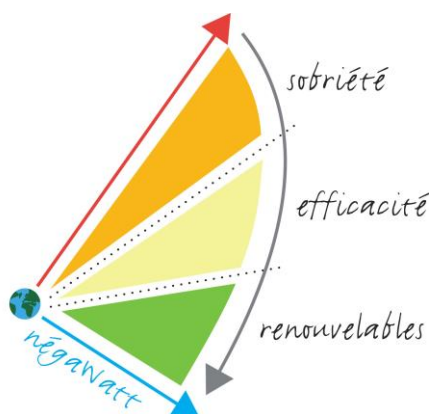


VERS UN SYSTEME ENERGETIQUE « 100 % RENOUVELABLE »

Scénario pour réussir la transition énergétique
en région Centre-Val de Loire

Rapport méthodologique du scénario négaWatt régionalisé



Principal rédacteur : Institut négaWatt

Contributeurs : Virage Energie Centre-Val de Loire, Benoît Thévard consultant, Solagro, Wise-Paris

Principaux membres de l'équipe :

Thomas LETZ, Institut négaWatt

Vincent LEGRAND, Institut négaWatt (mandataire)

Benoît THEVARD, consultant

Philippe VERDIER, Virage Energie Centre-Val de Loire

Christian COUTURIER, Solagro

Simon METIVIER, Solagro

Yves MARIGNAC, WISE-Paris

Table des matières

TABLE DES MATIERES.....	3
TABLE DES TABLEAUX.....	6
TABLE DES FIGURES.....	8
INTRODUCTION.....	11
1. METHODOLOGIE DE SCENARISATION	13
1.1. Préambule concernant d'autres exercices de scénarisation	13
1.2. Le scénario négaWatt national	14
1.2.1. Les fondamentaux du scénario	14
1.2.2. Modèle et structure de l'outil de scénarisation	15
1.2.3. Secteurs de consommation	18
1.2.4. Secteurs de production	19
1.2.5. Scénario tendanciel	20
1.3. Le scénario régional	20
1.3.1. La population	20
1.3.2. Le résidentiel	21
1.3.2.1. Calage de l'année de référence	21
1.3.2.2. Scénarisation	23
1.3.3. Le tertiaire	25
1.3.4. Consommation (mobilité/transport).....	28
1.3.4.1. Mobilité des personnes.....	28
1.3.4.2. Transports de marchandises	30
1.3.5. Consommation (industrie)	31
1.3.5.1. Le « point zéro ».....	31
1.3.5.2. Evolution des productions	33
1.3.5.3. Efficacité sur les productions	34
1.3.6. Consommation (agriculture)	35
1.3.7. Production ENR hors biomasse	35
1.3.7.1. Hydroélectricité.....	36
1.3.7.2. Eolien.....	36
1.3.7.3. Photovoltaïque.....	37
1.3.7.4. Solaire Thermique	38
1.3.7.5. Géothermie	40
1.3.8. Biomasse-énergie	41
1.3.9. Production fossile	45
1.3.10. Nucléaire : focus sur la situation régionale actuelle	45
1.3.10.1. Contribution du nucléaire au bilan énergétique de la région	45
1.3.10.2. Installations nucléaires	46

1.3.10.2.1.	Saint-Laurent-des-Eaux.....	47
1.3.10.2.2.	Dampierre-en-Burly	47
1.3.10.2.3.	Chinon	47
1.3.10.2.4.	Belleville-sur-Loire	48
1.3.10.2.5.	Centrales nucléaires hors de la région.....	48
1.3.10.2.6.	Autres installations nucléaires hors de la région.....	48
1.3.10.3.	Impacts environnementaux et risques	48
1.3.10.3.1.	Rejets des installations nucléaires.....	48
1.3.10.3.2.	Déchets et matières entreposés dans les installations nucléaires	49
1.3.10.3.3.	Risque d'accident.....	50
1.3.10.3.4.	Transports de déchets et de matières nucléaires	51
2.	RESULTATS DE LA SCENARISATION	51
2.1.	Les secteurs de consommation.....	51
2.1.1.	Bâtiments résidentiels et tertiaires.....	51
2.1.1.1.	Rénovation thermique du parc de logements existants.....	52
2.1.1.2.	Construction de bâtiments neufs.....	53
2.1.1.3.	Maîtrise des consommations d'électricité spécifique	53
2.1.1.4.	Maîtrise des consommations de climatisation	54
2.1.1.5.	Maîtrise des consommations de cuisson	54
2.1.1.6.	Maîtrise des consommations d'Eau Chaude Sanitaire (ECS)	55
2.1.1.7.	Evolution des consommations de chauffage et d'ECS.....	55
2.1.1.8.	Synthèse des consommations du bâtiment.....	56
2.1.2.	Transports : mobilité des personnes et déplacement de marchandises	57
2.1.2.1.	Mobilité des personnes.....	57
2.1.2.2.	Transport de marchandises	59
2.1.3.	Production industrielle	60
2.1.4.	Synthèse des consommations d'énergie.....	64
2.2.	La production d'énergies renouvelables	65
2.2.1.	Energies renouvelables hors biomasse	65
2.2.1.1.	Hydroélectricité.....	65
2.2.1.2.	Eolien.....	66
2.2.1.3.	Photovoltaïque.....	67
2.2.1.4.	Solaire thermique.....	68
2.2.1.5.	Géothermie profonde	69
2.2.1.6.	Pompes à chaleur sur l'air extérieur ou en géothermie de surface	70
2.2.1.7.	Synthèse des scénarios pour la production d'énergies renouvelables hors biomasse	72
2.2.2.	Biomasse-énergie, usages des terres	73
2.3.	Le nucléaire.....	77
2.3.1.	Scénario de transition	77
2.3.2.	Scénario tendanciel	79
2.3.3.	Conséquences sur les impacts et les risques	81
2.3.3.1.	Évolution sur les rejets.....	81
2.3.3.2.	Évolution sur les déchets et le démantèlement	82
2.3.3.3.	Évolution sur le risque d'accident.....	82
2.3.3.4.	Évolution sur les transports	82

2.4. Synthèse des résultats.....	83
2.4.1. Energie finale	83
2.4.1.1. Synthèse par secteurs	84
2.4.1.2. Synthèse par usage énergétique.....	85
2.4.2. En énergie primaire	86
2.4.3. Synthèse de la production d'énergie	87
2.4.4. Couverture des besoins par les énergies renouvelables.....	90
2.4.5. Emissions de CO ₂	90
2.4.6. Diagrammes de Sankey	91
2.4.7. Conclusion	93
3. ASPECTS SOCIO-ECONOMIQUES.....	94
3.1. Préambule : méthodologie, emplois directs/indirects, non prise en compte des emplois induits	94
3.2. Secteurs étudiés et liste des réserves	95
3.3. Chiffrage des emplois de certains secteurs de la transition énergétique dans l'hypothèse d'un scénario 100 % ENR.....	96
3.3.1. Résultats globaux	96
3.3.2. Résultats par secteurs	98
3.3.2.1. Bâtiment.....	98
3.3.2.2. Production d'énergie	99
3.3.2.3. Déploiement des ENR versus sortie du nucléaire.....	101
3.3.2.3.1. Retombées fiscales directes	101
3.3.2.3.2. Emplois et activités induites	102
3.4. Discussion	105
CONCLUSION.....	107
ANNEXE : DIAGRAMMES DE SANKEY DETAILLES	110

Table des tableaux

Tableau 1-1 : Energies primaires utilisées	19
Tableau 1-2 : Modification des parts modales du chauffage et de l'eau chaude sanitaire dans le secteur résidentiel	24
Tableau 1-3 : Evolution des parts modales pour la cuisson (en énergie)	25
Tableau 1-4 : Modification des parts modales du chauffage et de l'eau chaude sanitaire dans le secteur tertiaire	27
Tableau 1-5: Evolution des parts modales pour la cuisson (en énergie)	28
Tableau 1-6 : Consommation d'énergie dans l'industrie de la région Centre-Val de Loire (2011) ...	32
Tableau 1-7 : Comparaison de la consommation d'énergie de l'industrie régionale et nationale (2011)	33
Tableau 1-8 : Indice de production des secteurs industriels	34
Tableau 1-9 : Estimation du potentiel d'économies d'énergie dans les opérations transverses en 2007 – Industrie de la région Centre-Val de Loire	35
Tableau 1-10 : Liste des INB en région Centre-Val de Loire	46
Tableau 1-11 : Rejets radioactifs en 2015	49
Tableau 1-12 : Réacteurs en fonctionnement, au 31 décembre 2015	49
Tableau 1-13 : Unités en déconstruction, au 31 décembre 2015	50
Tableau 1-14 : Capacités d'entreposage et évacuation de combustible usé	50
Tableau 2-1 : Nombre de rénovations thermiques dans les scénarios tendanciel et 100 % ENR (cumul)	52
Tableau 2-2 : Constructions neuves dans les scénarios tendanciel et 100 % ENR (cumul)	53
Tableau 2-3 : Evolution des surfaces habitables par personne dans les scénarios tendanciel et 100 % ENR	53
Tableau 2-4 : Consommations d'électricité spécifique domestique par ménage	53
Tableau 2-5 : Répartition des consommations de cuisson en résidentiel et tertiaire	55
Tableau 2-6 : Répartition des consommations d'eau chaude sanitaire en résidentiel et tertiaire ...	55
Tableau 2-7 : Evolution des consommations finales par usages, en énergie finale (TWh)	56
Tableau 2-8 : Evolution des consommations d'énergie de l'industrie en région Centre-Val de Loire	62
Tableau 2-9 : Cogénération industrielle	63
Tableau 2-10 : Synthèse des consommations d'énergie finale dans l'industrie, suivant les différents scénarios	64
Tableau 2-11 : Synthèse des consommations d'énergie finale par secteur selon les différents scénarios	65

Tableau 2-12 : Evolution de la puissance installée et de la production annuelle du photovoltaïque en région Centre-Val de Loire	67
Tableau 2-13 : Evolution de la surface photovoltaïque en région Centre-Val de Loire	67
Tableau 2-14: Evolution des surfaces en photovoltaïque au sol en région Centre-Val de Loire.....	68
Tableau 2-15 : Evolution des surfaces en solaire thermique et des ratios d'équipement en région Centre-Val de Loire	69
Tableau 2-16 : Potentiel de développement de la géothermie en région Centre-Val de Loire	70
Tableau 2-17 : Evolution de la répartition des types de pompes à chaleur en région Centre-Val de Loire.....	71
Tableau 2-18 : Synthèse des productions d'énergie renouvelable hors biomasse	72
Tableau 2-19 : Récapitulatif de l'évolution de l'affectation des surfaces	74
Tableau 2-20 : Evolution de la production de carbone renouvelable	76
Tableau 2-21 : Calendrier de fermetures avec lissage	78
Tableau 2-22 : Synthèse des consommations d'énergie finale en région Centre-Val de Loire.....	84
Tableau 2-23 : Taux de couverture des consommations régionales par les énergies renouvelables	90
Tableau 3-1 : Secteurs retenus pour l'étude emploi	95
Tableau 3-2 : Répartitions des emplois du secteur nucléaire.....	102

Table des figures

Figure 1-1 : Hiérarchiser ses besoins, pour identifier les besoins superflus (sobriété)	14
Figure 1-2 : Démarche de modélisation du scénario négaWatt 2017	17
Figure 1-3 : Graphique des hypothèses d'évolution de la population régionale (2010-2050).....	21
Figure 1-4 : Coefficients climatique chauffage	22
Figure 1-5 : Corrélation entre les données Lig'Air et les données régionalisées issues du scénario négaWatt 2017 pour le secteur résidentiel	23
Figure 1-6 : Evolution des parts modales pour le chauffage et l'ECS (en nombre d'installations) ...	24
Figure 1-7 : Corrélation entre les données Lig'Air et les données régionalisées issues du scénario négaWatt 2017 pour le secteur tertiaire	26
Figure 1-8 : Evolution des parts modales pour le chauffage et l'ECS (en nombre d'installations) ...	27
Figure 1-9 : Evolution des taux d'équipements en climatisation dans le tertiaire dans le scénario nW national, reprise dans la scénarisation régionale	28
Figure 1-10 : Répartition actuelle des modes de transports pour la mobilité de personnes.....	30
Figure 1-11 : Répartition des consommations énergétiques par mode de transport pour la mobilité de personnes.....	30
Figure 1-12 : Répartition actuelle des sources d'énergies utilisées pour la mobilité de personnes .	30
Figure 1-13 : Répartition actuelle des modes de transports pour le transport des marchandises...	31
Figure 1-15 : Consommation d'énergie dans l'industrie de la région Centre-Val de Loire	33
Figure 1-16 : Filière solaire photovoltaïque en région Centre-Val de Loire - Données RTE	37
Figure 1-17 : Origine de la biomasse solide	42
Figure 1-18 : sucreries de Toury et d'Artenay.....	43
Figure 1-19 : les sites de méthanisation en région Centre-Val de Loire.....	44
Figure 1-20 : Production électrique en 2015 en région Centre-Val de Loire.....	46
Figure 2-1 : Etat initial (2012) des consommations d'énergie en résidentiel et tertiaire en région Centre-Val de Loire - Source : Lig'Air	51
Figure 2-2 : Répartition des consommations d'électricité spécifique en résidentiel et tertiaire (2012 et 2050)	54
Figure 2-3 : Evolution des consommations de chauffage et d'ECS dans le tertiaire, par source, en énergie finale	55
Figure 2-4 : Evolution des kilomètres parcourus par mode de transport	57
Figure 2-5 : Evolution des parts modales indépendamment du besoin total de mobilité.....	57
Figure 2-6 : Détails de l'évolution des besoins de mobilité régulière et locale par type de commune	58
Figure 2-7 : Détails de l'évolution de la répartition des motorisations pour la mobilité des personnes	58

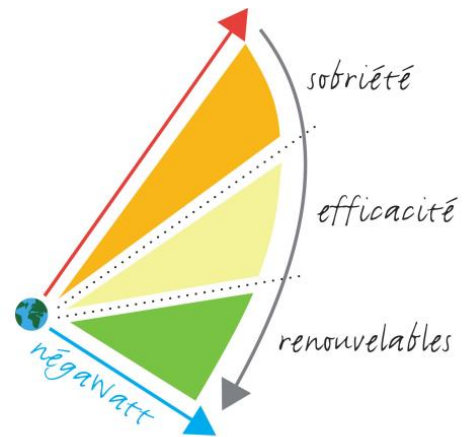
Figure 2-7 : Evolution des consommations annuelles d'énergie pour la mobilité	59
Figure 2-9 : Evolution absolue de chaque mode de transport	59
Figure 2-8 : Evolution des tonnages transports en région Centre-Val de Loire	59
Figure 2-11 : Evolution des consommations des différentes sources d'énergie par le transport de marchandises	60
Figure 2-10 : Evolution des consommations des différents moyens de transport de marchandises	60
Figure 2-13 : Evolution de la consommation d'énergie finale de l'industrie en région Centre-Val de Loire, par secteur, dans le scénario 100 % ENR (en haut) et dans le scénario tendanciel (en bas) ..	61
Figure 2-14 : Mise en œuvre de la démarche 100 % ENR dans l'industrie en région Centre-Val de Loire.....	64
Figure 2-15 : Evolution de la puissance installée et de la production annuelle pour l'hydraulique en région Centre-Val de Loire	65
Figure 2-16 : Evolution de la puissance installée et de la production annuelle de l'éolien en région Centre-Val de Loire	66
Figure 2-17 : Evolution du nombre de mâts en région Centre-Val de Loire.....	66
Figure 2-18 : Evolution de la puissance installée et de la production annuel du photovoltaïque en région Centre-Val de Loire	67
Figure 2-19 : Evolution des surfaces de capteurs solaires thermiques installés pour les différents usages en Centre-Val de Loire	68
Figure 2-20 : Evolution de l'énergie finale substituée pour les différents usages en Centre-Val de Loire.....	69
Figure 2-21 : Evolution de la répartition des types de pompes à chaleur en région Centre-Val de Loire	71
Figure 2-22 : Evolution de la consommation annuelle d'électricité imputable aux pompes à chaleur en région Centre-Val de Loire	71
Figure 2-23 : Bilan de l'évolution de la production annuelle régionale des énergies renouvelables hors biomasse en région Centre-Val de Loire	72
Figure 2-24 : Date limite du 4 ^{ème} réexamen de sureté	77
Figure 2-25 : Evolution de la puissance (MW)	78
Figure 2-26 : Production annuelle (TWh).....	79
Figure 2-27 : Diagramme d'évolution temporelle des tranches nucléaires	80
Figure 2-28 : Puissance (MW)	81
Figure 2-29 : Production annuelle (TWh).....	81
Figure 2-30 : Evolution des consommations d'énergie finale en région Centre-Val de Loire	84
Figure 2-31 : Synthèse des consommations d'énergie par secteur en région Centre-Val de Loire ..	84
Figure 2-32 : Synthèse des consommations d'énergie par usage en région Centre-Val de Loire.....	86
Figure 2-33 : Synthèse des consommations d'énergie primaire dans les scénarios tendanciel (à gauche) et 100 % ENR (à droite) en région Centre-Val de Loire.....	86

Figure 2-34 : Evolution des consommations d'énergie primaire en région Centre-Val de Loire, par source d'énergie, dans le scénario 100 % ENR	87
Figure 2-35 : Synthèse des productions (à gauche) et utilisations (à droite) d'énergies renouvelables dans le scénario 100 % ENR en région Centre-Val de Loire.....	88
Figure 2-36 : Comparaison de l'utilisation des ENR dans le scénario 100 % renouvelable	88
Figure 2-37 : Bilan des exportations et importations d'énergies renouvelables dans le scénario 100 % ENR en région Centre-Val de Loire.....	89
Figure 2-38 : Evolution de la consommation d'énergies non renouvelables consommées en région Centre-Val de Loire dans le scénario 100 % ENR	89
Figure 2-39 : Evolution des émissions de CO ₂ du secteur énergétique.....	91
Figure 3-1 : Evolutions des emplois dans les scénarios 100 % ENR et tendanciel.....	97
Figure 3-2 : Evolutions des emplois du bâtiment dans les scénarios 100 % ENR et tendanciel.....	98
Figure 3-3 : Evolutions des emplois du secteur production d'énergie dans les scénarios 100 % ENR et tendanciel	100
Figure 3-4 : Evolutions des emplois des secteurs production d'énergies renouvelables et énergies non renouvelables dans le scénario 100 % ENR	101
Figure 3-5 : Répartition géographique des emplois directs liés à la construction des réacteurs....	103

INTRODUCTION

La mission qui nous a été confiée par le Conseil Régional Centre-Val de Loire consiste à explorer la transition énergétique régionale et à décrire jusqu'à 2050 une trajectoire énergétique ambitieuse, proche d'un scénario « 100 % renouvelable¹ ».

L'objectif du présent document est de décrire les hypothèses et données qui ont été retenues pour réaliser le scénario régional, à partir de la méthodologie, de la structure et de certaines hypothèses du scénario national 2017 (chapitre 1). Les résultats (chapitre 2) et un focus sur la question de l'emploi (chapitre 3) sont présentés ensuite. Des propositions d'orientation des politiques publiques sont décrites dans un rapport séparé.



L'exercice prospectif réalisé a consisté à régionaliser une trajectoire énergétique nationale en fonction des caractéristiques et des potentiels régionaux.

La trajectoire nationale prise en compte est celle du scénario négaWatt 2017² en cours d'élaboration, qui est lui-même une mise à jour et un approfondissement du scénario négaWatt 2011, sorti le 29 septembre 2011 et détaillé dans le Manifeste négaWatt (Editions Actes Sud)³.

Ce scénario national est donc l'enveloppe dans laquelle s'intègre le scénario régionalisé décrit dans ce document.

L'intérêt du scénario national est de décrire une trajectoire intégrant les réductions de consommation d'énergie par secteur (bâtiments résidentiels et tertiaires, industrie, transports et agriculture) et les productions d'énergie renouvelable correspondantes, pour aboutir à une couverture des besoins avec plus de 90 % d'énergie renouvelable, et proche de 100 % pour l'électricité et la chaleur.

Pour être crédible, ce taux de couverture exige, pour l'électricité, une analyse entre l'offre et la demande qui n'aurait que peu de sens au niveau régional : **l'équilibre électrique offre-demande** exige un territoire suffisamment étendu pour disposer d'un foisonnement de sources de production et de sources de consommation d'énergie. Pour la France, l'échelle nationale est une échelle pertinente pour simuler et piloter cet équilibre. Le scénario négaWatt national a donc intégré cet équilibre offre-demande, sur un pas de temps horaire, jusqu'à 2050.

Un second intérêt de cet exercice de régionalisation est de pouvoir prendre en compte, pour les **réductions de consommations d'énergie**, non seulement les réductions qui relèvent des actions régionales, mais également celles qui relèvent d'échelles plus élevées (Etat, Europe), et ce pour les trois secteurs de consommations d'énergie considérés.

¹ Dans la suite du document, ce scénario est noté « **100 % ENR** » ou « **scénario de transition** »

² Un important travail d'actualisation a été entrepris pour prendre en compte les 5 années écoulées depuis la publication du scénario négaWatt 2011, pour la publication d'un nouveau scénario négaWatt national en janvier 2017. Nous nous sommes appuyés pour cet exercice régional sur ce travail plus récent, en cours de bouclage lors de la rédaction de ce rapport (quelques chiffres sont donc susceptibles de bouger encore légèrement, à la marge).

³ Une synthèse présentant le scénario est disponible en ligne sur le site de l'association négaWatt : www.negawatt.org

Cette démarche suppose une action volontariste d'autres acteurs que la Région en faveur de la transition énergétique, ce qui constitue sans aucun doute une donnée fondamentale pour mettre en œuvre cette transition ambitieuse.

Pour comprendre le fonctionnement de cette régionalisation, il est donc nécessaire de décrire la méthodologie et les principales hypothèses retenues au niveau national, qui structurent le scénario régionalisé. En effet, on peut raisonnablement supposer que, par exemple, la réduction des consommations unitaires des véhicules, ou l'efficacité des appareils électriques (produits blancs, audiovisuel, informatique, éclairage, etc.) évoluent de manière homogène sur l'ensemble du territoire français.

