffre d'affaire d'ici 2050, nettement plus que le scénario tendanciel, qui verrait son activité diminuer et perdrait 600 G€ par rapport à négaWatt.

Dans le secteur des transports, l'évolution est constituée d'un solde entre une hausse des dépenses d'investissement dans les réseaux (infrastructures ferroviaires urbaines et inter-urbaines, bornes électriques et stations GNV) et les moyens de transports collectifs ou publics (équipements ferroviaires, bus à haut niveau de service), et une diminution des coûts de fonctionnement (hors carburants) liée principalement à la

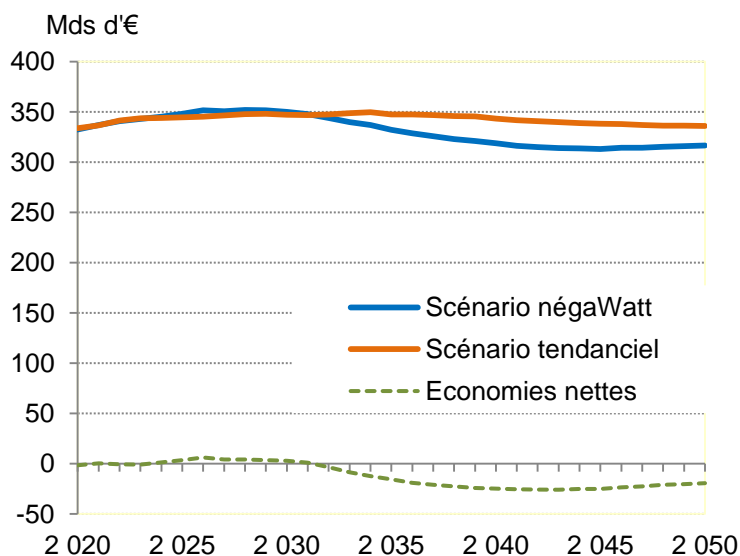
diminution de la voiture individuelle et du transport routier de marchandises. Le périmètre pris en compte dans l'étude est vaste : il totalise 5.550 G€ de dépenses totales dans le scénario négaWatt, contre 6.170 G€ dans le tendanciel, soit une différence de 620 G€.



Dépenses totales des secteurs du bâtiment et des transports

Une économie globale de 400 milliards d'euros

En agrégeant les principaux secteurs concernés par la transition énergétique – l'énergie, le bâtiment et les transports – on peut mesurer, par différence, l'impact économique du scénario négaWatt. Si l'on compare l'ensemble des dépenses, il s'avère que le scénario négaWatt se distingue peu du scénario tendanciel les premières années : les investissements supplémentaires nécessaires à la réalisation de la transition énergétique sont alors compensés par les premières économies d'énergie. A partir de 2030, on assiste à un décrochage et une économie annuelle qui s'élève à 26 G€/an en 2040 : les investissements sont alors amortis, laissant la place à des gains nets. En supposant un coût de l'énergie constant jusqu'en 2050, l'économie cumulée est de 370 G€, créant des centaines de milliers d'emplois induits.



Comparaison du total des dépenses (investissements + exploitation + importations d'énergie)

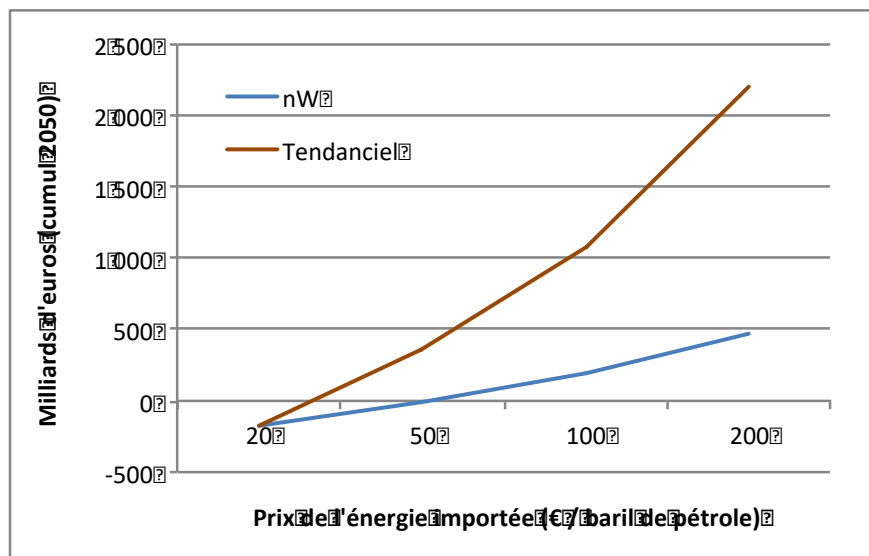
Un scénario résilient face aux futurs chocs énergétiques

L'évolution erratique des prix de l'énergie de ces dernières années interdit toute prédiction sur le court et moyen terme. Le graphique ci-dessous illustre l'impact d'une variation des prix de l'énergie sur l'écart entre le scénario négaWatt et le scénario tendanciel.

Il n'est pas exclu que le monde entre dans une période d'énergie bon marché pour les 35 ans à venir. Dans ce cas, l'écart entre les scénarios s'annule si le prix des énergies importées est divisé par 2. Si la probabilité d'un tel évènement peut paraître faible, la probabilité d'un impact positif de la transition énergétique peut être considérée comme extrêmement élevée : c'est un jeu gagnant à coup sûr.

L'hypothèse d'une énergie qui se renchérit conserve également toute sa crédibilité. Si le prix des énergies augmente, par exemple jusqu'à 200 \$ le baril de pétrole, la différence cumulée entre le scénario négaWatt et le scénario tendanciel équivaut à une année de PIB.

La transition énergétique reste donc la meilleure assurance risque contre les errements des prix des énergies.



Écart entre d'une part le coût total (investissement + fonctionnement + importations) en G€ cumulés d'ici 2050 du scénario négaWatt ou du scénario tendanciel, et d'autre part le scénario négaWatt au prix actuel de l'énergie importée

Méthode

L'impact économique et en particulier l'effet net du scénario négaWatt sur l'emploi en France, est calculé en appliquant la méthode suivante :

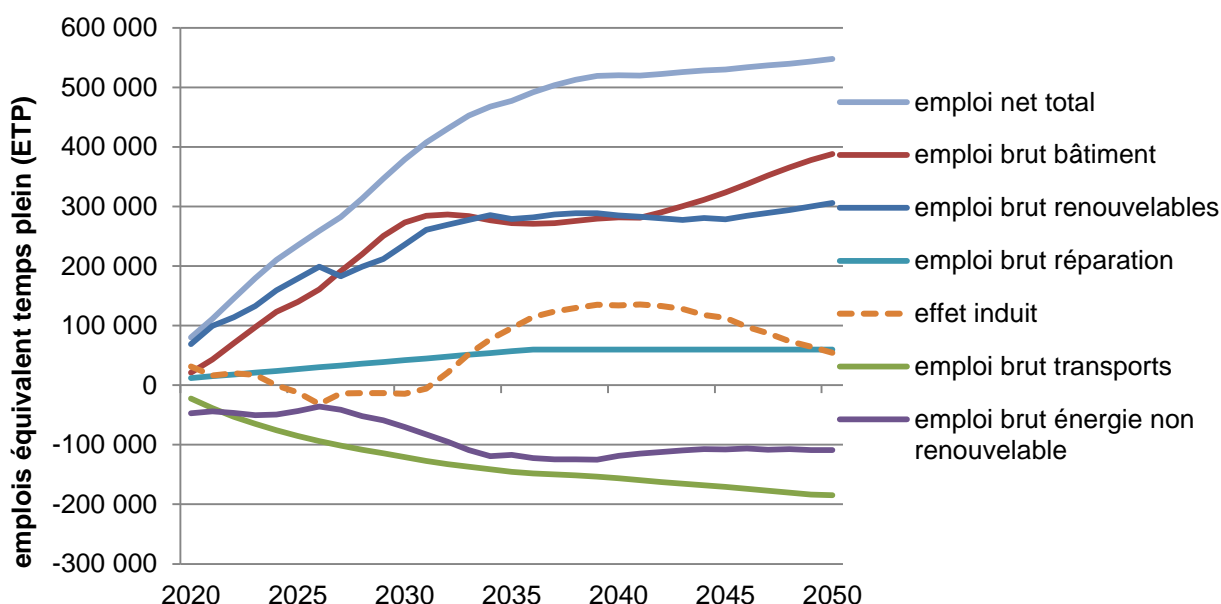
1. Pour les deux scénarios, le négaWatt et le tendanciel, et pour chaque activité (construction de parc éoliens, maintenance de ces parcs, construction d'infrastructures routières et ferroviaires, transport ferroviaire ou routier de voyageurs...), les indicateurs physiques (énergie produite, capacités installées dans l'année, trafic en nombre de voyageurs.km...) sont extraits des tableaux de calcul des deux scénarios ou d'autres sources comme les Comptes des transports.
2. Pour chaque activité, et pour chacune des années considérées, un coût unitaire est calculé (en euros par watt d'éolien installé, par tonne.kilomètre transportée...). La méthode retenue pour calculer ce coût unitaire varie selon l'activité, en fonction des sources disponibles.
3. Ce coût unitaire est multiplié par l'activité de manière à calculer une demande monétaire, puis cette dernière est répartie dans les 732 branches de la Nomenclature d'Activité Française.
4. Pour chacune des branches, l'évolution du contenu en emploi est calculée en fonction du nombre d'emplois (équivalent temps plein) créé en France par million d'euros de demande finale. Cette méthode permet de prendre en compte, non seulement les emplois directs (par exemple, les emplois dans la branche automobile créés par l'achat d'un million d'euros d'automobiles) mais aussi toute la chaîne des emplois indirects (les emplois chez les équipementiers, chez les fournisseurs des équipementiers, etc.), en se limitant aux emplois situés en France.