Par contre, d'autres paramètres dépendent bien évidemment du contexte régional, et seront donc décrits de manière plus détaillée par la suite. La régionalisation a ensuite été effectuée sur la base de ces caractéristiques régionales qui sont également explicitées, tant pour la consommation que pour la production.

Ce document présente donc :

- La méthodologie globale qui a été adoptée
- Les hypothèses du scénario négaWatt national qui ont été les plus utiles pour la construction du scénario régionalisé (hypothèses sur postes de consommation d'énergie)⁴
- Les méthodes et hypothèses qui ont permis la régionalisation des postes de consommations
- Les hypothèses qui ont permis de connaître les postes de production.

Tous les voyants concernant le changement climatique sont au rouge, chaque rapport du GIEC⁵ tire la sonnette d'alarme avec plus de vigueur que le précédent, et les exigences en termes de réduction de gaz à effet de serre sont régulièrement revues à la hausse. C'est ainsi que la présente étude prend tout son sens, en cherchant comment il est possible d'aller plus rapidement et plus loin que des objectifs comme les « 3 x 20 »⁶ de l'Europe, ou le facteur 4⁷ annoncé par le Premier Ministre français dès 2003.

⁴ Les hypothèses présentées dans ce document sont celles qui ont le plus d'intérêt pour la régionalisation. Pour être plus complet, notons qu'un [document technique](#) décrivant l'ensemble des hypothèses du scénario négaWatt national est disponible.

⁵ GIEC : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

⁶ L'objectif principal fixé par l'Union est fixé par la directive des « 3x20 » :

- diminuer de 20 % des émissions de gaz à effet de serre des pays de l'UE
- atteindre 20 % d'énergies renouvelables dans le mix énergétique européen
- réaliser 20 % d'économies d'énergie

⁷ Division par 4 des gaz à Effet de Serre d'ici 2050.

1. METHODOLOGIE DE SCENARISATION

La présente partie détaille la méthodologie globale du scénario et les principales hypothèses structurantes retenues.

Dans les deux premiers paragraphes, nous présentons un résumé de la méthode adoptée pour bâtir le scénario national. Nous ne détaillerons pas ici les choix, déterminants, hypothèses et méthodes qui ont été retenus pour dessiner ces trajectoires de consommation. Le lecteur pourra se reporter utilement au rapport technique décrivant l'ensemble de la méthodologie⁸. Notons qu'un important travail de reprise du scénario 2011 est en cours, avec une consolidation de la méthodologie intégrant des développements nouveaux, la mise à jour des chiffres pour les années 2011-2015, et une adaptation des hypothèses pour prendre en compte l'urgence accrue de la contrainte climatique pointée par le GIEC, ainsi que les engagements de limitation du réchauffement pris par la communauté internationale lors de la COP 21 (21^e « Conference Of Parties ») en décembre 2015 à Paris. Les chiffres et trajectoires de la scénarisation régionale s'appuient sur cette mise à jour 2017 du scénario national.

1.1. Préambule concernant d'autres exercices de scénarisation

L'exercice présenté ici a pris le parti de s'appuyer sur une modélisation physique du système énergétique, avec un double pas de temps annuel pour les bilans énergétiques et horaires pour les bilans en puissance. En cela, il diffère notablement d'autres exercices de prospectives, tels que par exemple les SRCAE (Schémas Régionaux Climat Air Energie), qui ont également une portée régionale.

Une des limites des SRCAE est le fait qu'ils ont été élaborés par les Régions sans qu'une base méthodologique commune ait été définie au préalable, rendant de ce fait toute compilation nationale des visions régionales extrêmement hasardeuse, voire impossible. Une autre limite forte réside dans l'absence de trajectoire précise entre des points de passages dont le premier est très proche (2020) et le dernier très éloigné (2050). Par ailleurs, les évaluations des potentiels en énergies primaires sont assez largement découplées des consommations d'énergies finales, puisque le passage des premières vers les secondes n'est pas modélisé.

Une source d'énergie **primaire** est une forme d'énergie disponible dans la nature avant toute transformation. Si elle n'est pas utilisable directement, elle doit être transformée en une source d'énergie **secondaire** pour être utilisable et transportable facilement. Dans l'industrie de l'énergie, on distingue la production d'énergie primaire, de son stockage et son transport sous la forme de vecteurs d'énergie et de la consommation d'énergie **finale**.

Le terme « énergie finale » désigne l'énergie au stade final de la chaîne de transformation de l'énergie, c'est-à-dire au stade de son utilisation par le consommateur final. Elle correspond de fait à l'énergie facturée et payée par le consommateur.

Source : Wikipedia

⁸ Scénario négaWatt 2011-2050, Hypothèses et méthode, mai 2014, 211 pages, <http://www.negawatt.org/rapport-technique-p131.html>

1.2. Le scénario négaWatt national

1.2.1. Les fondamentaux du scénario

Le travail de scénarisation effectué est basé sur la démarche négaWatt : sobriété, efficacité énergétique et énergie renouvelables.

La sobriété énergétique consiste à hiérarchiser nos besoins (Figure 1-1) et à supprimer les consommations jugées superflues. Ce travail relève autant d'actions individuelles (comportement) que collectives :

- Le choix d'un appareil adapté à l'usage (taille de la voiture, du réfrigérateur, de la maison, extinction des appareils qui fonctionnent sans utilité, ...) relève de comportements individuels
- L'extinction de l'éclairage public nocturne (extinction totale, partielle, la baisse de l'intensité lumineuse ou des points lumineux, ...), la limitation de la vitesse des véhicules font partie des choix de sobriété collective.

L'efficacité énergétique consiste à répondre aux besoins définis en consommant le moins d'énergie possible : une maison isolée consommera moins pour délivrer une température donnée, elle sera donc plus efficace. L'efficacité intervient dans la consommation des moteurs, des appareils électroménagers (étiquette énergie), le rendement des chaudières, ...

Une fois réduits les besoins d'énergie grâce à la sobriété et à l'efficacité énergétique, les énergies renouvelables constituent une réponse intelligente au besoin d'énergie « résiduel ».

Dans le scénario négaWatt, ce triptyque « sobriété, efficacité et renouvelable », illustré en page précédente, a été appliqué systématiquement à tous les domaines de l'énergie.

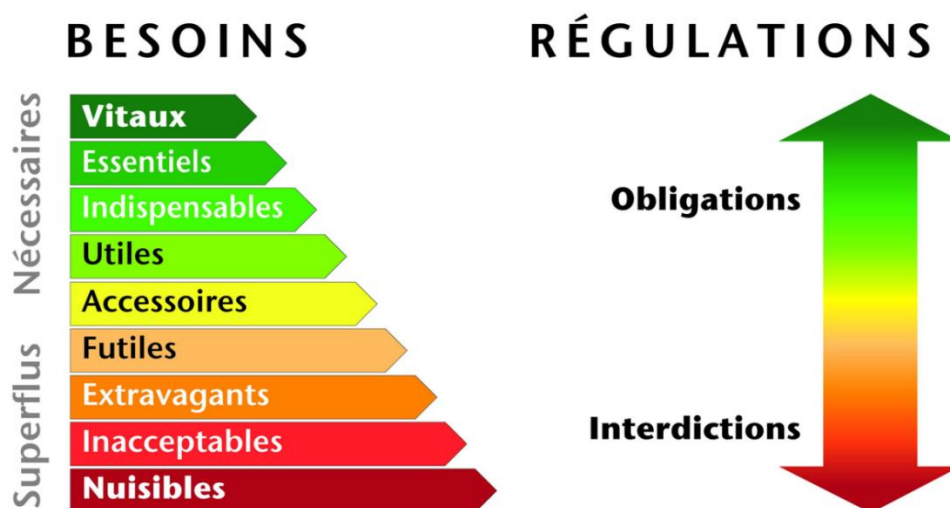


Figure 1-1 : Hiérarchiser ses besoins, pour identifier les besoins superflus (sobriété)

Trois principes directeurs sont par ailleurs à la base de la construction du scénario négaWatt national comme du régional :

- **Un scénario physique**, avant d'être économique : le scénario proposé évalue le potentiel d'économie d'énergie et de production d'énergie renouvelable mobilisable sur la base de la généralisation des meilleures techniques et pratiques disponibles, en intégrant des critères sociaux et environnementaux dans la hiérarchie des solutions.

Concrètement, cela signifie qu'il explore systématiquement les « gisements de négaWatts », de la sobriété et de l'efficacité énergétique, dans tous les secteurs. Puis il fait de même concernant les potentiels des énergies de flux, qu'il privilégie par rapport aux énergies de stock.

Il remet donc les analyses dans l'ordre, en partant des réalités physiques, d'où découlent les contraintes économiques. Il permet ainsi de passer d'un ancien « logiciel de pensée » qui priorise les quelques actions les plus rentables, à un nouveau logiciel qui recherche la trajectoire la plus efficiente (techniquement, socialement, économiquement) pour atteindre nos objectifs énergétiques et climatiques.

- **Pas de rupture technologique** : le scénario ne repose sur aucun pari technologique. Des « ruptures » ou « bonnes surprises » ne sont pas à exclure d'ici à 2050, telles que, peut-être, la maturité des biocarburants liquides ou gazeux de 3^e génération, mais elles sont impossibles à prévoir, et peuvent intervenir en positif comme en négatif (augmentation des consommations d'énergie). Le scénario ne retient que des solutions jugées réalistes et matures, c'est-à-dire dont la faisabilité technique et économique est démontrée, même si elles ne sont pas encore très développées au niveau industriel. Il dessine ainsi une trajectoire robuste tout en restant ouverte aux évolutions futures. Le critère pour retenir ou non une technologie est donc l'existence ou non d'un prototype industriel suffisamment crédible.
- **Un scénario multicritère** : l'objectif du scénario ne se limite pas à la lutte contre le changement climatique. Il ne suffit pas de « décarboner » l'énergie pour faire une transition énergétique, mais il faut réduire l'ensemble des risques et des impacts liés à notre modèle énergétique. Les contraintes sur l'eau, les matières premières, les problématiques de pollutions ou d'usage des sols doivent également être prises en compte. La définition du développement soutenable qui a permis de hiérarchiser les choix du scénario est la suivante : « léguer aux générations futures des bienfaits et des rentes plutôt que des fardeaux et des dettes ». Cette définition simple conduit méthodologiquement à écarter la construction de nouveaux réacteurs nucléaires, ainsi que le recours aux technologies de « capture et séquestration de carbone », ou encore l'exploitation des gaz de schistes.
- Notons enfin que le scénario est couplé à Afterres2050, un scénario centré sur les utilisations de la ressource biomasse pour l'alimentation, l'énergie et les matériaux et développé selon une démarche similaire à celle de négaWatt par l'association Solagro, spécialiste reconnue du domaine. Afterres2050 est donc « l'équivalent agricole » du scénario négaWatt, les deux scénarios étant complémentaires et totalement compatibles. Afterres2050 permet d'identifier notamment les usages des sols qui relèvent des hypothèses retenues par Solagro et négaWatt. Une déclinaison régionale du scénario Afterres2050 a été réalisée pour la région Centre-Val de Loire. Les chiffres des potentiels biomasse utilisés pour la scénarisation sont issus de cette étude.

1.2.2. Modèle et structure de l'outil de scénarisation

La démarche de prospective du scénario négaWatt est centrée sur les services énergétiques, et remonte aux productions d'énergie. Ce choix induit une modélisation de type « bottom-up »⁹ basée sur un découpage sectoriel des usages de l'énergie. Cette modélisation repose sur un modèle purement physique, qui se démarque ainsi des exercices prospectifs classiques basés sur des modèles économiques.

La transition énergétique engage évidemment une transformation économique et sociale de la société, mais ce sont bien les contraintes imposées par les données physiques qui déterminent les évolutions décrites par le scénario négaWatt.

Les modèles macro-économiques aujourd'hui dominants, utilisés notamment par l'État, sont fondés sur le principe que c'est le « moindre coût » à un instant donné pour un acteur économique donné qui doit guider les choix en matière d'énergie. Ainsi, les signaux économiques – essentiellement de court terme – guident la trajectoire énergétique, plutôt que le contraire.

Or il n'y a aucune raison de penser que cette règle puisse conduire à une trajectoire conforme à l'intérêt général de long terme vis-à-vis des contraintes physiques sur les ressources énergétiques et leurs impacts.

Le modèle utilisé par le scénario négaWatt 2017 ne permet pas de relier directement choix énergétiques et mesure du PIB : ceci nécessiterait de lui adjoindre un module spécifique.

Il permet en revanche de définir, à partir d'une évolution des usages, des vecteurs et des sources d'énergie, les grandes lignes du contenu en croissance et en emplois d'une transition énergétique – dont la pratique de terrain et les exemples à l'étranger nous indiquent qu'elle peut être porteuse d'une véritable dynamique économique et sociale, surtout si on la compare aux conséquences de l'inaction.

Le scénario 2017 s'appuie sur une méthodologie et un modèle considérablement renforcés pour représenter de manière très fine au sein d'un « plan directeur dynamique » l'évolution du système énergétique français en termes d'usages et de ressources.

Le modèle repose donc sur une analyse remontante, à partir des services énergétiques répartis en trois grands usages :

- La chaleur, qui regroupe le chauffage des bâtiments du résidentiel et du tertiaire, l'eau chaude sanitaire, la cuisson des aliments, la chaleur utilisée dans les processus industriels, ainsi que la climatisation ;
- La mobilité, soit l'ensemble des déplacements de personnes, de matières premières et de biens ;
- L'électricité spécifique incluant l'éclairage, l'électroménager, l'informatique, la bureautique et les moteurs électriques utilisés dans l'industrie ou le bâtiment (ascenseurs par exemple).

Le choix du « vecteur énergétique » le plus approprié (combustible solide, liquide ou gazeux, carburant, chaleur, électricité, ...) pour répondre à chaque besoin est ensuite effectué de façon à pouvoir remonter aux consommations en énergie finale, celle qui est délivrée aux consommateurs pour chacun de leurs usages. De même, on remonte ensuite des consommations finales aux consommations de ressources primaires (pétrole, gaz fossile, uranium, énergies renouvelables, ...) produites en France ou importées.

⁹ Approche « ascendante » ou « remontante », du local au global.

Ces consommations sont mises d'abord en face du potentiel de production des énergies renouvelables, en fonction de leur stade de développement filière par filière, puis du rythme de fermeture des réacteurs nucléaires. Enfin, les énergies fossiles servent de variable d'ajustement pour fournir le complément de production et, pour le scénario national, assurer l'équilibre entre offre et demande.

Pour l'électricité, cet équilibre ne doit pas seulement être assuré en volume de production annuelle, mais à tout instant : l'outil développé dans le scénario négaWatt national permet d'assurer un équilibre entre l'offre et la demande d'électricité heure par heure pour chaque année jusqu'en 2050.

Cet outil est basé sur :

- Des courbes-type de répartition de la consommation selon les usages
- Des courbes-type de production selon les filières.

Ces courbes de production et de consommation sont croisées pour déterminer les situations de l'équilibre offre-demande (surproduction ou surconsommation), heure par heure. Ce calcul dynamique permet de déterminer :

- Les différentes solutions de flexibilité, comme l'effacement et le stockage
- La contribution des filières « pilotables » : thermique à flamme, hydraulique de barrage, ...

L'équilibre offre-demande en électricité est ainsi pris en compte, ainsi que les consommations d'énergie fossile nécessaires à cet équilibre, le cas échéant.

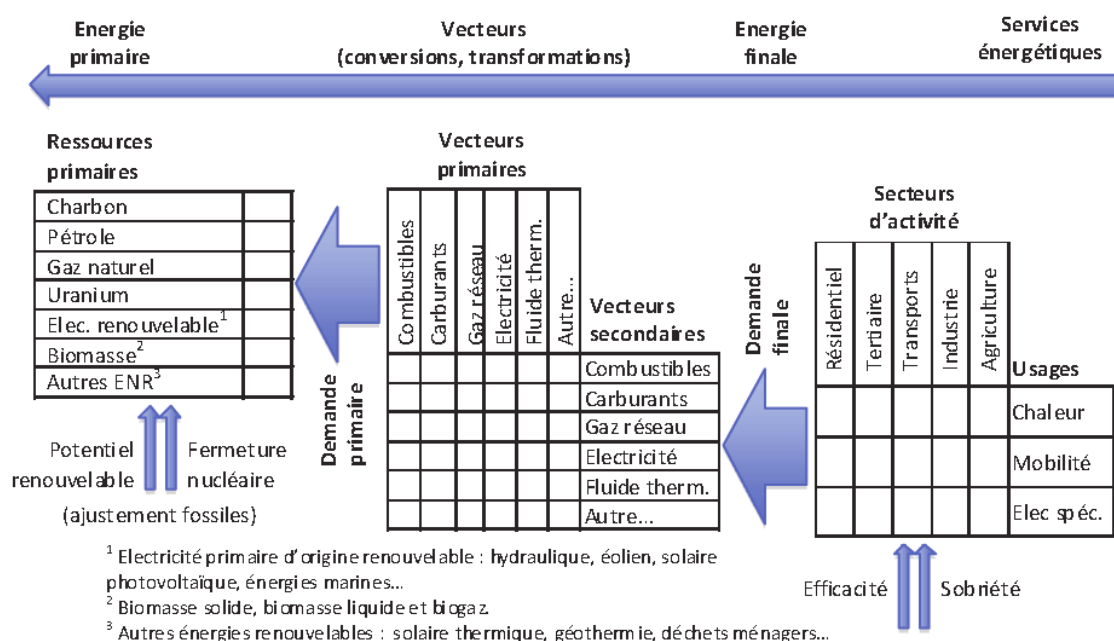


Figure 1-2 : Démarche de modélisation du scénario négaWatt 2017

Remarque méthodologique importante : toutes les productions et consommations d'énergie ont été exprimées en **TWh PCS** (TéraWattheures, avec Pouvoir Calorifique Supérieur). Le **PCI** (Pouvoir Calorifique Inférieur) ne prend pas en compte l'énergie de vaporisation de l'eau présente en fin de réaction (chaleur latente), contrairement au PCS. Ce choix augmente donc les quantités d'énergie considérées par rapport au PCI (car $PCS = PCI + \text{chaleur latente de l'eau}$) pour plusieurs vecteurs :

- pour les combustibles minéraux et solides (charbon), augmentation de 1,052
- pour la biomasse solide, augmentation de 1,09
- pour les combustibles liquides, augmentation de 1,075
- pour le GPL, augmentation de 1,087
- pour le combustible gazeux, augmentation de 1,11

Dans la mesure où de plus en plus de matériels, par recherche d'efficacité, valorisent maintenant cette chaleur de condensation, que ce soit dans des chaudières gaz, puis fioul et maintenant bois, nous avons donc choisi d'exprimer toutes les énergies en PCS. De ce fait, nos valeurs ne peuvent pas être comparées directement à celles provenant d'observatoires ou de sources diverses, qui sont le plus souvent données en tep, ktep ou Mtep PCI.

1.2.3. Secteurs de consommation

Les secteurs de consommation d'énergie pris en compte dans le scénario sont :

- Les bâtiments résidentiels et tertiaires
- La mobilité des personnes et le transport des marchandises
- La production industrielle
- Le secteur agricole.

Les consommations sont reconstituées à partir d'une modélisation faisant intervenir des paramètres décrivant les usages (par exemple le nombre de m² de logements chauffés, les consommations d'eau chaude sanitaire, le nombre d'heures d'utilisation des appareils audiovisuels, ...) et des paramètres techniques (besoin surfacique de chauffage des logements et du tertiaire, répartition des différents modes de chauffage, rendements de ces systèmes, puissance des appareils audiovisuels, ...).

Les valeurs énergétiques résultant de cette modélisation sont ensuite comparées aux valeurs issues des statistiques énergétiques nationales.

Pour ces secteurs de consommation d'énergie, une étude très fine a été menée dans le scénario national sur les potentiels de réduction de consommation d'énergie, en analysant de très nombreux déterminants de la sobriété et de l'efficacité. La plupart des paramètres ainsi quantifiés (par exemple les rendements des appareils de chauffage, ou les consommations unitaires des véhicules) sont supposés évoluer de manière identique entre le niveau national et le niveau régional.

Par contre, d'autres doivent être ajustés pour décrire les particularités régionales. Nous les détaillerons plus loin.

Cette approche conduit à ce que les évolutions de consommation d'énergie au niveau régional s'inscrivent dans une dynamique nationale, tout en étant adaptées aux spécificités régionales.

1.2.4. Secteurs de production

Les énergies primaires retenues dans la scénarisation sont détaillées dans le Tableau 1-1. On distingue les énergies renouvelables et les énergies non renouvelables.

Le cas des déchets ménagers ou DIB incinérés est un peu particulier : une fraction d'entre eux sont des déchets de biomasse (papiers, emballages bois, etc.) et sont donc considérés comme renouvelables. Dans notre scénarisation, ils sont intégrés dans la biomasse solide. Par contre, une autre partie est constituée d'emballages en matière plastique, et sont donc essentiellement issus du pétrole. Dans les statistiques nationales, ces déchets sont étrangement comptabilisés comme une énergie renouvelable, ce qui n'est pas le cas dans de nombreux autres pays.