5. Pour chaque activité et scénario, la demande monétaire adressée à chaque branche est multipliée par le contenu en emploi de celle-ci. Cela permet de calculer, pour une année, une activité et un scénario, un **effet brut** sur l'emploi.
6. Par rapport au scénario tendanciel, il s'avère que le scénario négaWatt entraîne plus d'économies (d'énergie, de fret routier, etc.) que de dépenses supplémentaires (énergies renouvelables, isolation, transports en commun, etc.). On suppose que ces économies seront dépensées par les ménages d'une façon ou d'une autre, Cette économie globale va entraîner une hausse de l'activité dans le reste de l'économie et donc la création d'emplois "**induits**", que l'on sait estimer à partir du contenu moyen en emploi créés par la consommation des ménages. L'addition de l'effet brut et de cet effet induit donne un **effet net** sur l'emploi.

6.2. Retombées socio-économiques

Un effet net très positif sur l'emploi

Le bilan net sur l'emploi est positif tout au long de la période. Il croît progressivement, à mesure que les investissements se rentabilisent, passant de +100 000 emplois équivalent temps-plein (ETP) en 2020 à près de +400 000 en 2030 puis +500 000 en 2050 (voir figure suivante).



Effet sur l'emploi, différence entre le scénario négaWatt et le scénario tendanciel

Source : Quirion P. (CIRED-CNRS)

2017-2030 – la mutation de l'économie : un gain net de 380 000 emplois

Dans un premier temps, on assiste à une mutation avec un fort développement des activités liées à la transition énergétique, notamment la rénovation des bâtiments et la production d'énergie renouvelable, qui génèrent chacun près de 300.000 ETP d'ici 2030. D'autres secteurs génèrent également des emplois, en quantité plus modeste : activités de réparation, information, efficacité des appareils, etc.

En parallèle, certains secteurs subissent une diminution du nombre d'emploi. Une reconversion de ces métiers, qui doit impérativement s'anticiper et se préparer, sera nécessaire. C'est le cas par exemple de la construction automobile, du fret routier et du transport aérien.

Au global, en 2030, le solde total d'emplois nets s'élève à 379 000.

Le secteur des énergies non renouvelables est peu affecté au démarrage, les besoins de renforcement des réseaux compensant la diminution d'autres activités. Les emplois dans ce secteur diminuent ensuite au fur et

à mesure de la sortie des énergies fossiles et fissiles. Leur nombre se stabilise ensuite en fin de période, à partir de 2035.

2030-2050 - les dividendes de la transition énergétique

Dans une seconde phase, le nombre d'emplois se stabilise dans la plupart des secteurs, hormis ceux des transports et du bâtiment. Les économies obtenues par le scénario négaWatt génèrent des emplois induits, qui portent dès 2037 le solde du total des emplois nets à +500.000. La transition énergétique contribue ainsi fortement à la création puis au maintien d'activités pourvoyeuses d'emplois sur notre territoire.