Catégories	Détail	Sous-détail	Sous-catégories
Energies non renouvelables	Energies fossiles	Charbon	
		Pétrole	
		Gaz naturel	
	Uranium		
	Déchets	Déchets ménagers ou DIB incinérés, non comptabilisés dans les déchets biomasse solide	
Energies renouvelables	Produisant directement uniquement de l'électricité	Hydraulique	Fil de l'eau, éclusée, lac, STEP, petit hydraulique, marémotrice, houlomotrice, hydrolienne
		Eolien	Terrestre ancienne et nouvelle génération, offshore posé et flottant
		Photovoltaïque	Diffus sur toiture, toitures industrielles, au sol
	Biomasse	Solide	Bois énergie issu de la forêt, produits connexes de scierie énergie, bois énergie issu de l'agroforesterie et des arbres hors forêt, déchets de bois (2 ^{de} transformation, bois de rebut, emballages, déconstruction), autres produits dérivés du bois (boues de papeterie, liqueurs noires...), résidus de culture usage combustion
		Liquide	Biodiesel, éthanol, huile végétale, ...
		Biogaz	Déchets alimentaires, déjections d'élevage méthanisées, résidus de culture méthanisés, cultures intermédiaires méthanisées, herbe et cultures fourragères méthanisées, autres biogaz
	Solaire thermique	Chaleur basse température pour chauffage, production d'eau chaude sanitaire ou industrielle, chaleur moyenne température pour l'industrie	
	Géothermie	Géothermie moyenne et haute énergie	
	Chaleur environnement	Chaleur de l'air, aquifères superficiels, géothermie très basse et basse énergie	

Tableau 1-1 : Energies primaires utilisées

1.2.5. Scénario tendanciel

Suite à l'adoption de la loi n° 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte (LTECV), différents exercices prospectifs ont été conduits par la DGEC :

- Une stratégie nationale bas carbone et des budgets carbone (SNBC) article 48 de la LTECV offrant une visibilité sur 3 fois 5 ans
- Une Programmation Pluriannuelle de l'Energie (PPE) (article 49 de la LTECV), proposant une visibilité sur 2 fois 5 ans.
- Un Programme de Réduction des Emissions de Polluants Atmosphériques (PREPA) (article 17 de la LTECV) qui doit être pris en compte dans les schémas régionaux du climat, de l'air et de l'énergie (SRCAE) et les plans de protection de l'atmosphère (PPA)

Dans ce cadre, 3 scénarios ont été produits :

- Une projection avec mesures existantes (AME) : prise en compte des effets en termes de réductions des émissions de GES des politiques et mesures adoptées et mise en œuvre au 1^{er} janvier 2014
- Une projection avec mesures supplémentaires (AMS) : prise en compte des effets en termes de réductions des émissions de GES des politiques et mesures adoptées afin d'atténuer le changement climatique, ainsi que des politiques et mesures planifiées à cette fin.

Deux variantes (AMS1 et AMS2) ont été étudiées, la seconde étant plus ambitieuse que la première.

Parallèlement au scénario de transition étudié ici, nous avons également produit un scénario tendanciel. Celui-ci, construit de la même manière que le scénario négaWatt, vise à décrire ce qui se passerait si les évolutions actuelles étaient poursuivies sans engager les changements proposés dans le scénario de transition. Au regard des évolutions passées, et de l'écart entre les intentions et les réalités observées, nous avons choisi de retenir comme scénario tendanciel une trajectoire élaborée à partir des hypothèses de la variante AMS1.

1.3. Le scénario régional

Sauf particularité régionale explicitée ci-dessous, les évolutions des principaux paramètres sont similaires à celles du scénario national (par exemple évolution de la surface habitable par personne, ...)

1.3.1. La population

L'hypothèse retenue en termes d'évolution de la population totale est celle de l'INSEE¹⁰, jusqu'en 2040. Au-delà, une extrapolation a été réalisée jusqu'en 2050. Elle amène ainsi à une population totale de 2 861 milliers d'habitants en 2050 en région Centre-Val de Loire.

Un autre paramètre important quant à la description de la démographie est le nombre de personnes par ménage, qui va influencer directement sur le nombre de logements. On observe au niveau national une tendance à la diminution de ce nombre de personnes par ménage, résultant d'une décohabitation croissante (familles monoparentales, personnes âgées restant seules dans leur logement, etc.). Cependant, cette diminution n'est pas inéluctable.

¹⁰ Projections de population à l'horizon 2060, INSEE, octobre 2010.

Dans le scénario négaWatt national, l'hypothèse de sobriété retenue consiste à stabiliser le nombre de personnes par logement à une valeur similaire à celle de 2015, après un passage par un minimum aux alentours des années 2020-2030. Cette stabilisation peut être encouragée par exemple par des mesures d'incitation à la cohabitation de personnes âgées et d'étudiants, mais elle peut aussi être subie du fait de contraintes économiques (loyers élevés, hausse du prix du foncier, etc.). Nous retenons une trajectoire similaire en région, avec cependant une valeur légèrement plus basse déjà observée en 2012 par rapport à la valeur moyenne nationale.

Les projections démographiques régionales retenues sont représentées ci-dessous :

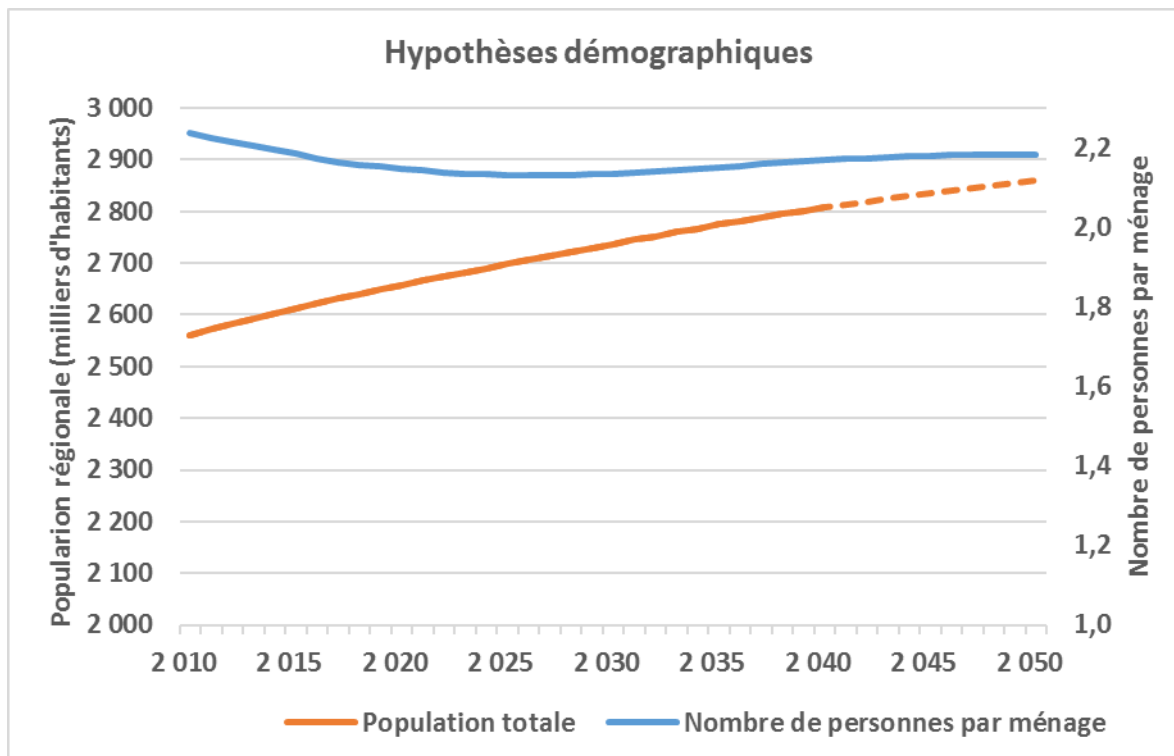


Figure 1-3 : Graphique des hypothèses d'évolution de la population régionale (2010-2050)

1.3.2. Le résidentiel

1.3.2.1. Calage de l'année de référence

Les données de base utilisées sont issues de Lig'Air pour l'OREGES Centre-Val de Loire : valeurs des consommations finales d'énergie (combustibles solides (charbon, déchets), biomasse solide, fioul, GPL, combustible gazeux (réseau), électricité, réseaux de chaleur, solaire thermique) décomposées pour les usages chauffage, eau chaude sanitaire, climatisation, cuisson, électricité spécifique.

Ces valeurs sont comparées pour l'année de référence 2012 avec les valeurs issues du scénario négaWatt (SnW) national, avec application de plusieurs coefficients correcteurs permettant d'ajuster aux conditions régionales :

- Coefficient de population : rapport entre la population de la région Centre-Val de Loire et la population nationale (scénarisée jusqu'en 2050). Ce rapport vaut 4,1 % en 2012.
- Coefficient de surface : rapport entre la surface moyenne des logements en Centre-Val de Loire et en France (pris égal à 1,03)

- Coefficient climatique chauffage : rapport entre les degrés-jours moyens de la région et les degrés-jours moyens français. Ce paramètre situe la rigueur du climat par rapport à la moyenne nationale. Il vaut ici 1,06, ce qui signifie le climat en Centre-Val de Loire est légèrement plus rigoureux que le climat moyen français.
- Coefficient de comportement de l'enveloppe : rapport entre les besoins moyens de chauffage d'un logement en Centre-Val de Loire et les besoins du même logement en moyenne nationale.

Ce rapport dépend de la qualité thermique du logement. Plus celui-ci est performant, plus la réduction de besoins de chauffage dans un climat favorable est importante par rapport aux besoins dans le climat moyen français. Pour établir une loi de variation, nous avons utilisé les résultats de nombreuses simulations dynamiques effectuées sur des maisons individuelles et des bâtiments collectifs, avec des climats variés, de manière à calculer le coefficient permettant de passer des besoins moyens pour la France aux besoins moyens pour Centre-Val de Loire.

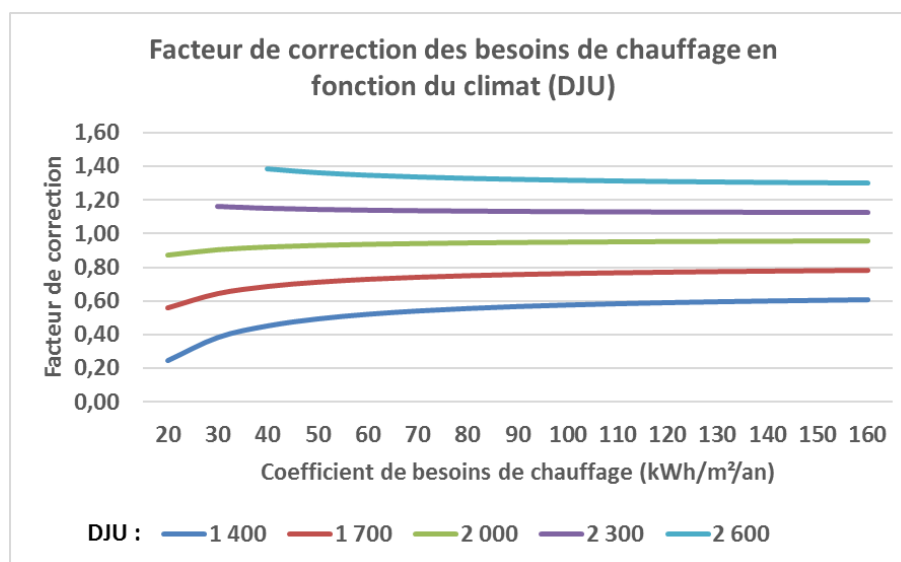


Figure 1-4 : Coefficients climatique chauffage

- Coefficient qualité de l'enveloppe : rapport entre le coefficient de déperditions moyen du parc régional résidentiel et le coefficient moyen national. Ce coefficient est utilisé comme variable d'ajustement pour que les consommations de chauffage reconstituées à l'aide de la modélisation coïncident avec les données régionales disponibles. Ce coefficient vaut 1 dans notre cas, ce qui signifie qu'en moyenne, les enveloppes et ventilations des bâtiments du secteur résidentiel sont aussi performantes que la moyenne nationale
- Coefficient climatique ECS (eau chaude sanitaire) : rapport des écarts moyens régional et national entre la température d'eau froide et la température de référence de 50 °C (pris égal à 1)
- Coefficient de consommation d'eau chaude sanitaire : coefficient d'ajustement pour caler les consommations d'énergie pour la production d'ECS. Pour 2012, il vaut 1, ce qui signifie que la consommation moyenne par logement (maison individuelle ou logement collectif) est identique à la moyenne nationale
- Coefficient de consommation de cuisson : coefficient d'ajustement pour caler les consommations d'énergie pour la cuisson (pris égal à 1,18). Cet écart peut être lié à un écart méthodologique de calcul de ce poste entre les données Lig'Air et le SnW national.

- Coefficient résidences secondaires : rapport des pourcentages de résidences secondaires régional et national rapportés au parc de résidences principales (pris égal à 1)
- Proportion de maisons individuelles dans le parc de logement régional comparé à la proportion nationale (pris égal à 73 %, contre 56 % en moyenne nationale)
- Coefficient électricité spécifique : correction de la consommation régionale moyenne par logement par rapport à la consommation moyenne nationale (pris égal à 1,17)
- Coefficient climatique climatisation : rapport entre les degrés-jours moyens de climatisation de la région et les degrés jours moyens de climatisation français. Ce paramètre situe la rigueur du climat par rapport à la moyenne nationale. Il vaut ici 0,68, ce qui signifie le climat en Centre-Val de Loire est légèrement moins chaud en été que le climat moyen français.
- Coefficient de taux d'équipement en climatisation : rapport (pris égal à 0,79) entre les taux d'équipement. Celui pour la France vaut 3,6 % en 2007, et celui pour la région Centre-Val de Loire, est estimé à 2,9 % pour la même année.

Ces différents coefficients d'ajustement permettent d'obtenir une bonne corrélation entre les données de consommation Lig'Air et les données régionalisées issues du scénario national, pour l'année 2012 :

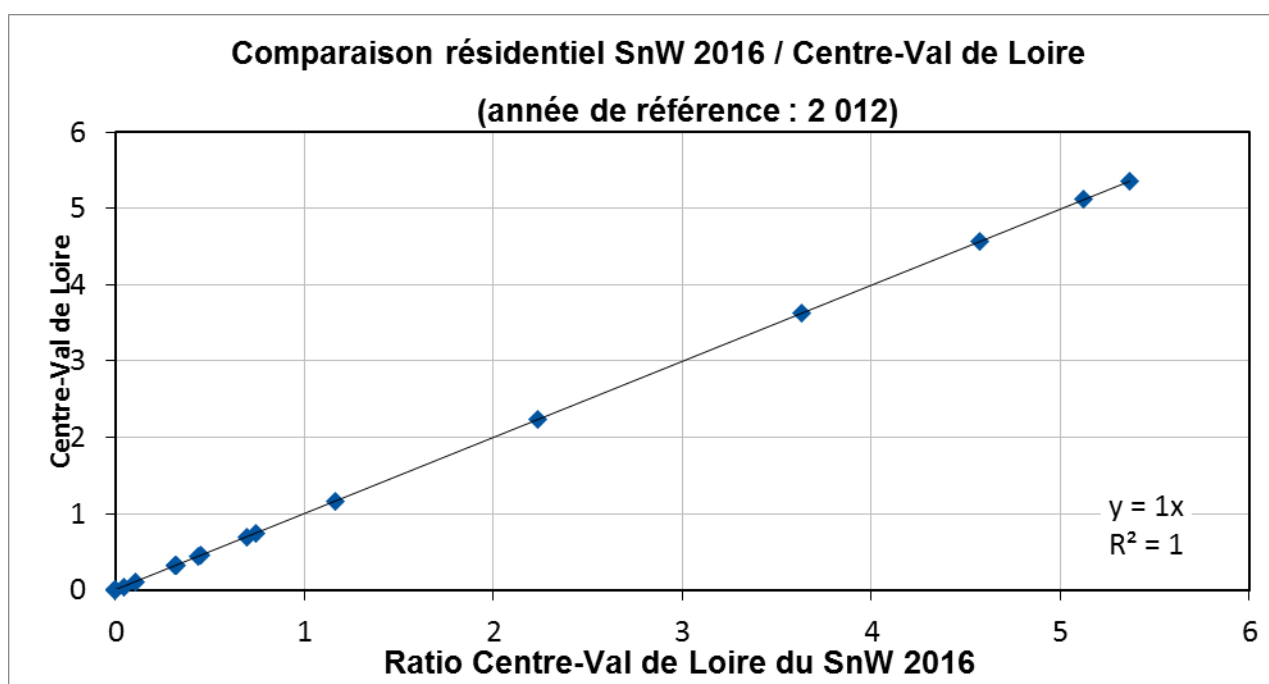


Figure 1-5 : Corrélation entre les données Lig'Air et les données régionalisées issues du scénario négaWatt 2017 pour le secteur résidentiel

1.3.2.2. Scénarisation

Chauffage et eau chaude sanitaire

Ce calage étant effectué, les coefficients correcteurs sont utilisés ensuite pour « régionaliser » les trajectoires du scénario national. Dans ce calcul, les seuls coefficients qui ont été modulés sont le coefficient de population, le coefficient de comportement des enveloppes des bâtiments et les parts modales du chauffage et de la production d'ECS, selon les hypothèses suivantes :

	Chauffage				ECS			
	France		Centre-Val de Loire		France		Centre-Val de Loire	
	2 050	2 012	2 050	2 012	2 050	2 012	2 050	2 012
Charbon	0,0%	0,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Biomasse solide	30,0%	7,9%	31,4%	11,9%	15,0%	0,3%	15,0%	0,0%
Fioul	0,0%	13,9%	0,0%	21,9%	0,0%	9,3%	0,0%	10,6%
GPL	0,0%	1,7%	0,0%	3,9%	0,0%	2,4%	0,0%	3,5%
Combustible gazeux	12,7%	41,8%	10,1%	33,6%	15,0%	39,2%	15,0%	26,5%
Electricité	50,0%	30,5%	53,5%	25,9%	65,0%	45,4%	65,0%	57,2%
Réseaux de chaleur	7,3%	3,8%	5,0%	2,7%	5,0%	3,4%	5,0%	2,2%

Tableau 1-2 : Modification des parts modales du chauffage et de l'eau chaude sanitaire dans le secteur résidentiel

Compte tenu de l'abondance de la ressource locale, le bois énergie pour le chauffage est utilisé de manière plus importante. De même, l'utilisation de l'électricité dans des pompes à chaleur est également légèrement augmentée, de manière à diminuer la demande en gaz.

Les réseaux de chaleur sont également développés, mais dans une moindre proportion que dans le SnW national, pour tenir compte du caractère rural de la région (proportion de maisons individuelles plus importante que la moyenne nationale, qui rend le développement des réseaux difficile sur le plan de la rentabilité des investissements)

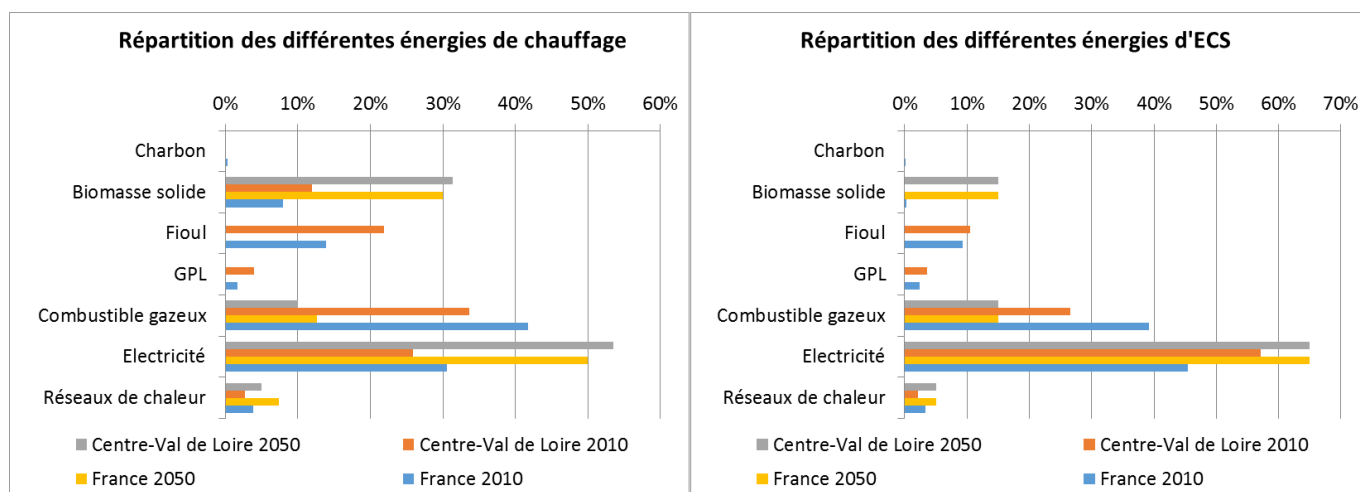


Figure 1-6 : Evolution des parts modales pour le chauffage et l'ECS (en nombre d'installations)

(NB : le solaire thermique n'apparaît pas en tant que tel, car il est toujours associé à une énergie d'appoint. Les systèmes solaires sont donc répertoriés dans le schéma précédent en fonction de cette énergie d'appoint)

Climatisation

Nous disposons de peu d'informations sur les consommations de climatisation des secteurs résidentiel et tertiaire, les valeurs correspondantes n'étant pas explicites dans les statistiques de Lig'Air. Nous avons procédé à des extrapolations des valeurs nationales, à partir des éléments caractérisant les parcs de logements.

Pour la climatisation résidentielle, une multiplication par 4 du taux d'équipement est envisagée à l'horizon 2050 (valeur identique à ce qui est prévu dans le scénario nW national).

Cuisson

Les chiffres fournis par Lig'Air montrent une utilisation de l'électricité pour la cuisson inférieure à la moyenne nationale. En 2050, les parts respectives de chacune des énergies convergent vers celles du scénario national.

	Région 2012	France 2012	France 2050
GPL	26%	16%	0%
Gaz naturel	36%	23%	22%
Electricité	38%	60%	78%

Tableau 1-3 : Evolution des parts modales pour la cuisson (en énergie)

(NB : le bois-énergie n'apparaît pas dans cette répartition, car il est vraisemblablement assez marginal)

Electricité spécifique

Les chiffres fournis par Lig'Air montrent une utilisation de l'électricité spécifique un peu supérieure à la moyenne nationale (+ 17 % en 2012). Nous ne disposons pas d'éléments d'information qui permettrait d'expliquer cet écart. Dans la scénarisation, il est maintenu à une valeur identique jusqu'en 2050.

1.3.3. Le tertiaire

Calcul des données régionales

Une méthode analogue à celle du secteur résidentiel est utilisée pour le tertiaire. Les données de base utilisées sont issues de Lig'Air pour l'OREGES Centre-Val de Loire : valeurs des consommations finales d'énergie (combustibles solides (charbon, déchets), biomasse solide, fioul, GPL, combustible gazeux (réseau), électricité, réseaux de chaleur, solaire thermique) décomposées pour les usages chauffage, eau chaude sanitaire, climatisation, cuisson, électricité spécifique.

Ces valeurs sont comparées pour l'année de référence 2012 avec les valeurs issues du scénario national, avec application de plusieurs coefficients correcteurs permettant d'ajuster aux conditions régionales. Les secteurs pris en compte sont les huit habituellement retenus dans les statistiques : Cafés, Hôtels, Restaurants (CHR) ; Habitat Communautaire (HC) ; Santé, Action sociale (SA) ; Enseignement, Recherche (ER) ; Sport, Loisirs (SL) ; Bureaux, Administrations (BA) ; Commerce (C) ; Transport (T).

- Coefficient de surfaces : rapport entre la surface totale des bâtiments tertiaires en Centre-Val de Loire et la surface totale des bâtiments tertiaires nationaux (pris égal à 4,3 %)
- Coefficient climatique chauffage : une méthodologie analogue à celle utilisée pour le résidentiel a été suivie, mais en considérant des degrés-jours spécifiques au secteur tertiaire, tenant compte de l'intermittence d'usage de ces bâtiments.

- Coefficient de comportement de l'enveloppe : une corrélation analogue à celle des logements a été utilisée, mais avec les degrés-jours spécifiques au secteur tertiaire
- Coefficient qualité de l'enveloppe : rapport entre le coefficient de déperditions moyen du parc régional résidentiel et le coefficient moyen national. Ce coefficient est utilisé comme variable d'ajustement pour que les consommations de chauffage reconstituées à l'aide de la modélisation coïncident avec les données régionales disponibles. Ce coefficient vaut ici 1,02, ce qui signifie qu'en moyenne, les enveloppes et ventilations des bâtiments du secteur tertiaire sont à peine moins performantes que la moyenne nationale
- Coefficient climatique ECS (eau chaude sanitaire) : rapport des écarts moyens régional et national entre la température d'eau froide et la température de référence de 50 °C (pris égal à 1)
- Coefficient de consommation ECS : coefficient d'ajustement pour caler les consommations d'énergie pour la production d'ECS (pris égal à 0,98)
- Coefficient de consommation de cuisson : coefficient d'ajustement pour caler les consommations d'énergie pour la cuisson (pris égal à 1,65). Cette valeur relativement élevée peut être liée à un écart méthodologique de calcul de ce poste entre les données Lig'Air et le SnW national.
- Coefficient électricité spécifique : correction de la consommation régionale moyenne du tertiaire par rapport à la consommation moyenne nationale (pris égal à 0,94)
- Coefficient climatique climatisation : rapport entre les degrés-jours moyens de climatisation de la région et les degrés jours moyens de climatisation français. Ce paramètre situe la rigueur du climat par rapport à la moyenne nationale. La valeur retenue est la même que pour le secteur résidentiel (0,68).
- Correction de taux d'équipement en climatisation : rapport (pris égal à 0,69) entre les taux d'équipement : 20,7 % du tertiaire climatisé en 2007 pour la France, 14 % en 2007 pour Centre-Val de Loire.
- Correction d'ajustement en climatisation : faute d'information précises, ce rapport est pris égal à 1.

Ces différents coefficients d'ajustement permettent d'obtenir une bonne corrélation entre les données Lig'Air et les données régionalisées issues du scénario national, pour l'année 2007 :

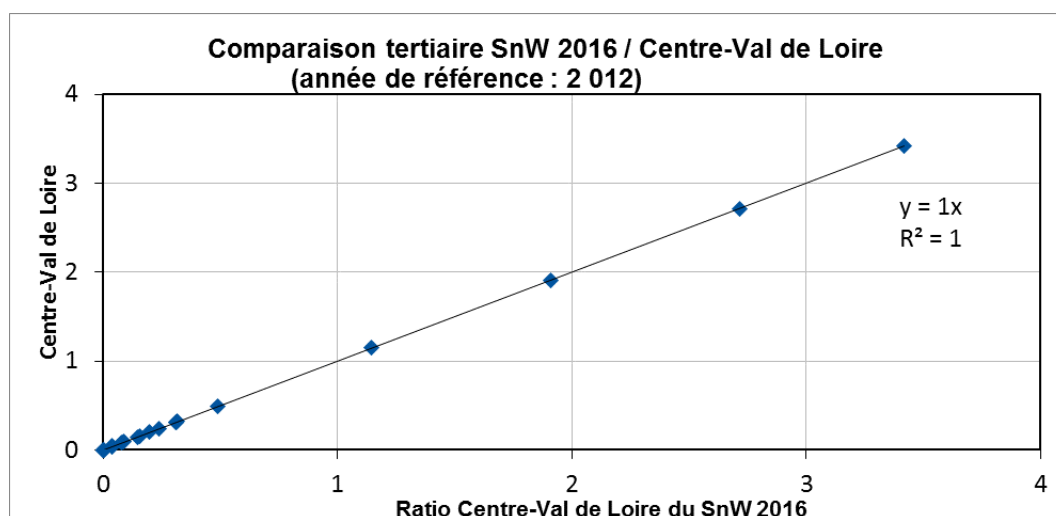


Figure 1-7 : Corrélation entre les données Lig'Air et les données régionalisées issues du scénario négaWatt 2017 pour le secteur tertiaire

Scénarisation

Ce calage étant effectué, les coefficients correcteurs sont utilisés ensuite pour « régionaliser » les trajectoires du scénario national. Dans ce calcul, les seuls coefficients qui ont été modulés sont le coefficient de population, le coefficient de comportement des enveloppes des bâtiments et les parts modales du chauffage et de la production d'ECS, selon les hypothèses suivantes :

	Modulation de la répartition des modes de chauffage et production ECS (en parts modales)							
	Chauffage				ECS			
	France		Centre-Val de Loire		France		Centre-Val de Loire	
	2 050	2 012	2 050	2 012	2 050	2 012	2 050	2 012
Charbon	0,0%	0,9%	0,0%	0,0%	0,0%	0,9%	0,0%	0,0%
Biomasse solide	15,0%	2,2%	22,7%	1,9%	15,0%	2,3%	13,3%	1,9%
Fioul	0,0%	19,1%	0,0%	25,0%	0,0%	14,9%	0,0%	14,1%
GPL	0,0%	1,6%	0,0%	1,9%	0,0%	7,2%	0,0%	3,1%
Combustible gazeux	20,0%	49,2%	31,1%	37,5%	20,0%	45,2%	34,4%	33,9%
Electricité	35,0%	21,5%	36,5%	29,3%	35,0%	25,9%	46,3%	40,2%
Réseaux de chaleur	30,0%	5,6%	9,7%	4,4%	30,0%	3,6%	5,9%	6,8%

Tableau 1-4 : Modification des parts modales du chauffage et de l'eau chaude sanitaire dans le secteur tertiaire

Compte tenu de l'abondance de la ressource locale, le bois énergie pour le chauffage est utilisé de manière plus importante. De même, l'utilisation de l'électricité dans des pompes à chaleur est également légèrement augmentée, de manière à diminuer la demande en gaz.

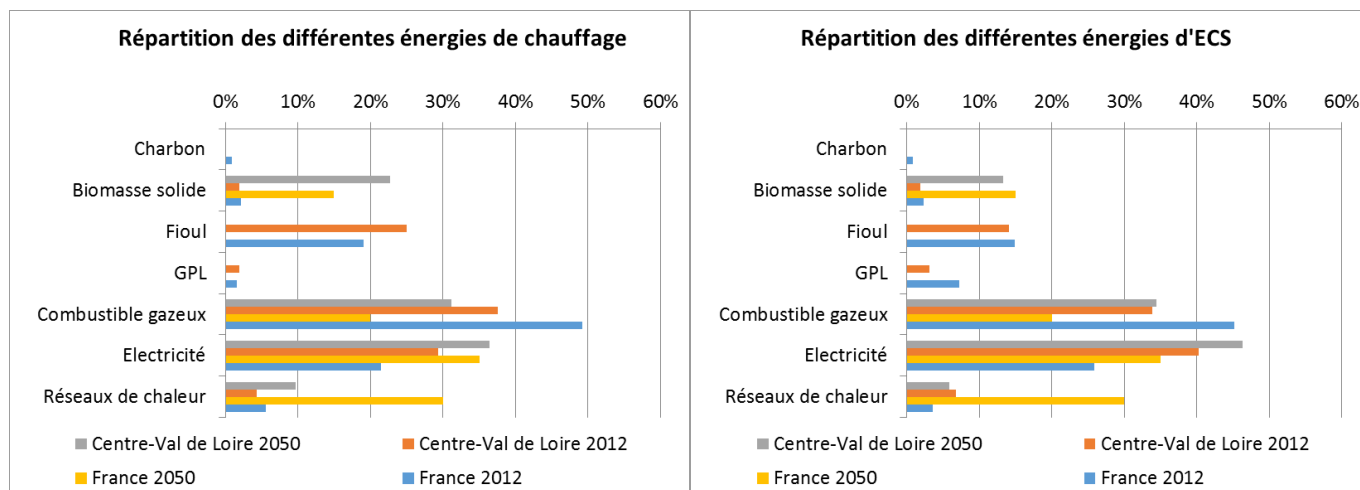


Figure 1-8 : Evolution des parts modales pour le chauffage et l'ECS (en nombre d'installations)

(NB : le solaire thermique n'apparaît pas en tant que tel, car il est toujours associé à une énergie d'appoint. Les systèmes solaires sont donc répertoriés dans le schéma précédent en fonction de cette énergie d'appoint)

Nous disposons de peu d'informations sur les consommations de climatisation des secteurs résidentiel et tertiaire, les valeurs correspondantes n'étant pas explicites dans les statistiques de Lig'Air. Nous avons procédé à des extrapolations des valeurs nationales, à partir des éléments caractérisant le parc tertiaire. L'évolution des taux d'équipements des différents secteurs tertiaires suit les hypothèses du scénario national :

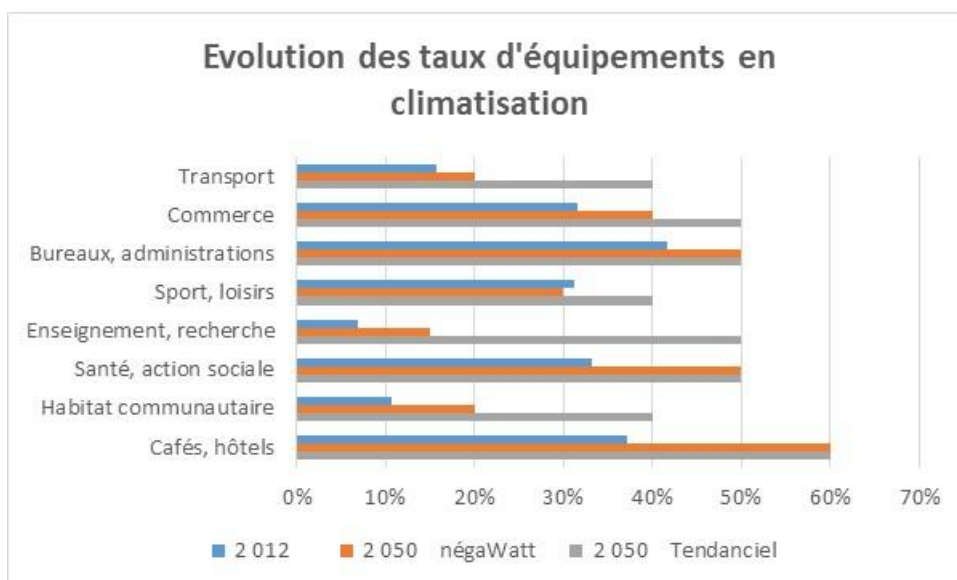


Figure 1-9 : Evolution des taux d'équipements en climatisation dans le tertiaire dans le scénario nW national, reprise dans la scénarisation régionale

Cuisson

Les chiffres fournis par Lig'Air montrent une répartition des énergies utilisées pour la cuisson assez semblable à la moyenne nationale. En 2050, les parts respectives de chacune des énergies convergent vers celles du scénario national.

	Région 2012	France 2012	France 2050
GPL	13%	10%	0%
Gaz naturel	38%	36%	30%
Electricité	49%	54%	70%

Tableau 1-5: Evolution des parts modales pour la cuisson (en énergie)

(NB : le bois-énergie n'apparaît pas dans cette répartition, il est vraisemblablement assez marginal)

Electricité spécifique

Les chiffres fournis par Lig'Air montrent une utilisation de l'électricité spécifique un peu supérieure à la moyenne nationale (+ 6 % en 2012). Nous ne disposons pas d'éléments d'information qui permettrait d'expliquer cet écart. Dans la scénarisation, il est maintenu à une valeur identique jusqu'en 2050.

1.3.4. Consommation (mobilité/transport)

1.3.4.1. Mobilité des personnes

Pour la régionalisation de la trajectoire nationale de la mobilité des personnes, le périmètre d'étude choisi est confondu avec celui de la base Lig'Air pour ce qui concerne les transports terrestres. Les données utilisées pour l'état initial (2012) proviennent de cette base (extraction communale). Pour la mobilité routière, il s'agit donc de consommations par commune estimées à partir des données de comptage routier et de la méthodologie COPERT IV basée sur une modélisation du maillage de la voirie régionale.

Pour les autres types de mobilité, ce sont des estimations ou données de consommation par mode de transport et par combustible, issues de la base Lig'Air.

Ces données de mobilité, exprimées en voyageurs.km par mode de transport, ont été traitées à l'échelle de la commune, par le biais d'une typologie semblable à celle utilisée dans le scénario national (influence des aires urbaines et des pôles urbains). Ce traitement prend donc en compte les particularités de la répartition démographique sur le territoire régional. Il permet de faire une distinction entre la Mobilité Régulière et Locale et la Mobilité Longue Distance. Pour obtenir la seconde, un traitement de statistiques nationales régionalisées, croisant les kilométrages des grands axes routiers et des déplacements répertoriés par l'Enquête Nationale Transports Déplacements a été utilisé, puis soustraite des données de consommations globales issues de Lig'Air par moyen de transport et par énergie, à l'échelle de la commune. Cette décomposition permet ensuite de faire des hypothèses différentes de transferts modaux selon les typologies urbaines : par exemple, il est évident qu'un report de la voiture vers la marche ou le vélo est plus aisée dans les centres urbains que dans les zones rurales.

Pour les transports aériens, les données provenant de Lig'Air ne prennent en compte que les phases de roulage, de décollage, d'atterrissage, de montée et de vol au-dessous de 3000 pieds (915 mètres) d'altitude. Il manque donc toutes les consommations d'énergie des avions volant au-dessus de 915 m d'altitude. Nous avons donc utilisé une méthodologie descendante :

- Pour les vols intérieurs, la Direction Générale de l'Aviation Civile (DGAC) fournit le nombre de passagers des principales liaisons radiales (Paris-aéroport de province) et transversales (aéroport de province-aéroport de province). Pour ces liaisons, ces nombres de déplacement sont couplés avec les distances à vol d'oiseau entre les différentes villes de France possédant un aéroport. La moitié des voy.km est affectée à chaque région intervenant dans la liaison
- Pour les vols internationaux, nous avons réparti les voy.km donnés par les comptes de transport au prorata des passagers internationaux des 70 principaux aéroports français.

L'évolution des besoins et des modes de transport utilisés a donc été adaptée aux particularités du territoire régional, mais sur la base des mêmes hypothèses qu'au niveau national en termes de sobriété, d'évolution des parts modales, d'évolution du parc de véhicules et d'amélioration de l'efficacité énergétique.

L'état initial de la mobilité des personnes en région Centre-Val de Loire

Pour l'année de départ de nos scénarios (2012), la mobilité représente en Centre-Val de Loire un total de 30,5 milliards de voyageurs.kilomètres. Ne sont pas comptabilisés les déplacements doux (marche à pied, vélos).

Comme pour toutes les régions de province, le mode routier individuel est largement majoritaire, représentant près de 90 % des voyageurs.kilomètres parcourus (figure ci-contre).

Le second mode de transport, mais loin derrière, est le train (7 %), puis les deux roues. L'avion ne représente qu'une très faible part. Les trams ne sont pas clairement identifiés dans les statistiques, et se trouvent vraisemblablement comptabilisés avec les trains. De même, les bus et cars n'apparaissent pas en tant que tels, et sont agrégés avec les poids lourds.

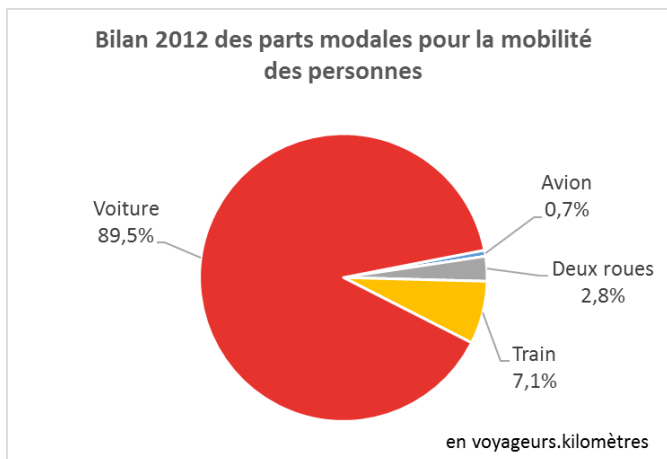


Figure 1-10 : Répartition actuelle des modes de transports pour la mobilité de personnes

Au niveau des consommations, dans un total de 12,7 TWh, on retrouve bien évidemment cette même répartition sur la figure ci-dessous, même si on note un retrait des transports en communs lié à leur meilleure efficacité énergétique (consommations plus faibles pour un même besoin de mobilité).

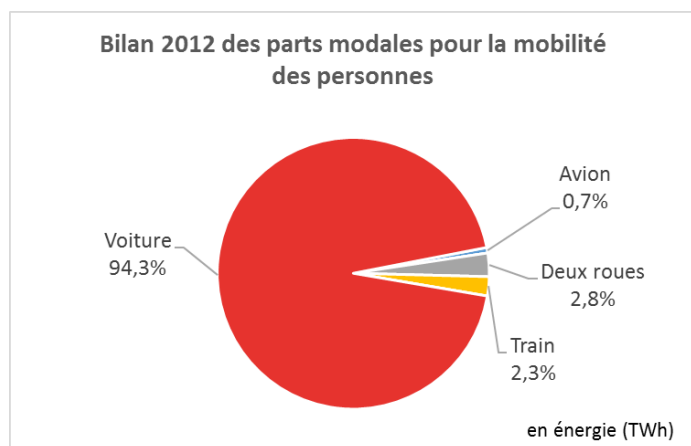


Figure 1-11 : Répartition des consommations énergétiques par mode de transport pour la mobilité de personnes

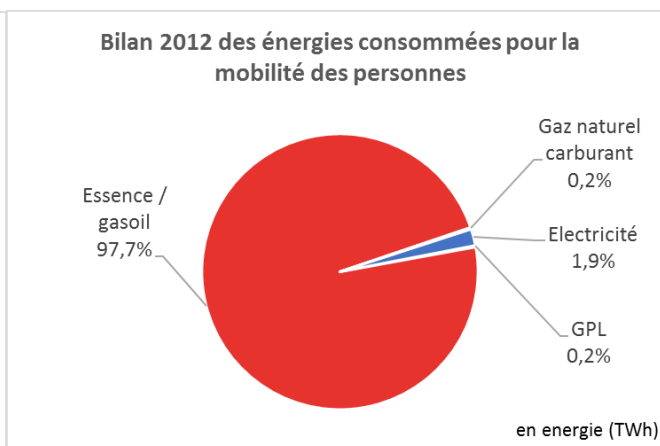


Figure 1-12 : Répartition actuelle des sources d'énergies utilisées pour la mobilité de personnes

La conséquence sur les sources d'énergie utilisées est une large prédominance des carburants pétroliers (couple gazole/essence) qui assurent près de 98 % des besoins énergétiques du secteur.

Les modes de transports utilisés sont donc les moins efficaces, et avec les pires sources d'énergie du point de vue des changements climatiques. La marge de manœuvre pour diminuer les consommations et les émissions est importante sans nécessairement réduire fortement les distances parcourues.

1.3.4.2. Transports de marchandises

Pour la régionalisation de la trajectoire nationale pour les transports de marchandises, le périmètre d'étude choisi est confondu avec celui de la base Lig'Air. L'état initial (année 2012) est obtenu par l'analyse des consommations d'énergie par mode de transport, croisées avec les consommations unitaires des différents modes issues du scénario national.

L'évolution des besoins (quantités transportées), des modes de transport et de l'efficacité énergétique appliquée à cet état initial est la même que dans le scénario national pour de nombreux modes de transport et catégories de marchandises qui sont en transit sur le territoire ou dont l'activité dépend d'une évolution nationale et non régionale.

Le mix énergétique du transport ferroviaire, adapté les premières années, tend vers la moyenne nationale du scénario négaWatt national. L'augmentation de sa part modale est similaire avec le scénario national.

L'état initial du transport de marchandises en Centre-Val de Loire

Pour l'année de départ de nos scénarios (2012), ce secteur représente près de 12 TWh de consommation annuelle pour plus de 18 milliards de tonnes.kilomètres transportées annuellement.