Méthode

Le résultat net positif sur l'emploi s'explique par un contenu en emploi (le nombre d'emplois par million d'euros dépensés) généralement plus élevé dans les branches d'activité qui sont amenées à se développer plus rapidement en cas de mise en œuvre du scénario négaWatt, que dans celles qui sont amenées à régresser (Figure X).

Ainsi, les transports en commun, la sylviculture ou les travaux d'isolation des bâtiments présentent un contenu en emploi supérieur à celui de la moyenne de la consommation des ménages (9 ETP/million d'euros) tandis que les contenus en emploi des énergies fossiles, mais aussi de l'industrie automobile ou du transport aérien, sont inférieurs à cette moyenne.

Une hausse de la productivité du travail de l'ordre de 0,75% par an a été adoptée pour cette étude, ce chiffre correspondant à la moyenne constatée ces dernières années. Aucune hypothèse sur une autre forme d'aménagement du travail ou de l'emploi n'a été effectuée : il s'agit là d'un travail comparatif.

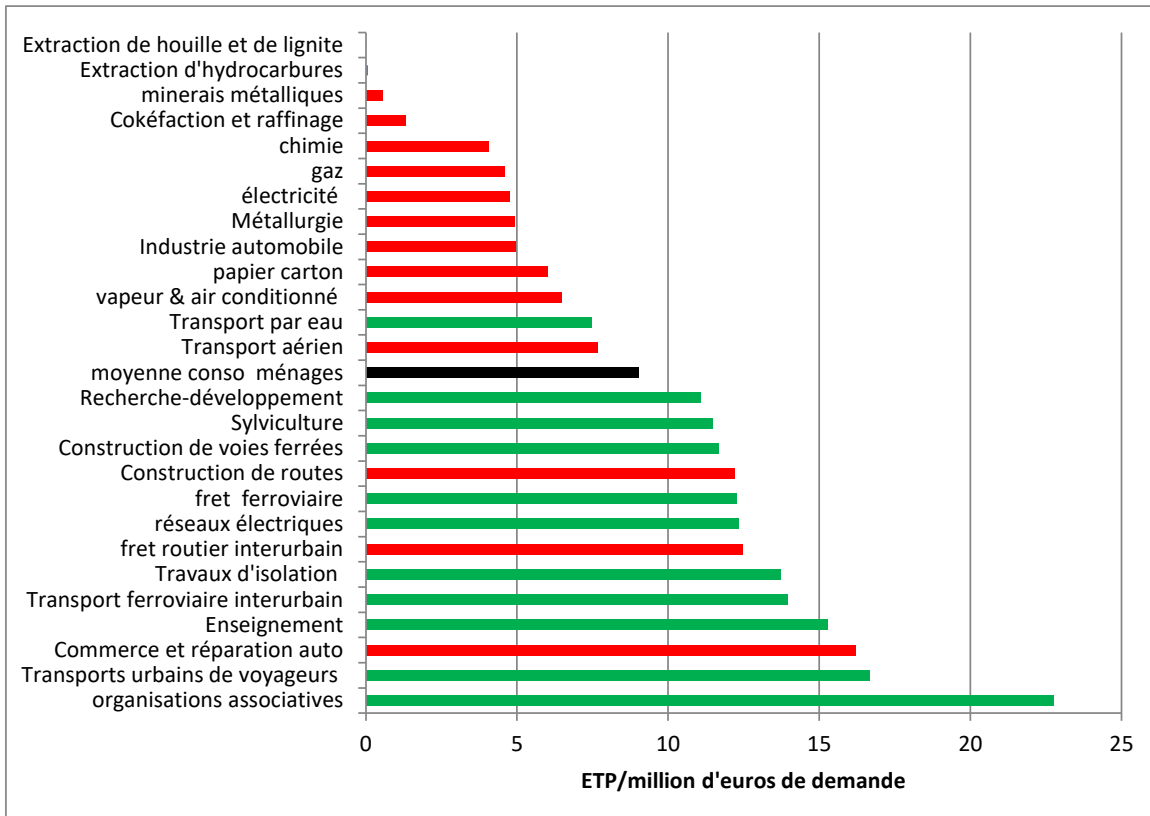


Figure X. Contenu en emploi d'une sélection de branches de l'économie française en 2010 - en vert les secteurs d'activité qui se développent dans le scénario négaWatt

Source : Quirion P, à partir de la base Esane et du Tableau entrées-sorties de l'INSEE

La transition énergétique au service de la lutte contre la précarité énergétique

Plus de 10 % des ménages français sont aujourd'hui considérés comme étant en situation de précarité énergétique, consacrant plus de 10 % de leurs revenus pour les dépenses d'énergie de leur logement.