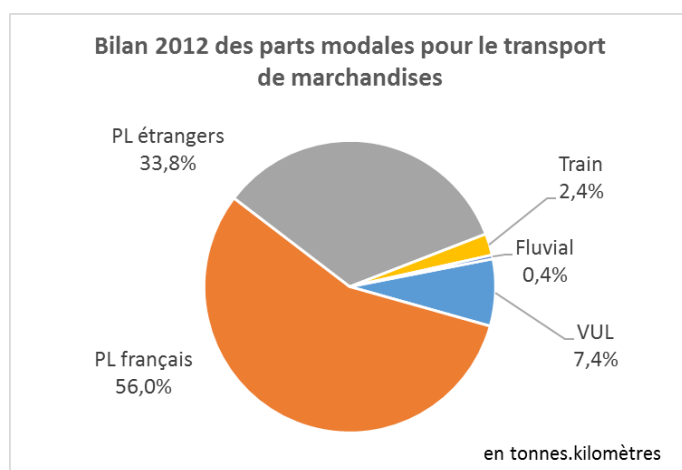


Figure 1-13 : Répartition actuelle des modes de transports pour le transport des marchandises

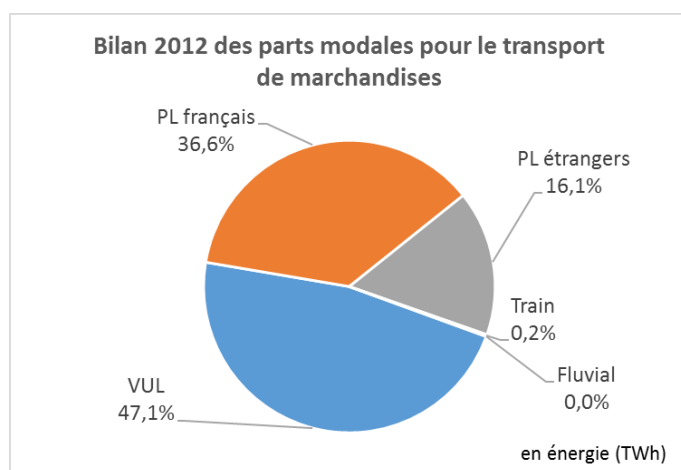


Figure 1-14 : Répartition des consommations énergétiques par mode de transport pour le transport des marchandises

On observe (figure ci-dessus, à droite) que les transports routiers (poids lourds et utilitaires) représentent à eux seuls plus de 99 % de la consommation, le reste étant consommé par le train.

En conséquence, les produits pétroliers (gazole et fioul maritime) sont la source d'énergie quasi-unique des transports de marchandises du territoire.

Les moteurs à combustible fossile sont donc bien évidemment les cibles prioritaires de ce secteur.

1.3.5. Consommation (industrie)

1.3.5.1. Le « point zéro »

La description de l'industrie en vue d'une modélisation énergétique nécessite d'une part les consommations (par type et usage) d'énergie de chaque branche, voire sous-branche, industrielle, mais aussi les quantités de productions (t_{acier} , t_{ciment} , ...).

Ces deux informations permettent de juger du niveau d'efficacité énergétique des branches industrielles (consommations spécifiques, en ktep/t_{produit} par exemple), au moins pour les grandes industries consommatrices d'énergie.

Pour les consommations d'énergie, la reconstitution par branche, type d'énergie et usage est problématique puisque que la principale source d'information (données de l'enquête EACEI de l'INSEE¹¹) possède d'importantes valeurs sous secret statistique, et que les données publiées au niveau régional se sont réduites au cours des dernières années. Ainsi, la reconstitution du point zéro de l'industrie se base sur les données régionales de l'enquête EACEI de 2011 (dernière année où les consommations d'énergie régionales ont été publiées par branches industrielles¹²), complétées par des ratios nationaux de cette même enquête.

Les statistiques de production de l'industrie régionale n'étant pas connues, il est considéré que les performances énergétiques de l'industrie régionale sont similaires aux moyennes nationales. Cette hypothèse semble tout à fait raisonnable étant donné le caractère peu industriel de la région, composé essentiellement de petites et moyennes industries.

Au final, la reconstitution selon les principaux secteurs industriels est présentée dans le Tableau 1-6. L'annexe 1 présente le regroupement des secteurs industriels présentés à partir de la nomenclature NCE détaillée utilisée dans les enquêtes EACEI.

<i>TWh_{PCI}, énergie finale</i>	Combustible	Electricité	Total	
Métaux	0,5	0,4	0,9	8%
Chimie-plastiques	0,6	0,8	1,4	13%
Mat.construction	1,2	0,4	1,7	16%
Agro-alimentaire	1,9	0,7	2,5	24%
Papier-carton	1,0	0,5	1,4	14%
Autres produits	1,5	1,2	2,6	25%
Total	6,7	3,9	10,5	1,0

Tableau 1-6 : Consommation d'énergie dans l'industrie de la région Centre-Val de Loire (2011)

Source : Solagro d'après EACEI

L'industrie régionale est faiblement développée ou du moins concerne des secteurs peu énergivores : la consommation d'énergie de l'industrie régionale est de 10,5 TWh correspondant à 3 % de la consommation nationale (voir Tableau 1-7).

La région présente néanmoins une part importante d'industries agroalimentaires qui représentent près du quart des consommations industrielles d'énergie (2,5 TWh, soit 5 % du total national). Le secteur des matériaux de construction (ciment, verre, céramique, ...) est le deuxième secteur avec 1,7 TWh. Le papier carton est également bien représenté avec 4 % des consommations d'énergie du national, soit un total de 1,4 TWh, autant que le secteur de la chimie et des plastiques (1,4 TWh) qui reste peu développé par rapport à la moyenne nationale (seulement 2 % des consommations).

¹¹ <http://www.insee.fr/fr/methodes/default.asp?page=sources/ope-eng-conso-energie-industrie-eacei.htm>

¹² Il est toujours possible de commander auprès de l'INSEE un traitement régional de l'enquête EACEI de manière à avoir des résultats plus détaillés. La Région des Hauts de France le fait par exemple.

Enfin, le secteur des métaux, très énergivore, est très peu représenté dans la région Centre-Val de Loire avec seulement 0,9 TWh de consommation d'énergie (environ 1 % de la consommation nationale). Le reste des industries (construction mécaniques, électriques, textile, ...) représente le dernier quart des consommations régionales.

En termes de répartition combustible/électricité, l'électricité représente environ 40 % de la consommation totale d'énergie. L'agroalimentaire est le secteur le plus consommateur de combustible avec 1,9 TWh de consommation. Pour l'électricité, les consommations sont plus réparties, le secteur de la chimie reste le secteur le plus consommateur avec 0,8 TWh (hormis le secteur « autres produits » qui représente près de 30 % des consommations, soit 1,2 TWh).

en TWh, énergie finale	National	Région Centre-Val de Loire	Part régionale
Métaux	98	0,9	1%
Chimie-plastiques	111	1,8	2%
Mat.construction	51	1,7	3%
Agro-alimentaire	54	2,5	5%
Papier-carton	33	1,4	4%
Autres produits	38	2,2	6%
Total	384	10,4	3%

Tableau 1-7 : Comparaison de la consommation d'énergie de l'industrie régionale et nationale (2011)

Source : Solagro, d'après EACEI

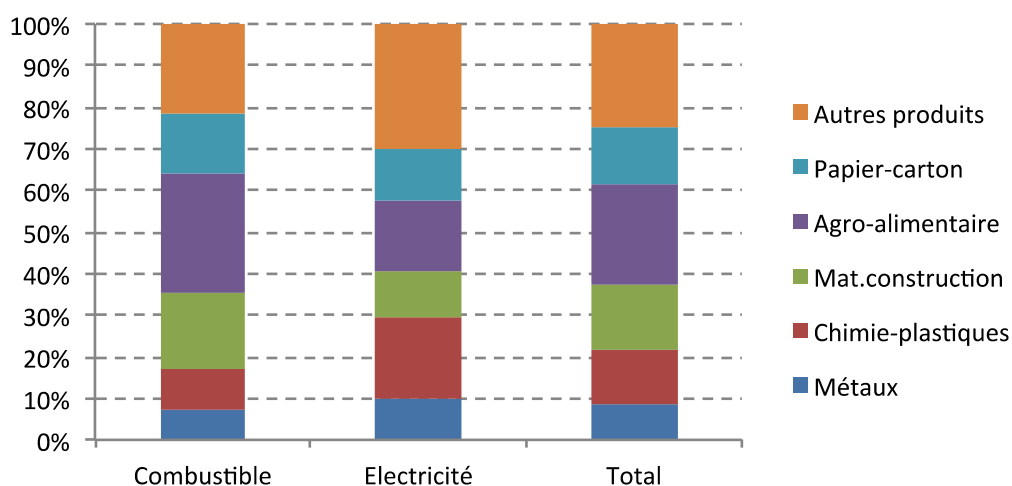


Figure 1-14 : Consommation d'énergie dans l'industrie de la région Centre-Val de Loire

Source : Solagro d'après EACEI

1.3.5.2. Evolution des productions

Pour cette étude régionalisée, il n'a pas été décidé de projeter l'industrie de la région Centre Val de Loire dans une vision de satisfaire uniquement les besoins régionaux. En effet, d'un point de vue industriel, les productions sont plutôt à vocation nationale, voire européenne ou mondiale. Il a donc été retenu que l'évolution de la production des branches industrielles régionales suivait celle au niveau national (voir hypothèse du scénario national).

Résumé des indices de productions retenus

Intégrant l'augmentation de population française, la relocalisation¹³ de l'économie, mais aussi les éléments de sobriété, les évolutions de production des secteurs industriels retenues dans l'étude sont résumées dans le Tableau 1-8.

Les évolutions à la hausse sont en général dues à un fort déficit de la balance commerciale actuelle.

	2010	2020	2030	2040	2050
Sidérurgie	1,0	0,8	0,8	0,8	0,8
Métallurgie non ferreux	1,0	1,2	1,4	1,7	2,1
Minéraux	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Ciment et autres	1,0	0,8	0,8	0,7	0,8
Mat. Construction	1,0	0,8	0,7	0,7	0,7
Verre	1,0	0,8	0,7	0,6	0,4
Engrais	1,0	1,1	1,2	1,3	1,3
Chimie minérale	1,0	1,1	1,1	1,2	1,2
Plastiques	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6
Autre chimie organique	1,0	0,9	0,8	0,8	0,7
Parachimie	1,0	1,0	1,1	1,1	1,1
Travail des métaux	1,0	1,1	1,3	1,5	1,6
Construction mécanique	1,0	1,0	1,1	1,1	1,1
Construction élec.	1,0	1,1	1,2	1,3	1,5
Constr. de véhicules	1,0	1,0	0,9	0,8	0,7
Constr. navale et aéronautique, armement	1,0	1,0	0,9	0,8	0,6
Textile	1,0	1,2	1,5	1,8	2,1
Papier	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1
Caoutchouc	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9
Transformation plastique	1,0	0,8	0,8	0,8	0,8
Divers	1,0	1,1	1,2	1,3	1,3
Agroalimentaire	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Tableau 1-8 : Indice de production des secteurs industriels

Source : Solagro, négaWatt

1.3.5.3. Efficacité sur les productions

Pour les opérations transverses, les gains estimés sont appliqués régionalement aux filières présentes. Le manque de données régionales ne permet cependant pas un traitement spécifique à l'état de l'industrie régionale.

¹³ La relocalisation consiste à comptabiliser dans les consommations intérieures celles liées aux produits importés, comme s'ils étaient produits en France. Cette approche permet d'intégrer dans le bilan énergétique et dans le calcul des émissions de gaz à effet de serre les consommations des produits fabriqués à l'extérieur du territoire.

	Consommation actuelle		Potentiel d'économie			Potentiel d'économie		
			Total			Temps de retour < 3 ans		
	TWh	Part	TWh	Part	% de réduction	TWh	Part	% de réduction
Chaufferies	0,4	7%	0,3	0%	77%	0,2	1%	64%
Réseaux	0,2	4%	0,1	0%	68%	0,1	0%	50%
Chauffage des locaux	1,0	21%	0,5	1%	50%	0,5	1%	46%
Moteurs	1,7	33%	0,6	1%	38%	0,2	1%	11%
Air comprimé	0,4	8%	0,1	0%	35%	0,1	0%	21%
Froid	0,2	4%	0,1	0%	38%	0,0	0%	19%
Ventilation	0,4	9%	0,2	0%	39%	0,1	0%	20%
Pompage	0,5	9%	0,1	0%	29%	0,1	0%	14%
Transformateur	0,1	1%	0,0	0%	71%	0,0	0%	0%
Eclairage	0,2	4%	0,1	0%	64%	0,1	0%	36%
Total	5,0	3%	2,3	3%	45%	1,3	4%	27%

Remarque : pour la catégorie "moteurs", qui correspond aux moteurs non comptabilisés dans les autres catégories, le CEREN n'a pas indiqué de potentiel avec temps de retour <3 ans. 38 % du potentiel total est retenu.

Tableau 1-9 : Estimation du potentiel d'économies d'énergie dans les opérations transverses en 2007 – Industrie de la région Centre-Val de Loire

Source : Solagro, d'après CEREN 2010

Au total, les opérations transverses couvrent près de 50 % des consommations énergétiques du secteur industriel de la région Centre-Val de Loire (mais près de 90 % des consommations d'électricité). Sur ces opérations, le gisement d'économie techniquement réalisable est estimé à 45 %, soit un gain net sur l'ensemble des consommations industrielles de 9 % (30 % sur l'électricité), dont plus de la moitié ayant un temps de retour sur investissement inférieur à 3 ans.

1.3.6. Consommation (agriculture)

Ce poste a fait l'objet d'une analyse poussée au niveau national, l'évolution des consommations étant liée aux évolutions énergétiques analysées dans le scénario négaWatt national, mais également reliée aux analyses des pratiques agricoles d'Afterres2050. La baisse des consommations d'énergie est donc liée à de multiples paramètres, agricoles (simplification des pratiques culturales, ...) et énergétiques (améliorations des moteurs des tracteurs, ...). La région Centre-Val de Loire est une région agricole, dont les consommations d'énergie (environ 6 % de la consommation d'énergie finale régionale avec environ 5 TWh) représentent une part plus importante de la consommation totale du secteur agricole que la proportion de sa population dans le total national.

L'hypothèse pour la régionalisation est que la consommation du secteur évolue de la même façon que la consommation du secteur agricole du scénario négaWatt national.

1.3.7. Production ENR hors biomasse

Pour les secteurs de production d'énergie, les données pour l'année 2012 sont principalement issues des travaux de l'OREGES et des statistiques de RTE. Pour la scénarisation, les hypothèses quantitatives sont basées sur :

- Les études de potentiel réalisées dans le cadre de l'élaboration du SRCAE
- L'étude ADEME "Un mix électrique 100 % renouvelable ?" pour l'énergie éolienne
- Les travaux réalisés dans le cadre du scénario négaWatt national 2017

En 2012, la production régionale d'électricité renouvelable est estimée à 1,8 TWh, dont 85 % sont issus de l'éolien, le reste étant réparti entre l'hydroélectricité et le solaire photovoltaïque. La production de chaleur d'origine renouvelable (solaire thermique et géothermie de surface) est inférieure à 0,5 TWh, soit moins de 1 % des besoins régionaux.

L'exploitation de ces énergies progresse considérablement, et les gisements importants en éolien et solaire vont permettre à la région Centre-Val de Loire de prolonger, voire d'accentuer la tendance.

- Eolien : plusieurs zones de développement éolien ont été définies, dont certaines, comme la Beauce, sont très favorables. Cependant, les contraintes importantes liées au secteur de la défense (zones de circulation aérienne très basse altitude, radars, etc.) sont un frein au développement de la filière.
- Solaire photovoltaïque et thermique : le niveau d'irradiation régional est dans la moyenne nationale et permet une valorisation bien supérieure aux niveaux actuels.

1.3.7.1. Hydroélectricité

En 2012, avec une puissance installée de 92 MW dont 72,7 MW en grande hydraulique (>10MW), la production annuelle s'élève à 118 GWh en 2012, avec une grande variabilité annuelle liée à la pluviométrie et à d'autres paramètres tels que la maintenance des installations. L'optimisation des installations existantes et l'exploitation d'un léger potentiel supplémentaire en petite hydraulique permettra d'accroître légèrement cette production.

Le SRCAE n'a pas identifié de potentiel significatif supplémentaire, notamment à cause des pentes faibles et des étiages longs et marqués. L'ADEME, dans son scénario pour un mix électrique 100 % renouvelable, n'a pas envisagé non plus de progrès significatifs dans ce domaine pour la région.

1.3.7.2. Eolien

Le parc régional représente, en 2012, une puissance supérieure à 700 MW pour une production annuelle de 1560 GWh. En 2016, ce sont désormais près de 1000 MW qui sont installés, des permis sont accordés pour près de 400 MW supplémentaires et plusieurs dossiers représentant un total d'environ 500 MW sont en cours de traitement. Cela représente un total d'environ 1900 MW, alors que l'objectif visé en 2020, dans le cadre du SRCAE, est de 2600 MW. La construction de 275 MW par an à l'horizon 2020 serait nécessaire pour atteindre l'objectif, ce qui représente un doublement du rythme actuel.

Notre scénarisation est basée sur les récents travaux de l'ADEME, croisés avec le Schéma Régional Eolien (2012). L'ADEME a estimé possible l'installation de fermes éoliennes dans un grand nombre de territoires aux types de surface variés. Pour la région, ils ont notamment inclus l'ensemble des territoires agricoles, à l'exception des zones recouvertes de roches nues, l'ensemble des territoires forestiers et les zones humides. Ils ont par ailleurs ajouté une zone d'exclusion de 500m de large autour de chacun des territoires déjà exclus entrant dans la catégorie "territoires urbains ou artificialisés", afin de suivre la législation en vigueur. Enfin, les zones suivantes ont également été exclues :

- Altitude supérieure à 1000 m (base de données altimétriques IGN, résolution 25 m (Institut de l'Information Géographique et Forestière))
- dont le gradient d'altitude est supérieur à 15 %.
- classées Natura 2000 (directives habitats & oiseaux), faisant l'objet d'arrêtés préfectoraux de protection de biotope, les parcs naturels régionaux, les réserves naturelles régionales et nationales (données fournies par les D.R.E.A.L par exemple).

- de couloirs aériens militaires et celles situées dans un rayon allant de 10 à 30 km des radars militaires et météorologiques (données fournies par Altech, filiale du groupe Unit, et MétéoFrance).

Au-delà de ces contraintes d'exclusion, ont été rajoutés des ratios d'acceptabilité et de disponibilité, pour tenir compte notamment des surfaces déjà occupées par des installations, mais aussi de l'opposition des populations aux projets. L'exercice de projection qui a été réalisé s'appuie sur les trajectoires existantes et conduisent les auteurs de l'étude à diviser le potentiel initial (33 TWh) par 2,8.

Selon les chiffres de l'ADEME, dans un scénario d'acceptabilité sociale modérée, la puissance éolienne installée pourrait atteindre 5 169 MW en 2050, répartie sur une superficie d'environ 620 km² (1,6 % du territoire régional). Ce parc éolien terrestre apporterait une production annuelle estimée à 12,3 TWh, soit 17 % de plus que l'objectif du SRCAE (10,5 TWh). C'est l'hypothèse que nous avons retenue dans le cadre de cette étude.

1.3.7.3. Photovoltaïque

En 2012, le parc installé en région Centre-Val de Loire est de 135 MW pour une production annuelle de 126 GWh. La croissance de cette filière a d'abord été très forte, puisque la production a été multipliée par 10 entre 2010 et 2012 puis, malgré un ralentissement, elle a doublé entre 2012 et 2015 pour atteindre 234 GWh.

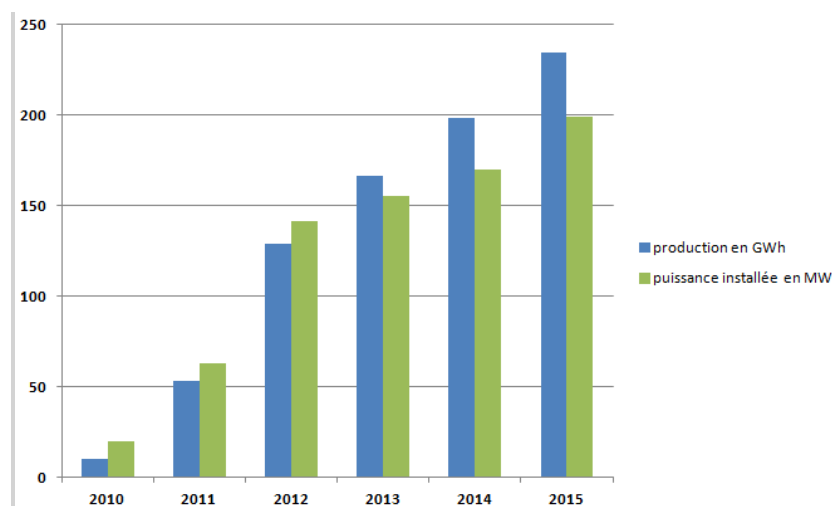


Figure 1-15 : Filière solaire photovoltaïque en région Centre-Val de Loire - Données RTE

Pour le solaire photovoltaïque, en 2015, un peu moins de la moitié de la puissance installée est constituée de centrales au sol. Le reste se partage entre les installations diffuses sur les toitures des maisons individuelles ou des immeubles (37 %) et les grandes toitures à plat (bâtiments industriels, commerciaux, etc.)

En 2050, nous envisageons une augmentation très importante de la puissance totale installée, avec une modification sensible de la répartition :

- Les centrales au sol ne représentent plus que 14 % de la surface totale. En effet, même si ce type d'installation présente un coût d'installation au kWc plus faible que les autres catégories, et que la productivité est meilleure, parce que l'orientation et l'inclinaison des panneaux peuvent être optimisés, il faut éviter la concurrence en termes d'usages des sols.

Elles doivent donc être installées préférentiellement dans des zones où le terrain n'a pas grande valeur, telles que des friches industrielles par exemple.

- Le secteur diffus représente à peu près la même proportion en 2050 qu'en 2015, avec cependant une différenciation en termes d'orientation des panneaux : au fur et à mesure des années, comme tous les experts prévoient que le prix des matériels va continuer à descendre, il deviendra envisageable de s'affranchir des orientations optimales pour aller vers des orientations Est ou Ouest, qui permettent de déformer la courbe de production journalière en diminuant le pic de milieu de journée. Cette modification est favorable pour une meilleure intégration de forts taux d'énergie renouvelables dans le mix électrique
- Les installations sur les grandes toitures se développent de manière plus soutenue. Ainsi, elles représentent environ 45 % de la puissance totale en 2050, avec là-aussi l'apparition de surfaces orientées vers l'Est ou l'Ouest.

Les hypothèses décrites ci-dessus conduisent à une multiplication par 2,5 des puissances installées en 2020 par rapport à 2015, produisant 700 GWh. En 2050, la production annuelle atteint 5 745 GWh.

1.3.7.4. Solaire Thermique

Nous décrivons ci-après les hypothèses et la méthodologie retenue dans le scénario négaWatt national, qui sont appliquées de manière similaire pour le scénario 100 % ENR régional.

Pour estimer la contribution potentielle du solaire thermique, les quatre types de production suivants sont pris en compte :

- CESI : **Chauffe-Eau Solaire Individuel** dans l'habitat
- SSC : **Système Solaire Combiné** (en maison individuelle) dans l'habitat
- CESC : **Chauffe-Eau Solaire Collectif** dans l'habitat et dans le tertiaire
- CIND : production de **Chaleur basse ou moyenne température** pour l'**IND**ustrie

Les systèmes solaires combinés en logement collectif ne sont pas pris en compte, car leur potentiel de développement est considéré comme marginal, ou pour le moins lié à beaucoup d'inconnues. Si, comme cela commence à être le cas dans les pays germaniques, les réalisations de SSC en collectif se diffusent, les économies engendrées par ce développement se rajouteront au potentiel estimé ci-dessous.

On voit également apparaître quelques projets de centrales solaires thermiques au sol, raccordées à un réseau de chaleur. Là-aussi, le potentiel de développement est considéré comme faible et n'est donc pas été intégré dans la prospective présentée ici.

Le potentiel est estimé de la manière suivante :

- Calcul des surfaces de toitures disponibles pour les logements individuels et les logements collectifs : on part des surfaces habitables des maisons individuelles et des logements (projection 2050, compte tenu des hypothèses décrites dans la partie Bâtiments), sur lesquelles on applique successivement :
 - Un facteur d'étage pour tenir compte du fait que le ratio surface de toiture sur surface habitable est d'autant plus faible que le nombre d'étages est élevé. On retient une valeur de 0,67 pour les maisons individuelles et de 0,38 pour les immeubles collectifs.

Cette dernière valeur est calculée en tenant compte de la distribution des logements collectifs en fonction du nombre d'étages (données INSEE).

- Un coefficient de toiture de 40 % pour tenir compte à la fois des parties de toiture mal orientées et de celles rendues indisponibles par différents équipements (cheminées, fenêtres de toit, cages d'ascenseur, matériel de ventilation, etc.).

Ce calcul permet de vérifier que les hypothèses de taux d'équipement et de surfaces unitaires formulées ci-dessous conduisent à des taux d'occupation des toitures disponibles acceptables. On arrive ainsi en 2050 à moins de 3 % (respectivement 5 % et 1,5 %) des surfaces disponibles utilisées en maison individuelle (respectivement logement collectif et tertiaire).

- Estimation des surfaces unitaires par équipement :
 - Pour les CESI : baisse progressive de **4,5 m²** (2010) à **2 m²** (2050) par maison équipée
 - Pour les SSC : **10 m²** par maison équipée
 - Pour les CESC en collectif : **1,5 m²** par logement
- Estimation d'un taux d'équipement par cible en 2050 :
 - Pour les CESI : on considère que les maisons équipées de chauffe-eau thermodynamiques ne seront pas équipées avec des CESI. Parmi celles sans chauffe-eau thermodynamiques, **64 %** auront un CESI en 2050.
 - Pour les SSC : la cible est la maison existante après rénovation thermique de l'enveloppe, en retenant uniquement celles non équipées de pompes à chaleur. On prévoit ainsi un taux d'équipement de **4,2 %** des maisons rénovées thermiquement sans PAC. Dans les maisons neuves, au niveau passif, les besoins de chauffage sont suffisamment faibles pour ne plus justifier un système de chauffage hydraulique et *a fortiori* un SSC.
 - Pour les CESC en collectif : là-aussi, la concurrence avec les chauffe-eau thermodynamiques est exclue : parmi les logements sans chauffe-eau thermodynamiques, **55 %** auront un CESC en 2050.
- Pour les CESC en tertiaire, on considère que **2,7 %** des surfaces de toitures disponibles sont équipées
- Pour l'industrie, les cibles potentielles sont les besoins de chaleur basse température et moyenne température.
- A partir de plusieurs simulations calées sur les besoins de chauffage et/ou d'ECS en 2050 conformes aux objectifs de sobriété explicités dans les paragraphes précédents, estimation des productivités en kWh utiles par cible (correspondant à une réduction des besoins). Pour calculer les économies correspondantes en énergie finale, les rendements des systèmes d'appoint sont ensuite appliqués :
 - Pour les CESI : **280 kWh/m²** de capteur solaire
 - Pour les SSC : **280 kWh/m²** de capteur solaire
 - Pour les CESC en logement : **300 kWh/m²** de capteur solaire
 - Pour les CESC en tertiaire : **300 kWh/m²** de capteur solaire
- Pour l'industrie, les apports solaires sont calculés directement à partir des productivités en énergie finale. Les estimations sont obtenues par extrapolation d'une étude réalisée en Autriche¹⁴.

¹⁴ AEE Intec : PROMISE : Produzieren mit Sonnenenergie, Endbericht, 2003, 185 p.

L'extrapolation est faite au prorata des populations, en gardant les productivités issues de l'étude autrichienne, ce qui constitue certainement une hypothèse conservatrice, compte tenu de la différence de climat entre les deux pays. Les valeurs suivantes sont retenues :

- Pour les usages basse température dans l'industrie : **600 kWh/m²** de capteur solaire
- Pour les usages moyenne température dans l'industrie : **500 kWh/m²** de capteur solaire

Finalement en 2050 et pour la France, on obtient les résultats suivants :

- Surface de capteurs solaires thermiques installés : 40 millions de m², soit environ 0,6 m²/habitant
- Contribution en énergie finale : 19 TWh (soit 2 % de l'énergie finale totale) :
 - Environ 46 % de l'ECS pour les maisons individuelles sans PAC et 55 % pour les logements collectifs sans PAC
 - 1 % du chauffage des maisons individuelles
 - 20 % de l'ECS du tertiaire hors PAC
 - 8 % des besoins thermiques de l'industrie

La méthodologie de régionalisation suivie est en tout point identique à celle développée pour le scénario négaWatt national, explicitée ci-dessus, avec prise en compte des besoins régionaux en chauffage pour les maisons individuelles, en eau chaude sanitaire pour les maisons individuelles, les logements collectifs, le tertiaire et les besoins de chaleur basse et moyenne températures de l'industrie. Nous verrons au paragraphe 2.2.1.4 que les surfaces occupées par les panneaux solaires thermiques ne représentent en 2050 qu'une très faible fraction des surfaces disponibles, et n'entrent pas en concurrence avec le photovoltaïque.

Le rythme de développement régional est supposé similaire au rythme national de développement du solaire thermique.

1.3.7.5. Géothermie

Sous le vocable « géothermie » sont souvent regroupées différentes formes de chaleur prélevée dans le sol, ce qui nous conduit à bien préciser les définitions¹⁵ :

- *Pour les sites à moyenne et haute énergie (au-delà de 90 °C), différentes applications sont envisageables : utilisation de la chaleur pour des procédés industriels (séchage notamment), cogénération (production simultanée de chaleur et d'électricité) et production d'électricité. Cette dernière peut se faire soit directement comme à Bouillante en Guadeloupe, soit via une technique de stimulation du sous-sol comme à Soultz-sous-Forêts en Alsace*
- *Sur les sites dits à basse énergie (entre 30 °C et 90 °C, en général dans des bassins sédimentaires situés entre 1 500 et 2 500 mètres de profondeur), on exploite directement la chaleur des nappes d'eau chaude du sous-sol profond pour chauffer des habitations, en général des logements collectifs via des réseaux de chaleur : on parle d'usage direct de la chaleur*

¹⁵ Géothermie – Feuille de route stratégique, ADEME, septembre 2011

- *La géothermie très basse énergie (inférieure à 30 °C), accessible à peu près partout, nécessite de faire appel à des pompes à chaleur qui permettent également de climatiser les bâtiments en été. Cette chaleur peut aussi servir à produire de l'eau chaude sanitaire.*

Dans la présente étude, seules les deux premières catégories sont regroupées sous le terme « géothermie », alors que la troisième est incluse dans une forme d'énergie primaire appelée « chaleur prélevée sur l'environnement ». Cette dernière regroupe donc la chaleur du sol utilisée comme source froide de pompes à chaleur, et prélevée par des sondes géothermiques verticales, des nappes échangeuses de chaleur enterrées horizontalement à faible profondeur, voire des échangeurs récupérant l'énergie de nappes d'eau souterraines. Mais elle inclut aussi la chaleur de l'air prélevée par des pompes à chaleur dites « aérothermiques », ainsi qu'éventuellement la récupération de chaleur sur les eaux usées ou d'autres formes de chaleurs fatales.

Plus propres que les énergies fossiles si elles sont alimentées en électricité d'origine renouvelable et plus performantes que le chauffage électrique classique, l'impact des pompes à chaleur sur le réseau électrique (fort appel de puissance au démarrage du compresseur) peut cependant poser problème en cas de fort développement. Il faut donc privilégier les systèmes où le COP (coefficient de performance, qui quantifie l'efficacité de l'appareil) est élevé, ce qui favorise donc les PAC géothermiques au détriment des PAC aérothermiques.

Dans le scénario présenté, on envisage un fort développement des PAC, mais seulement sur des bâtiments peu consommateurs : soit des bâtiments neufs conformes aux exigences des réglementations thermiques actuelles, soit des bâtiments rénovés avec un niveau de qualité élevé.

1.3.8. Biomasse-énergie

L'ensemble des données et scénarisations utilisées pour la biomasse, dans le cadre de cette étude, est issue des travaux réalisés à l'occasion de la régionalisation du scénario Afterres2050 en région Centre-Val de Loire.

La biomasse solide

La biomasse solide est la principale énergie renouvelable utilisée actuellement en région Centre-Val de Loire. Sont considérées ici comme biomasse solide, les matières d'origine végétale, à l'état naturel ou issues d'une première transformation tels que les coproduits de la transformation du bois ou les résidus forestiers. Selon les chiffres Afterres2050, la production de biomasse solide représente en 2012 environ 7,8 TWh, dont les deux tiers sont utilisés pour le chauffage résidentiel, 1,6 TWh est exporté hors région et 1 TWh est valorisé en chaleur industrielle. La faible part restante est valorisée en cogénération, autoconsommée ou consommée par le tertiaire et l'agriculture.

Le bois-énergie issu de la forêt représente près de la moitié de la biomasse solide. Il est difficile d'obtenir des statistiques précises sur cette filière, car selon l'ADEME¹⁶, seulement 18 % du bois-énergie passerait par les circuits professionnels. C'est donc sur la base d'enquêtes auprès des consommateurs, qu'il est possible d'approcher les valeurs réelles.

Le deuxième constituant majeur de la biomasse solide produite régionalement, ce sont les déchets de bois qui en représentent environ un tiers. Cette catégorie inclut les déchets verts, les déchets de seconde transformation (ameublement, menuiserie industrielle, etc.), les bois issus des chantiers de construction, les déchets de papeterie, les bois de rebut et tous les déchets dérivés du bois dont les papiers et cartons non recyclés.

¹⁶ [Le chauffage domestique au bois en région centre, Ademe-BVA, octobre 2014](#)

La fraction restante (20 %) est constituée des produits connexes de scierie et du menu bois issu de l'agroforesterie.

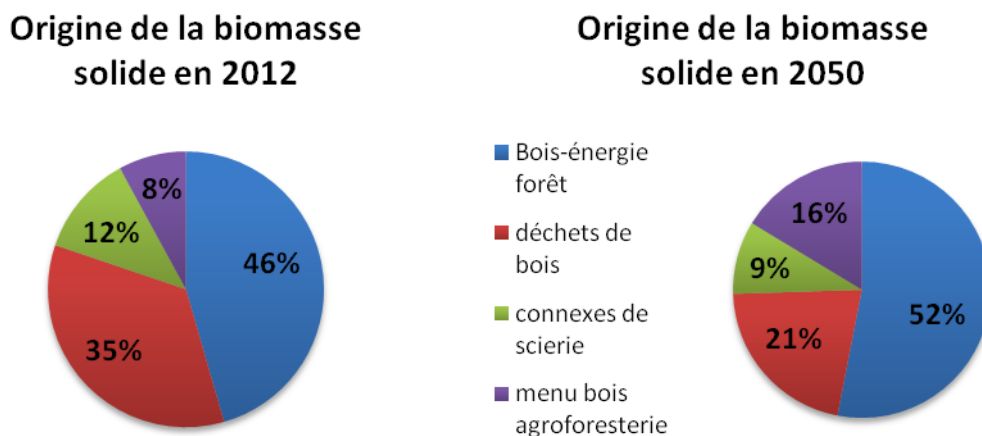


Figure 1-16 : Origine de la biomasse solide

Le bois-énergie représente un fort potentiel de développement en région Centre-Val de Loire. En plus de la capacité excédentaire non valorisée actuellement, il y a des marges de progression dans l'évolution des débouchés. L'enjeu principal consiste à augmenter significativement les prélèvements forestiers tout en augmentant la valeur écologique et en optimisant les services rendus par la forêt.

La nature des propriétés des forêts en région Centre-Val de Loire constituera probablement l'un des plus gros défis à relever pour mobiliser la biomasse. Environ 90 % de la forêt dans la région Centre-Val de Loire est privée et les forêts publiques représentent seulement 10 % des surfaces. Ces dernières sont toutes dotées d'un document de planification forestière et l'actuelle récolte est optimisée dans le cadre de ces documents de gestion durable.

L'augmentation de la récolte forestière nécessitera donc le développement de la récolte dans les très nombreuses forêts privées de petite et moyenne superficie qui se situent essentiellement en Sologne forestière à cheval sur trois départements (18, 41, 45). Ces petites et moyennes forêts représentent 54 % de la superficie forestière privée régionale.

En supplément d'une meilleure gestion des forêts, l'agroforesterie constitue un fort potentiel de développement du bois-énergie, avec différents niveaux de production selon les choix des agriculteurs. L'agroforesterie consiste à créer des rangées d'arbres, directement dans les champs cultivés. Cette combinaison avec l'agriculture de plein champ offre de multiples avantages.

La production de biomasse solide à l'horizon 2050 pourrait plus que doubler et atteindre 16,4 TWh. Le bois-énergie issu de la forêt pourrait augmenter de 140 % et cette évolution serait atteinte notamment grâce à :

- l'augmentation de la surface forestière régionale de 50 000 hectares (+4,5 %)
- l'exploitation de la ressource forestière à hauteur de 70 % de l'accroissement, valeur limite pour ne pas impacter la biodiversité (contre 42 % actuellement)
- l'exploitation du bois hors forêts (haies et agroforesterie sur 150 000 ha)

Le changement des pratiques agricoles permettrait de tripler la production de menu bois issu des haies et de l'agroforesterie. Enfin, l'utilisation accrue du bois dans l'industrie pourrait augmenter d'environ 80 % la quantité de produits connexes de scierie destinés à une valorisation énergétique.

Soulignons le fait que l'augmentation de la production de biomasse solide ne se fait pas aux dépens du bois d'œuvre ou du bois d'industrie. Sur la même période, la quantité de bois destiné à ces deux usages pourrait également doubler.

La biomasse liquide

Les agrocarburants sont répartis en deux filières distinctes : essence et diesel. Selon l'OREGES, le taux moyen d'incorporation d'agrocarburants est de 6,2 % de biodiesel dans le gazole et 7,6 % de bioéthanol dans l'essence, ce qui permet d'évaluer la consommation totale de biomasse liquide en région Centre-Val de Loire à 113 ktep.

Pour la filière essence, la région Centre-Val de Loire produit du bioéthanol à partir de la betterave sucrière, dans les deux usines de Toury et d'Artenay. Le bioéthanol est ensuite intégré dans l'essence qui est distribuée à la pompe. Cependant, la part de l'éthanol qui sort des sites régionaux et qui est destinée à un usage carburant n'est pas une donnée publique. D'après nos estimations, la production régionale pourrait être comprise entre 30 et 50 ktep par an, avec un potentiel maximal de 75 ktep, ce qui représente 1,5 à 3,5 % de la consommation régionale actuelle de carburants à l'usage de mobilité.



Figure 1-17 : sucres de Toury et d'Artenay

Sources : agrodynamic28.com et Panos Panagiotis

Pour la filière diesel, il n'y a pas de site de transformation en région Centre-Val de Loire permettant de produire du biodiesel à partir de plantes oléagineuses telles que le colza ou le tournesol. Ces productions agricoles sont exportées à l'extérieur de la région pour être transformées en ester méthylique d'huile végétale (EMHV), puis incorporées au diesel distribué à la pompe. Par ailleurs, il existe une filière marginale d'utilisation directe d'huile végétale carburant, consommée par certains agriculteurs pour leurs engins agricoles.

Dans le cadre de ce scénario, pour la partie production régionale, seront comptabilisées uniquement les productions agricoles destinées à être transformées en agrocarburants, sans tenir compte de la transformation elle-même et des industries qui la réalisent. La production primaire correspond donc à la valeur énergétique des matières agricoles, avant transformation.

En 2012, la production primaire agricole représente 4,6 TWh. Cette estimation est basée sur un calcul de production, réalisé par Solagro, fonction des surfaces cultivées en céréales et oléo-protéagineux (COP).

A l'horizon 2050, le scénario envisage une baisse progressive de cette production en raison des mauvais rendements énergétiques de la filière. Celle-ci devrait atteindre 1,6 TWh en 2050, soit une division par trois.

Le biométhane

Le gaz offre des avantages précieux dans le cadre de la transition énergétique. En tant que ressource énergétique, il est aujourd'hui majoritairement issu des réserves fossiles, mais en 2050, il sera produit à partir de la gazéification du bois, de la méthanisation des déchets organiques, ou encore de l'électricité grâce au procédé de méthanation. Pour le stockage et le transport d'énergie, le réseau régional de gaz est déjà en place, bien réparti sur le territoire, et la région dispose d'une capacité de stockage d'environ 9 milliards de mètres cubes, soit cinq fois la consommation annuelle régionale actuelle.

Enfin, le gaz est très intéressant pour la diversité de ses usages. Il est utilisé comme carburant (GNV), comme énergie pour la cuisson des aliments, comme combustible pour le chauffage ou dans des centrales thermiques à cogénération (électricité + chaleur).

Le gaz renouvelable peut être issu de trois filières distinctes. La première est la méthanisation de matières organiques, technologie mature et déjà exploitée commercialement. Le biogaz est formé lors d'une digestion anaérobie de déchets organiques ménagers, de l'agriculture ou de l'industrie.

Il existe actuellement une vingtaine de méthaniseurs en région Centre-Val de Loire, dont 11 fonctionnent à partir de matières agricoles et 9 sont des installations de valorisation du biogaz issu des ISDND (Installations de Stockage des Déchets Non Dangereux).

Les installations agricoles ont une puissance moyenne de 150 kW, contre 1 MW pour celles situées dans les décharges (entre 30 kW et 3 MW).

En 2012, le biogaz issu des installations régionales a permis de produire 47 GWh d'électricité et 15 GWh de chaleur dans des unités de cogénération.

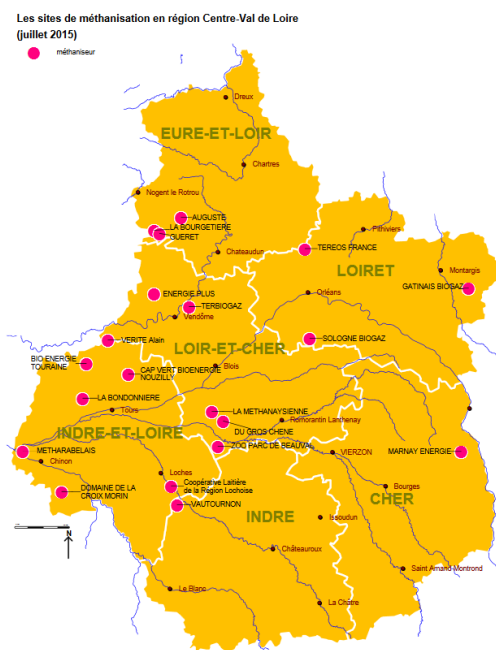


Figure 1-18 : les sites de méthanisation en région Centre-Val de Loire

Source : DREAL

A l'horizon 2050, la méthanisation deviendra la norme dans le monde agricole. En effet, selon les orientations du scénario Afterres2050, l'introduction de cultures intermédiaires à vocation énergétique (CIVE) dans des digesteurs agricoles permettra d'associer la fonction "engrais vert" à la fonction énergie : le digestat qui résulte de la méthanisation sera une source d'azote stockable et directement disponible pour les exploitations agricoles. Par ailleurs, le biogaz pourra être brûlé dans des moteurs à gaz en cogénération, ou épuré puis injecté dans le réseau.

Ainsi, la production primaire de biogaz en 2050 pourra représenter 10,9 TWh.

La seconde filière consiste en une gazéification des matières ligneuses (notamment le bois) qui permet d'obtenir un gaz "pauvre". Celui-ci, après une opération de lavage et d'épuration, suit un processus de méthanation permettant d'obtenir majoritairement du méthane.

La troisième filière permet de stocker l'électricité renouvelable lorsqu'elle ne peut pas être consommée au moment de sa production. Le surplus permet de faire une électrolyse de l'eau afin d'obtenir de l'hydrogène. Celui-ci est ensuite combiné à du CO₂ dans un processus de méthanation pour obtenir du méthane. Ces trois filières devront être développées en région Centre Val-de-Loire.

1.3.9. Production fossile

La région exporte un peu de pétrole brut à hauteur de 0,5 TWh par an, vers la raffinerie de Grand Puits en Seine-et-Marne. Ce pétrole est extrait dans le Loiret, dans des réservoirs situés à faible profondeur. La production, commencée en 1958, a compté 318 puits jusque dans les années 1990. En 2012, le rachat par la société canadienne Vermilion Energy de deux concessions pétrolières de l'américain ZaZa Energy (Château-Renard et Saint-Firmin-des-Bois) représentant une centaine de puits, a conduit à relancer l'activité.

Dans les bilans présentés, cette production est supposée se maintenir stable jusqu'en 2050. Sur les diagrammes de Sankey, même si le pétrole est exporté en totalité de la région pour être raffiné, il est comptabilisé comme une production locale dans le bilan en produits pétroliers.