Ces ménages habitent en majorité dans des maisons individuelles, souvent chauffées au fioul ou au gaz. Certains d'entre eux sont en situation de vulnérabilité énergétique, présentant aussi des difficultés financières pour se déplacer.

Les remèdes de long terme permettant d'éradiquer cette précarité énergétique sont connus. Outre la nécessité de sortir en premier lieu ces ménages de la précarité, il convient de réduire leur facture énergétique. Pour cela, le programme de rénovation thermique proposé par le scénario négaWatt répond parfaitement à cet enjeu de long terme. Toutes choses égales par ailleurs (et donc à prix de l'énergie et revenus constants), au terme de la transition énergétique, le nombre de ménages en situation de précarité a pu être divisé par 8. Pour accélérer encore davantage cette réduction de la précarité, des politiques publiques à destination des ménages les plus défavorisés doivent être mises en œuvre rapidement.

6.3. Équilibre territorial et international

Le scénario négaWatt 2017-2050 repose sur une démarche d'exploitation plus sobre, plus efficace et plus locale des ressources qui est incontestablement, au niveau territorial comme international, porteur de meilleurs équilibres.

Un projet de territoire pour tous les territoires

Les constats sur la sécurité énergétique du pays sont d'abord transposables à l'échelle des territoires, qui gagnent eux-mêmes en autonomie énergétique et voient se réduire leur dépendance à des événements extérieurs incontrôlables. Mais au-delà de cet effet direct, la transition énergétique décrite par le scénario représente pour les territoires et les acteurs économiques et sociaux des retombées locales considérables en matière de fiscalité, d'activité économique et d'emploi.

Si les villes où 80 % des Français vivent, travaillent, étudient ont vocation à profiter prioritairement des investissements dans les travaux de rénovation énergétique des très nombreux bâtiments qui les composent, les campagnes de leur côté pourront trouver dans la mobilisation des ressources locales en énergie et en matériaux renouvelables l'opportunité de développer dans la durée des activités économiques pleines de sens et susceptibles d'offrir des revenus directs et indirects aux habitants.

Au-delà, la répartition apparemment déséquilibrée des ressources et des besoins entre zones urbaines et rurales ouvre paradoxalement la voie à une logique de coopération entre des mondes qui s'ignorent ou se méfient bien souvent l'un de l'autre. Ainsi la transition énergétique peut aussi être une formidable occasion de retisser les liens et de reconstruire les solidarités qui font tant défaut dans nos sociétés éclatées et trop portées sur l'individualisme.

Un message de solidarité et de responsabilité

Ce qui vaut au niveau national vaut encore plus au niveau international, où l'accès à l'énergie reste un facteur puissant de déséquilibre : si l'enjeu de la maîtrise des ressources d'hydrocarbures est une des causes de conflits armés, les écarts qui continuent à se creuser dans le monde en termes de consommation d'énergie sont un marqueur parmi d'autres des inégalités croissantes entre les populations les plus riches et les plus pauvres. La transition énergétique qui commence peut-être dans le monde, sans porter à elle seule la réponse à tous les problèmes, est en tous cas indispensable pour éviter à l'humanité tout entière de s'enfoncer dans une spirale de crise.

Face à cette perspective, la mise en œuvre en France du scénario négaWatt pourrait être vue comme une solution pour préserver autant que possible notre pays des effets de cette crise, en le rendant plus résilient face à des tensions énergétiques et à des conséquences climatiques de plus en plus intenses.

Ce n'est toutefois pas dans cette tentation dramatique au repli sur soi que s'inscrit le scénario négaWatt, mais au contraire dans l'espoir que la mise en œuvre dans notre pays d'une transition énergétique ambitieuse contribue à la construction d'un monde plus ouvert et apaisé.

Notre pays, après avoir accueilli la COP21 et contribué de manière marquante à sa réussite, se doit désormais de montrer chez lui, de manière volontaire et résolue, la voie que l'Accord de Paris ébauche. Le scénario négaWatt illustre le niveau d'ambition auquel nous oblige cette cohérence.

Au-delà de l'enjeu de mettre en œuvre au niveau national, avec toute la force et l'ampleur nécessaires, des actions conformes à nos engagements nationaux et internationaux, l'application résolue de la démarche de sobriété, d'efficacité et de substitution par les énergies renouvelables rendrait la France porteuse d'un

message fort sur la scène internationale. Outre la responsabilité, ce message serait d'abord celui de l'exemplarité. Il ne s'agit pas seulement d'apporter la démonstration que la transition vers les 100 % renouvelables et vers un monde décarboné est possible, mais aussi de montrer comme le monde occidental peut et doit rompre avec le modèle de surconsommation qui est aujourd'hui le sien. L'enjeu, crucial dans la réussite de la lutte contre le changement climatique au niveau mondial, est en quelque sorte de détourner les très nombreuses classes moyennes qui se développent dans les pays émergents de leur aspiration actuelle à reproduire ce modèle.

Enfin, le scénario négaWatt 2017-2050 appliqué à la France porte un message de solidarité. Dans un monde où l'énergie est contrainte, l'élimination grâce à la sobriété de consommations d'énergie qui ne rendent aucun service utile à nos habitants libère symboliquement la quantité équivalente pour répondre aux besoins vitaux des populations les plus défavorisées, qui ne bénéficient pas aujourd'hui d'un accès décent aux services énergétiques. Plus globalement, le développement d'un modèle basé sur l'exploitation des ressources locales et la mutualisation de leur production, que le scénario négaWatt intègre à la fois sur le plan des énergies renouvelables et des matières premières, mais aussi de l'alimentation à travers l'ambition d'Afterres 2050 dans ce domaine, revient à rompre avec la logique de prédation des ressources d'autres pays qui a façonné notre monde. Enfin, c'est un scénario où l'accélération de la transition en France favorise, dans une logique gagnant-gagnant, le transfert d'expérience vers les pays du Sud.

Qui sommes-nous ?



Face aux défis énergétiques, les fondateurs de l'**Association négaWatt** se sont donné pour objectif de montrer qu'un autre avenir énergétique est non seulement réalisable sur le plan technique, mais aussi souhaitable pour la société.

Créée en 2001, l'Association négaWatt est dirigée par un collège de membres actifs, la Compagnie des négaWatts, qui rassemble une vingtaine d'experts et praticiens de l'énergie. Elle s'appuie sur un réseau de plus de 1000 adhérents, exclusivement des personnes physiques contribuant à titre personnel.

Association à but non lucratif, ses ressources financières proviennent essentiellement des dons et adhésions de ses membres. La réalisation du scénario négaWatt 2017-2050 a été largement soutenue par une campagne de financement participatif lancée en mars 2016. Des fondations, des ONG, et des entreprises (mécénat) apportent également un soutien non-négligeable à ses travaux.

Le scénario négaWatt, à l'image de l'ensemble du travail de l'association, est le fruit d'un travail d'expertise collectif réalisé par une dizaine de scénaristes, presque tous membres de la Compagnie des négaWatts.

www.negawatt.org

Décrypter l'énergie

L'Association négaWatt a lancé en 2015 le site internet www.decrypterlenergie.org dans l'objectif de décrypter les idées reçues sur la transition énergétique, en proposant régulièrement des analyses argumentées, appuyées par des chiffres et des références précises.



Filiale opérationnelle de l'association, l'**Institut négaWatt**, a été créé en 2009. Il a pour vocation de préparer et d'accompagner la transition énergétique en prenant comme référence le scénario négaWatt.

L'Institut négaWatt intervient en tant qu'organisme de formation auprès des professionnels et en tant qu'accompagnateur de projets, structures et collectivités pilotes en matière de transition énergétique. L'Institut négaWatt développe depuis plusieurs années DORÉMI - dispositif opérationnel de rénovation énergétique des maisons individuelles - dans une approche partenariale.

www.institut-negawatt.com

La réalisation du scénario négaWatt 2017-2050 a été soutenue
par la Fondation Charles Léopold Mayer pour le progrès de l'Homme