1.3.10. Nucléaire : focus sur la situation régionale actuelle¹⁷

1.3.10.1. Contribution du nucléaire au bilan énergétique de la région

Avec 12 réacteurs (11,6 GWe), la région Centre-Val de Loire possède le deuxième parc nucléaire de France, derrière la région Auvergne-Rhône-Alpes. En 2015, elle a produit 80 TWh d'électricité d'origine nucléaire, soit 19 % de la production nucléaire et 14,6 % de la production totale nette d'électricité en France. Sur les dix dernières années, la production nucléaire en région Centre-Val de Loire a varié entre 69 TWh et 82 TWh, avec une moyenne de 77 TWh¹⁸.

¹⁷ Contribution de WISE-Paris

¹⁸ AIEI, PRIS le 02/11/2016

Cette importante production a permis de couvrir 458 % de la consommation finale d'électricité de la région en 2015 (consommation finale de 17,4 TWh et de 17,3 TWh après correction climatique¹⁹).

Cette surproduction conduit la région à approvisionner les régions voisines en électricité. Le solde exportateur de la région s'élève à 59 TWh en 2015, principalement à destination de l'Ile-de-France et des Pays-de-la-Loire.

Le nucléaire représente 89 % de la capacité de production installée dans la région, et est à l'origine de plus de 96 % de l'électricité produite dans la région. Aucune autre région française n'atteint un tel taux.

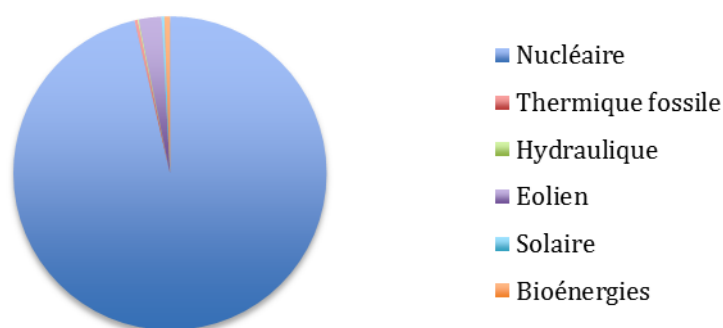


Figure 1-19 : Production électrique en 2015 en région Centre-Val de Loire

1.3.10.2. Installations nucléaires

La région Centre-Val de Loire possède 14 installations nucléaires de base (INB), toutes exploitées par EDF, réparties sur 4 sites. La moitié contient des réacteurs électronucléaires.

Saint-Laurent-des-Eaux	Réacteurs A1 et A2	INB n°46
Saint-Laurent-des-Eaux	Entreposage de chemises de graphite irradié	INB n°74
Saint-Laurent-des-Eaux	Réacteurs B1 et B2	INB n°100
Dampierre-en-Burly	Réacteurs 1 et 2	INB n°84
Dampierre-en-Burly	Réacteurs 3 et 4	INB n°85
Chinon	Atelier des matériaux irradiés	INB n°94
Chinon	Magasin interrégional de Chinon	INB n°99
Chinon	Réacteurs B1 et B2	INB n°107
Chinon	Réacteurs B3 et B4	INB n°132
Chinon	A1D	INB n°133
Chinon	A2D	INB n°153
Chinon	A3D	INB n°161
Belleville-sur-Loire	Réacteur 1	INB n°127
Belleville-sur-Loire	Réacteur 2	INB n°128

Tableau 1-10 : Liste des INB en région Centre-Val de Loire

¹⁹ RTE, Bilan électrique Centre-Val de Loire, 2016 http://www.rte-france.com/sites/default/files/20160429_bilan_electrique_centre-val-de-loire.pdf

1.3.10.2.1. Saint-Laurent-des-Eaux

Le site de Saint-Laurent-des-Eaux, situé dans le Loir-et-Cher, est constitué de trois INB.

L'INB n°46 comporte deux réacteurs de type UNGG, arrêtés définitivement depuis 1990 et 1992. Ils sont en cours de démantèlement.

L'INB n°74 est une installation constituée de deux silos en béton servant à l'entreposage des chemises de graphite irradié, issues des réacteurs de l'INB n°46. Chaque silo peut entreposer jusqu'à 180 000 chemises de graphite. L'installation est exploitée depuis 1971, et depuis 1984 par EDF.

L'INB n°100 comporte deux réacteurs à eau pressurisée de 900 MW chacun. Leur exploitation commerciale a commencé en 1983. Ces réacteurs ont produit en moyenne 15 % de l'électricité d'origine nucléaire de la région ces dix dernières années. Ils utilisent du combustible MOX²⁰.

1.3.10.2.2. Dampierre-en-Burly

Le site de Dampierre-en-Burly, situé dans le Loiret, est constitué de deux INB. Chacune comporte deux réacteurs à eau pressurisée de 900 MW chacun. Mis en service entre 1980 et 1981, ils ont produit ces dix dernières années en moyenne 31 % de l'électricité d'origine nucléaire de la région. Ils utilisent du combustible MOX.

1.3.10.2.3. Chinon

Le site de Chinon, situé dans l'Indre-et-Loire, est constitué de sept INB.

L'INB n°94 a été mise en service en 1964. Elle comporte des laboratoires qui réalisent des examens et des expertises de matériaux activés ou contaminés ou de fluides issus des réacteurs. Elle comporte également un entreposage de déchets anciens dont l'évacuation a débuté il y a quelques années. EDF a demandé l'autorisation de mise à l'arrêt définitif et de démantèlement de l'installation. Le décret d'autorisation devait être publié en 2016.

Le Magasin interrégional de Chinon, INB n°99, sert à l'entreposage des assemblages de combustible neufs avant leur utilisation dans les réacteurs d'EDF. Il a été mis en service en 1978.

Les INB n°107 et n°132 sont composées des quatre réacteurs à eau pressurisée d'EDF en fonctionnement. Il s'agit de réacteurs de 900 MW, mis en service commercialement entre 1984 et 1988. Le site a produit en moyenne 30 % de l'électricité d'origine nucléaire produite dans la région ces dix dernières années. Ces réacteurs utilisent du combustible MOX.

Enfin, les INB n°133, n°153 et n°161 comportent chacune un réacteur UNGG, aujourd'hui en cours de démantèlement. Le démantèlement du dernier réacteur était prévu pour 2027, mais cette date a été récemment décalée de « plusieurs décennies » dans la nouvelle stratégie proposée en juin 2016 par EDF à l'Autorité de Sureté Nucléaire, sur laquelle cette dernière ne s'est pas encore prononcée.

²⁰ Mélange d'Oxydes: combustible nucléaire constitué de 8,5 % de plutonium et 91,5 % d'uranium appauvri. Ce produit est issu de la filière de traitement des combustibles usés.

1.3.10.2.4. Belleville-sur-Loire

Le site de Belleville, situé dans le Cher, à la limite du Loiret et de la Nièvre, est constitué de deux INB. Chacune comporte deux réacteurs à eau pressurisée de 1300 MW chacun, mis en service commercialement en 1988 et 1989. Ces réacteurs ont produit en moyenne 23 % de l'électricité d'origine nucléaire de la région ces dix dernières années

1.3.10.2.5. Centrales nucléaires hors de la région

Les centrales nucléaires les plus proches de la région Centre-Val de Loire sont celles de Civaux et de Nogent-sur-Seine. La centrale de Civaux se situe sur la Vienne à 26 km des frontières de la région Centre-Val de Loire. Celle de Nogent-sur-Seine se situe à 56 km des frontières de la région.

1.3.10.2.6. Autres installations nucléaires hors de la région

Les installations nucléaires de la région sont dépendantes, pour leur fonctionnement, d'autres installations nucléaires situées dans d'autres régions de France. Parmi les principales installations, on peut citer les usines de l'amont de la chaîne du combustible, et notamment les usines de fabrication du combustible de Romans-sur-Isère pour l'UO2 et de MELOX pour le MOX. En aval, l'usine de La Hague sert à l'entreposage du combustible usé, et divers centres de stockage accueillent les déchets d'exploitation des réacteurs.

1.3.10.3. Impacts environnementaux et risques

1.3.10.3.1. Rejets des installations nucléaires

Les installations nucléaires rejettent, en fonctionnement normal, des effluents liquides et gazeux, radioactifs ou chimiques. Seuls les rejets radioactifs sont considérés ici. Parmi les INB de la région Centre-Val de Loire, les rejets des centrales nucléaires en fonctionnement sont prépondérants devant ceux des autres installations. Chaque INB bénéficie d'autorisation de rejets.

Rejets radioactifs liquides en 2015					
		Chinon	Belleville	Dampierre	Saint-Laurent
Tritium	Limite annuelle réglementaire	80	60	100	45
	Activité rejetée	51,6	58,9	55,734	22,715
TBq	% de la limite réglementaire	64,5 %	98,20 %	55,70 %	50,50 %
Carbone 14	Limite annuelle réglementaire	600	190	260	130
	Activité rejetée	32,6	6,31	35,6	19,1
GBq	% de la limite réglementaire	5,43 %	3,32 %	13,70 %	14,70 %
Iodes	Limite annuelle réglementaire	0,6	0,1	0,6	0,2
	Activité rejetée	0,0108	0,0139	0,0155	0,0061
GBq	% de la limite réglementaire	1,8 %	13,90 %	2,60 %	3,10 %
Autres PF PA	Limite annuelle réglementaire	60	10	260	20
	Activité rejetée	0,73	0,369	35,6	0,454
GBq	% de la limite réglementaire	1,22 %	3,69 %	13,70 %	2,30 %

Rejets radioactifs gazeux en 2015					
		Chinon	Belleville	Dampierre	Saint-Laurent
Gaz rares	Limite annuelle réglementaire	72	25	72	30
	Activité rejetée	0,59	0,533	0,982	0,379
TBq	% de la limite réglementaire	0,82 %	2,13 %	1,40 %	1,30 %
Tritium	Limite annuelle réglementaire	8	5	10	4
	Activité rejetée	1,74	2,29	1,58	0,77
TBq	% de la limite réglementaire	21,8 %	45,8 %	15,80 %	19,20 %
Carbone 14	Limite annuelle réglementaire	2,2	1,4	2,2	1,1
	Activité rejetée	0,666	0,411	0,499	0,254
TBq	% de la limite réglementaire	30,30 %	29,30 %	22,70 %	23,10 %
Iodes	Limite annuelle réglementaire	1,6	0,8	1,6	0,6
	Activité rejetée	0,0328	0,0278	0,086	0,013
GBq	% de la limite réglementaire	2,05 %	3,48 %	5,40 %	2,20 %
Autres PF PA	Limite annuelle réglementaire	1,6	0,1	0,8	0,4
	Activité rejetée	0,00193	0,0093	0,006	0,00215
GBq	% de la limite réglementaire	0,12 %	9,30 %	0,75 %	0,54 %

Tableau 1-11 : Rejets radioactifs en 2015

1.3.10.3.2. Déchets et matières entreposés dans les installations nucléaires

L'exploitation des installations nucléaires produit des déchets radioactifs, qui sont dans un premier temps entreposés sur site, puis envoyés vers des centres de stockage lorsqu'ils existent. Les déchets sont classés en différentes catégories, en fonction de leur activité d'une part, et de la durée pendant laquelle ils resteront radioactifs d'autre part. On distingue ainsi les catégories de déchets de très faible activité (TFA), de faible et moyenne activité à vie courte (FMAVC), de faible activité à vie longue (FAVL), de moyenne activité à vie longue (MAVL) et de haute activité à vie longue (HAVL).

Les déchets produits par les réacteurs en fonctionnement peuvent être entreposés sur site en attente de conditionnement, ou en attente d'expédition lorsqu'ils sont conditionnés. Chaque année, les sites envoient un certain nombre de colis vers les sites de stockage.

	Chinon	Belleville	Dampierre	Saint-Laurent
Déchets en attente de conditionnement				
TFA (tonnes)	296	107,94	202	41,269
FMAVC liquides (tonnes)	9,5	166,66	26	188,867
FMAVC solides (tonnes)	230	83,35	157	11,12
MAVL (objets)	308	126	425	153
Déchets conditionnés en attente d'expédition				
TFA (colis)	53	104	37	89
FMAVC - coques béton (colis)	74	55	52	98
FMAVC - fûts (colis)	323	231	157	234
FMAVC - autres (colis)	46	13	6	9
Nombre de colis évacués dans l'année				
vers CIRE (CSTFA) - Morvilliers	62	467	46	32
vers CSA (CSFMA) - Soullaines	1049	67	650	456
vers CENTRACO - Marcoule	1265	548	1666	1336

Tableau 1-12 : Réacteurs en fonctionnement, au 31 décembre 2015

Les unités en cours de démantèlement produisent elles aussi des déchets, dont une quantité importante de TFA.

	Chinon	Saint-Laurent
Déchets en attente de conditionnement		
TFA (tonnes)	1479,2	191,474
FMAVC liquides (tonnes)	0	39,28
FMAVC solides (tonnes)	380,8	215,282
FAVL (tonnes)	0	1993,5
MAVL (objets ou conteneurs)	7	3
Déchets conditionnés en attente d'expédition		
TFA (colis)	88	230
FMAVC - fûts (colis)	102	333
FMAVC - autres (colis)	4	23
Nombre de colis évacués dans l'année		
vers CIRES (CSTFA) - Morvilliers	215	107
vers CSA (CSFMA) - Soulaines	3	147
vers CENTRACO - Marcoule	215	64

Tableau 1-13 : Unités en déconstruction, au 31 décembre 2015

Par ailleurs, certaines matières dites valorisables, ne sont pas considérées comme des déchets. Il s'agit notamment, pour les réacteurs en fonctionnement, des combustibles usés. Ils sont dans un premier temps entreposés dans les piscines des bâtiments réacteurs des sites, puis après un refroidissement d'un à deux ans (et de trois à quatre ans pour les combustibles MOX), ils sont évacués vers La Hague où ils sont là aussi entreposés en piscine. Les combustibles UO₂ y sont entreposés dans l'attente de leur retraitement. Les combustibles MOX ne sont pas considérés comme déchet mais ne sont pas pour autant retraités.

Capacités d'entreposage de combustible en piscine				
	Chinon	Belleville	Dampierre	Saint-Laurent
Nombre d'assemblages	382	630	382	382
Evacuation de combustible usé vers La Hague en 2015				
Nombre d'évacuations	12	9	13	8
Assemblages de combustible usé	143	108	156	60

Tableau 1-14 : Capacités d'entreposage et évacuation de combustible usé

1.3.10.3.3. Risque d'accident

Le Centre-Val de Loire est particulièrement exposé aux risques d'accident majeur en raison du nombre important de réacteurs en exploitation sur son territoire. Les principaux risques proviennent des réacteurs, mais aussi des piscines d'entreposage du combustible, qui contiennent un inventaire radioactif plus important que le réacteur, et qui ne sont pas protégées par une enceinte de confinement.

En plus des conséquences sanitaires, un accident majeur aurait d'importantes conséquences économiques. L'IRSN estime que l'ensemble des conséquences économiques d'un accident majeur s'élèverait à plusieurs centaines de milliards d'euros. Certaines caractéristiques de la région Centre-Val de Loire seraient particulièrement touchées par les conséquences d'un accident survenu dans la région ou à proximité de celle-ci. Il s'agit notamment de l'agriculture, de la viticulture ou encore du tourisme qui pourrait être fortement affecté par l'atteinte à l'image de la région.

1.3.10.3.4. Transports de déchets et de matières nucléaires

Les activités nucléaires engendrent des transports de matières ou de déchets radioactifs. Pour les réacteurs en cours de démantèlement, il s'agit principalement des transports d'évacuation des déchets vers les centres de stockage. En ce qui concerne les réacteurs en fonctionnement, en plus des transports d'évacuation de déchets, s'ajoutent ceux amenant le combustible neuf jusqu'aux centrales et ceux permettant l'évacuation des combustibles usés vers La Hague. En région Centre-Val de Loire, viennent s'ajouter les transports de combustibles neufs en provenance des usines de fabrication de combustible vers le magasin interrégional de Chinon pour entreposage, puis leur transport vers les centrales nucléaires dans lesquelles ils seront utilisés.

2. RESULTATS DE LA SCENARISATION

2.1. Les secteurs de consommation

Les résultats des trois principaux secteurs de consommation sont présentés dans cette section : bâtiments (résidentiels et tertiaires), transports (personnes et marchandises), et industrie.

2.1.1. Bâtiments résidentiels et tertiaires

En 2012, le secteur du bâtiment représente 37,4 TWh, soit près de 48 % des consommations régionales d'énergie.

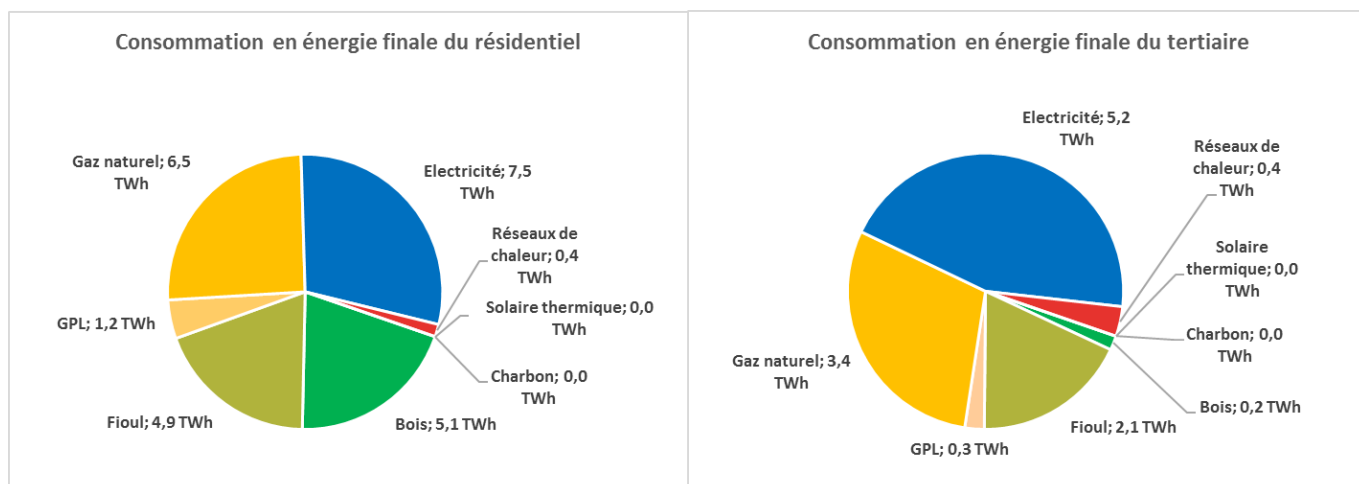


Figure 2-1 : Etat initial (2012) des consommations d'énergie²¹ en résidentiel et tertiaire en région Centre-Val de Loire - Source : Lig'Air

²¹ Le gaz naturel présenté ici est du gaz fossile.

Cette proportion est supérieure à la valeur nationale (40 %), parce que le tissu industriel comporte moins d'industries très consommatrices. Ce dernier secteur ne représente en effet qu'environ 15 % des consommations finales totales, contre 30 % au niveau national.

2.1.1.1. *Rénovation thermique du parc de logements existants*

Les hypothèses de rénovation thermique du parc existant conduisent à envisager une période d'apprentissage d'environ 10 ans avant d'atteindre la « vitesse de croisière » des rénovations. Cette période d'apprentissage est fondamentale pour former la profession et lui permettre de se structurer en vue d'une massification de la rénovation.

Pour les maisons individuelles, le nombre de rénovations thermiques augmente très progressivement : de quelques centaines en 2018, les rénovations passent à environ 21 500 maisons individuelles rénovées par an en 2030. Ce chiffre reste stable jusqu'à 2050. Les rénovations prioritaires portent sur les maisons individuelles d'avant 1975, les plus énergivores.

Les rénovations thermiques sont effectuées à un niveau de performance correspondant à l'objectif de la loi de Transition Énergétique (niveau BBC-Rénovation pour l'ensemble du parc bâti d'ici 2050). L'hypothèse est une application des « solutions techniques de rénovation » (STR), qui prévoient un niveau minimal de performance par module de rénovation²².

Ces rénovations de maisons individuelles, principalement réalisées par des artisans, nécessitent une organisation particulière détaillée dans le rapport « Proposition d'orientations pour réussir la transition énergétique en région Centre-Val de Loire » (structuration en groupement, acquisition de compétences techniques et économiques spécifiques aux projets de rénovations à faible consommation, ...).

Pour les logements collectifs, le nombre de rénovations thermiques augmente progressivement pour atteindre environ 9 000 logements par an vers 2030, et reste stable jusqu'à 2050. La rénovation des logements d'avant 1975, comme pour les maisons individuelles, est prioritaire.

Pour le tertiaire, les surfaces rénovées à très faible consommation augmentent très progressivement jusqu'en 2030, où la surface de rénovation atteint 1,4 millions de m² par an, valeur maintenue jusqu'en 2047 avec une légère baisse ensuite. Les rénovations les plus accessibles à court terme sont principalement les bureaux et les locaux d'enseignement.

Le tableau ci-dessous indique les cumuls de rénovations thermiques performantes par type de bâtiment.

Scénario		Unité	2 012	2 020	2 030	2 050
tendanciel	Maisons individuelles	Milliers de logements	0	3	47	135
	Logements collectifs		0	1	19	58
	Tertiaire	millions m ²	0	0,1	3	10
négaWatt	Maisons individuelles	Milliers de logements	0	6	134	546
	Logements collectifs		0	2	53	230
	Tertiaire	millions m ²	0	0,3	11	37

Tableau 2-1 : Nombre de rénovations thermiques dans les scénarios tendanciel et 100 % ENR (cumul)²³

22 Voir <http://www.negawatt.org/telechargement/Docs/Sidler%20Renovation%20final%201107.pdf>, et la boîte à outils sur le site Internet d'Enertech : www.enertech.fr.

23 Les valeurs nulles indiquent un nombre non significatif.

Au niveau du scénario tendanciel, les rénovations thermiques prises en compte sont des rénovations à des niveaux peu ambitieux, au même rythme que les années passées.

2.1.1.2. Construction de bâtiments neufs

La construction de bâtiments neufs suit les évolutions suivantes :

Scénario		Unité	2 012	2 020	2 030	2 050
tendanciel	Maisons individuelles	Milliers de logements	816	863	908	957
	Logements collectifs		306	334	366	413
	Tertiaire	millions m ²	40	44,0	49	58
négaWatt	Maisons individuelles	Milliers de logements	816	860	883	885
	Logements collectifs		306	332	353	373
	Tertiaire	millions m ²	40	43,8	47	49

Tableau 2-2 : Constructions neuves dans les scénarios tendanciel et 100 % ENR (cumul)

L'évolution des surfaces habitable par personne est décrite dans le tableau ci-dessous.

		Unité	2 012	2 020	2 030	2 050	Variation 2050/2012
Surface habitable par personne	tendanciel	m ² /personne	42,3	44,1	45,7	47,3	12 %
	100 % ENR		42,3	43,9	44,3	43,3	2 %

Tableau 2-3 : Evolution des surfaces habitables par personne dans les scénarios tendanciel et 100 % ENR

Pour les constructions de logements neufs, les besoins de chauffage sont fixés à 30kWh/m²/an à partir de 2013 et à 15kWh/m²/an à partir de 2020 pour le scénario 100 % ENR comme pour le tendanciel.

2.1.1.3. Maîtrise des consommations d'électricité spécifique

Dans le secteur résidentiel, les hypothèses concernant l'électricité spécifique conduisent à une forte augmentation des consommations pour le scénario tendanciel de 3,6 TWh en 2010 à 4,5 en 2050. Le scénario 100 % ENR conduit à une réduction significative (2,0 TWh). Dans le scénario 100 % ENR, ces consommations sont couvertes quasiment à hauteur de 100 % par de l'électricité renouvelable en 2050.

Scénario	Unité	2 012	2 020	2 030	2 050	Evolutions (%)		
						2 020	2 030	2 050
tendanciel	kWh/an	3 218	3 096	3 069	3 569	-4%	-5%	11%
négaWatt	kWh/an		2 770	1 960	1 543	-14%	-39%	-52%

Tableau 2-4 : Consommations d'électricité spécifique domestique par ménage

Dans le secteur tertiaire, la consommation d'électricité spécifique passe de 3,4 TWh en 2012 à 3,3 TWh en 2050 dans le scénario tendanciel, et à 1,7 TWh dans le scénario 100 % ENR. Ces consommations sont couvertes quasiment à hauteur de 100 % par de l'électricité renouvelable.

Les graphiques ci-dessous synthétisent les répartitions de consommation d'électricité spécifique en résidentiel et tertiaire (hors éclairage public et secteurs économiques divers).

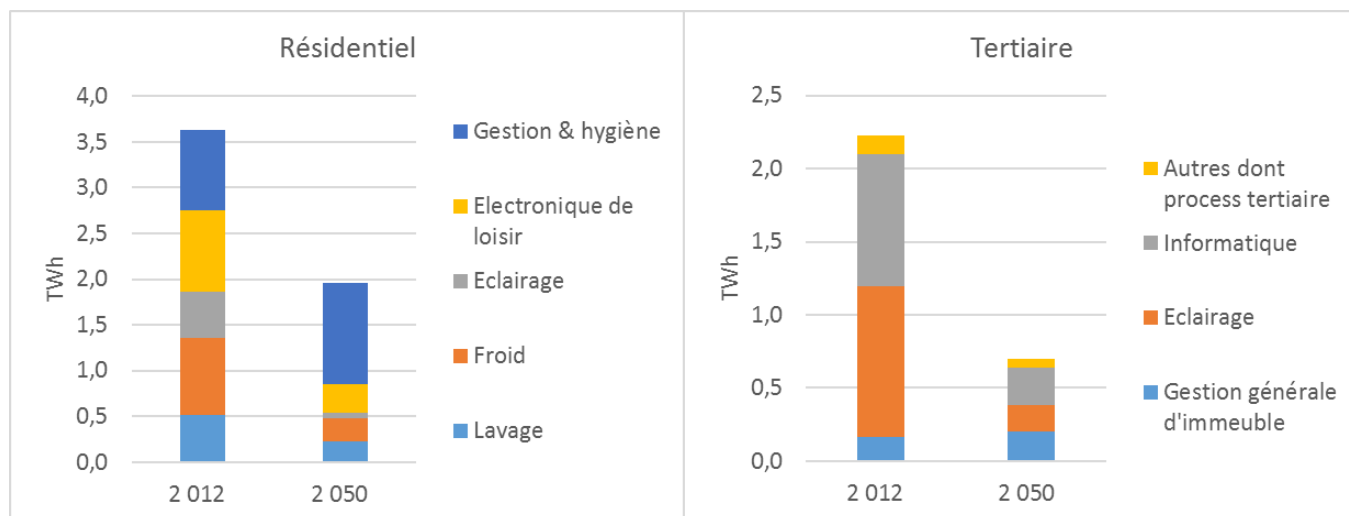


Figure 2-2 : Répartition des consommations d'électricité spécifique en résidentiel et tertiaire²⁴ (2012 et 2050)

2.1.1.4. Maîtrise des consommations de climatisation

Pour la climatisation, l'application des hypothèses de sobriété et d'efficacité, et les évolutions des parcs décrites aux paragraphes 1.3.2 et 1.3.3 permettent :

- De contenir les consommations finales dans le résidentiel (0,1 TWh en 2010, 0,3 TWh en 2050) malgré une multiplication par 4 du taux d'équipement.
- De maintenir les consommations finales dans le tertiaire (0,3 TWh en 2010 et en 2050), malgré une augmentation des taux d'équipements dans certains secteurs, grâce aux gains d'efficacité sur les systèmes et à une bonne maîtrise des besoins surfaciques de climatisation (réduction des apports internes grâce à des éclairages et de la bureautique moins consommatrice, réduction des apports solaires par des protections adaptées, etc.)

2.1.1.5. Maîtrise des consommations de cuisson

Les hypothèses présentées précédemment conduisent à une réduction des consommations pour le résidentiel dans le scénario 100 % ENR (1,2 TWh en 2012, 0,9 TWh en 2050) et pour le tertiaire (0,63 TWh en 2012, 0,56 TWh en 2050).

²⁴ Hors éclairage public

	Résidentiel		Tertiaire	
	2 012	2 050	2 012	2 050
GPL	0,32	0,00	0,08	0,00
Gaz naturel	0,44	0,19	0,24	0,17
Electricité	0,45	0,68	0,31	0,39
Total	1,21	0,87	0,63	0,56

Tableau 2-5 : Répartition des consommations de cuisson en résidentiel et tertiaire (2012 et 2050)

2.1.1.6. Maîtrise des consommations d'Eau Chaude Sanitaire (ECS)

Nous avons vu précédemment que les consommations d'énergie pour l'eau chaude sanitaire étaient comparables à la moyenne nationale, tant pour le résidentiel que pour le tertiaire. Le tableau ci-dessous montre les hypothèses d'évolution des consommations d'eau chaude sanitaire pour ces deux secteurs, reposant sur des actions de sobriété telles que la mise en place de limiteurs de débit, la préférence donnée aux douches par rapport aux bains, la diminution des gaspillages, etc.

	Unité	2 012	2 020	2 030	2 050	variation 2050/2012
Maison individuelle	l/j/personne	32,0	30,7	27,8	22,7	-29%
Logement collectif	l/j/personne	21,3	20,9	19,9	18,0	-16%
Tertiaire	l/j/m²	1,02	0,95	0,86	0,71	-30%

Tableau 2-6 : Répartition des consommations d'eau chaude sanitaire en résidentiel et tertiaire

2.1.1.7. Evolution des consommations de chauffage et d'ECS

Ces hypothèses présentées au paragraphe précédent conduisent aux consommations finales suivantes (chauffage et ECS) :

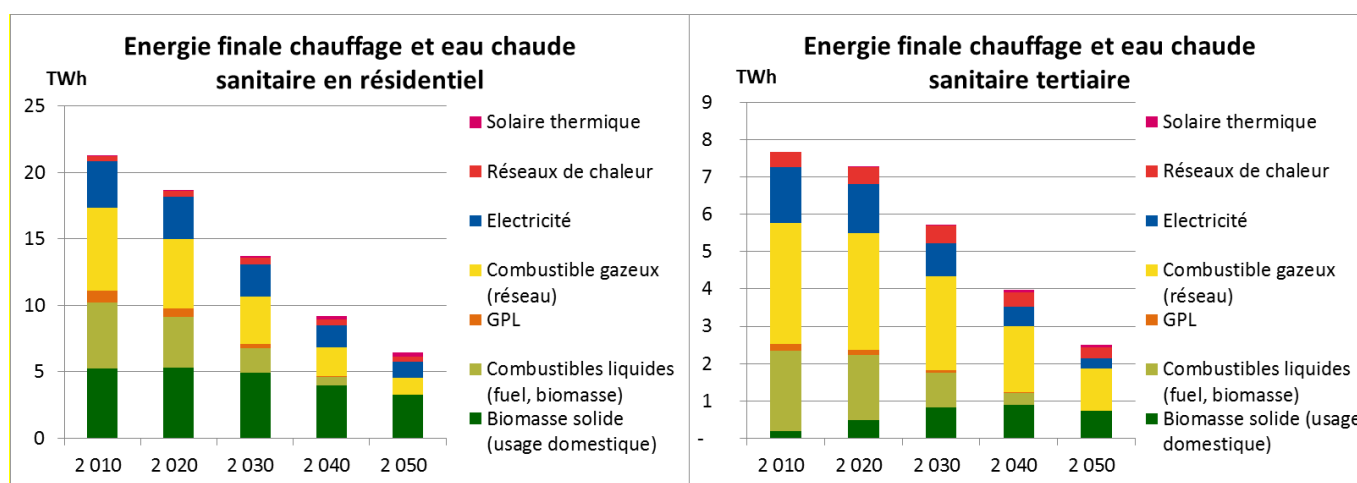


Figure 2-3 : Evolution des consommations de chauffage et d'ECS dans le tertiaire, par source, en énergie finale

Les consommations totales de chauffage et d'eau chaude sanitaire sont divisées par environ 3 en 2050 par rapport à 2012.

Le bois garde une part importante, qui augmente en proportion, même si elle diminue en valeur absolue, du fait de la diminution des besoins de chauffage liée à la rénovation thermique massive du parc.

L'électricité diminue de manière importante, grâce au développement de la pompe à chaleur beaucoup moins consommatrice que le chauffage électrique direct.

2.1.1.8. Synthèse des consommations du bâtiment

Le tableau suivant synthétise les évolutions de consommations du secteur du bâtiment, en fonction des scénarios. Il est important de noter que la réduction de consommation à 2020 est finalement faible, du fait d'hypothèses de montée en puissance de la rénovation thermique des bâtiments prudente, mais réaliste (préparation de l'écosystème propice à la massification). Elle pourrait être assez facilement supérieure, notamment en réalisant davantage de rénovations thermiques sur cette période, mais à un niveau de performance moindre.

Cette stratégie aboutirait peut-être à une réduction des consommations d'énergie du secteur plus importante à court terme, mais handicaperait la possibilité de réduire très fortement les consommations d'énergie à moyen et long terme (les travaux peu performants effectués sur les premières rénovations repousseront les travaux performants de plusieurs décennies, et surtout les rendront moins rentables) ; en un mot cette stratégie « tuerait le gisement » des économies d'énergie dans le bâtiment.

Secteur	Scénario	Usage	2 012	2 020	2 030	2 050	Evolutions par rapport à 2012 (%)		
							2012-2020	2012-2030	2012-2050
Résidentiel	nW	chauffage	18,4	16,5	12,1	5,6	-10%	-34%	-70%
		ECS	2,3	2,1	1,6	0,9	-9%	-31%	-62%
		Cuisson	1,2	1,2	1,0	0,9	-4%	-13%	-28%
		Electricité spécifique	3,6	3,3	2,5	2,0	-9%	-32%	-46%
		Climatisation	0,01	0,02	0,03	0,03	44%	93%	145%
Résidentiel	Tendanciel	chauffage	18,4	17,2	15,5	13,0	-6%	-16%	-29%
		ECS	2,3	2,3	2,3	2,3	0%	-1%	-2%
		Cuisson	1,2	1,2	1,2	1,2	-2%	-2%	0%
		Electricité spécifique	3,6	3,7	3,9	4,5	2%	7%	25%
		Climatisation	0,01	0,02	0,02	0,03	38%	76%	121%
Tertiaire	nW	chauffage	6,4	6,2	4,9	2,0	-3%	-23%	-69%
		ECS	1,2	1,0	0,8	0,5	-11%	-29%	-56%
		Cuisson	0,6	0,6	0,6	0,6	3%	-3%	-12%
		Electricité spécifique	3,4	3,1	2,2	1,7	-9%	-34%	-50%
		Climatisation	0,3	0,4	0,3	0,3	8%	2%	-17%
Tertiaire	Tendanciel	chauffage	6,4	6,4	6,5	6,6	1%	2%	3%
		ECS	1,2	1,1	1,0	0,8	-8%	-18%	-35%
		Cuisson	0,6	0,6	0,7	0,7	3%	4%	8%
		Electricité spécifique	3,4	3,3	3,2	3,3	-1%	-4%	-3%
		Climatisation	0,3	0,4	0,6	1,0	29%	74%	195%

Tableau 2-7 : Evolution des consommations finales par usages, en énergie finale (TWh)

Le choix, qui se traduit ici par une relativement faible réduction des consommations en 2020 dans le scénario 100 % ENR, est celui d'une montée en puissance progressive vers des rénovations thermiques performantes, qui deviennent massives après 2030, une fois formés les artisans et entreprises du secteur, une fois organisées la production et la fourniture de matériaux adéquats, une fois rendue opérationnelle et banalisée l'ingénierie financière de ces opérations.

En un mot, c'est la capacité de massifier les rénovations thermiques performantes qui se joue sur cette période de démarrage (2018-2030). Cette stratégie permet d'atteindre ensuite un rythme de croisière qui conduit à des réductions de consommations bien plus élevées au final.

Bien que présentant des réductions de consommations relativement limitées à court terme, le secteur du bâtiment constitue clairement une priorité d'actions dans le cadre d'un scénario de transition énergétique, car c'est l'un des secteurs les plus rapidement opérationnels, avec des gisements d'économies énormes, et dégageant à la fois des consommations d'électricité, de gaz et de fioul.

2.1.2. Transports : mobilité des personnes et déplacement de marchandises

2.1.2.1. Mobilité des personnes

Le scénario 100 % ENR régional : évolution des besoins de mobilité

En appliquant les hypothèses détaillées auparavant, on obtient donc un besoin de mobilité global qui augmente dans un premier temps (tendanciel, augmentation de la population) avant de s'infléchir légèrement puis se stabiliser pour atteindre en 2050 un niveau très légèrement inférieur au niveau actuel (31 milliards de voyageurs.kilomètres). On observe (figure ci-contre) une forte diminution des kilomètres parcourus en voiture au profit de modes plus efficaces : le deux-roues pour les transports individuels de courte distance, les transports en commun pour les autres déplacements.

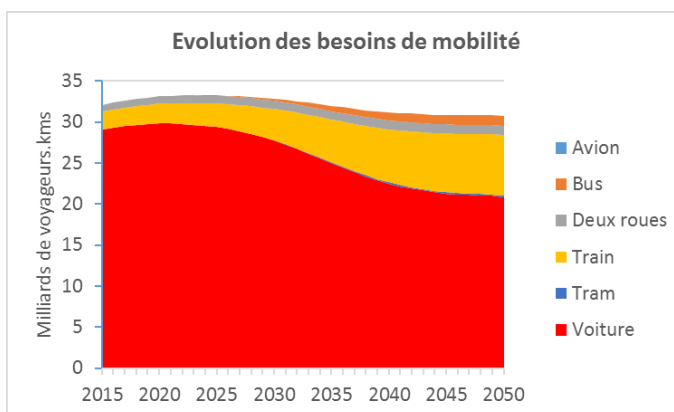


Figure 2-4 : Evolution des kilomètres parcourus par mode de transport

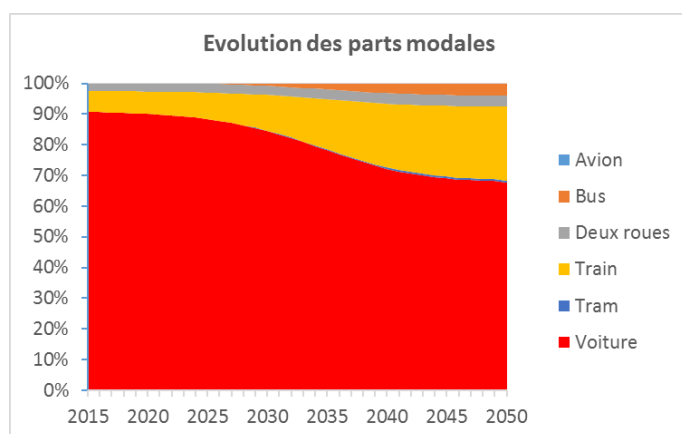


Figure 2-5 : Evolution des parts modales indépendamment du besoin total de mobilité

En ce qui concerne l'évolution des parts modales, on constate effectivement sur la figure ci-contre une nette diminution du véhicule individuel qui chute de 91 % à 68 % des kilomètres parcourus. Etant donné les particularités du territoire (zones rurales et périurbaines polarisées) c'est surtout le bus qui est privilégié, puis le train (3,4 fois plus de voyageurs.kilomètres en 2050).

Il s'agit ici d'une augmentation de la fréquentation de ces transports et d'un renforcement des dessertes (nouvelles lignes, fréquence plus importante).

On voit par ailleurs sur la figure ci-dessous, qui ne concerne que la mobilité régulière et locale, que l'évolution n'est pas la même pour toutes les communes : les communes les plus proches des pôles urbains connaissent une diminution plus importante (transports doux) tandis que les communes en zone polarisée (Commune polarisée d'une AU jusqu'à 99 999 habitants et Commune multipolarisée) stagnent voire augmentent les kilomètres parcourus (déplacements domicile travail et évolution démographique).

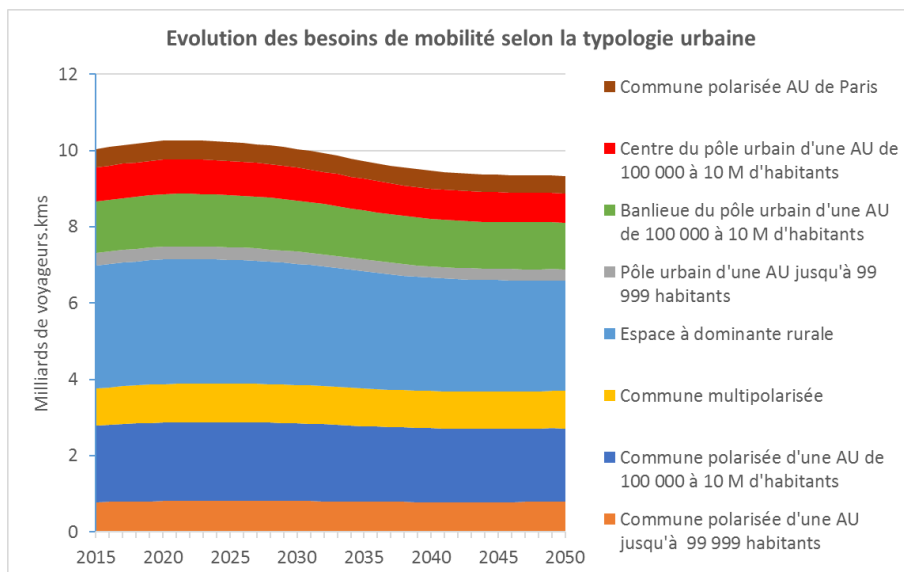


Figure 2-6 : Détails de l'évolution des besoins de mobilité régulière et locale par type de commune

Evolution des types de motorisation

Les hypothèses d'évolution des types de motorisation du scénario national sont retenues pour le scénario régional. Elles sont présentées dans les graphiques ci-contre. Pour les véhicules routiers, le gaz carburant (renouvelable) devient prépondérant. L'essence et le gazole disparaissent quasiment complètement.

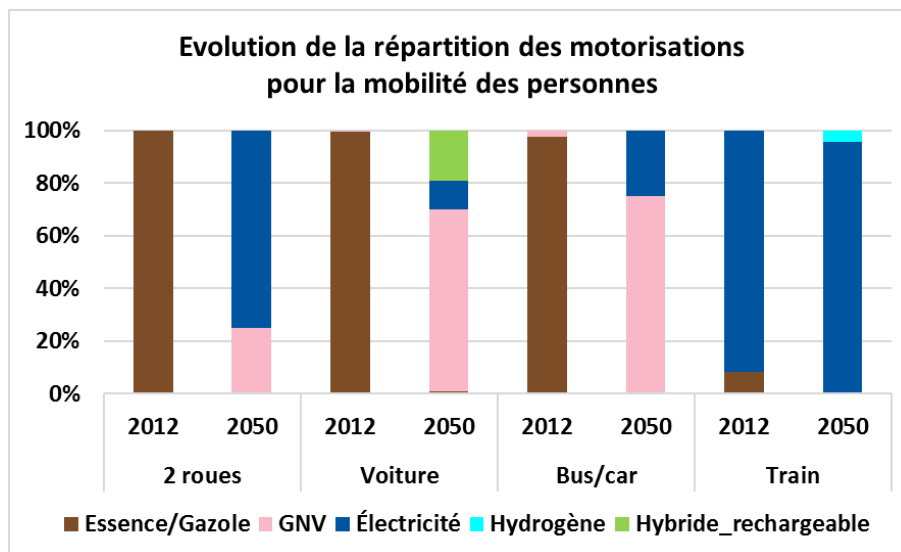


Figure 2-7 : Détails de l'évolution de la répartition des motorisations pour la mobilité des personnes

Consommations d'énergie

Comme pour le scénario national, le résultat de ce report modal vers des modes plus efficaces conduit à une forte chute des consommations d'énergie du secteur (-70 % par rapport à 2015).

On observe par ailleurs sur la figure ci-contre l'évolution comparée des différentes sources d'énergie : les combustibles pétroliers chutent fortement dès 2020-2025 tandis que le développement du gaz véhicule (notamment issu de la biomasse et de la méthanation) et de l'électricité rendent ces deux sources majoritaires dès 2033.

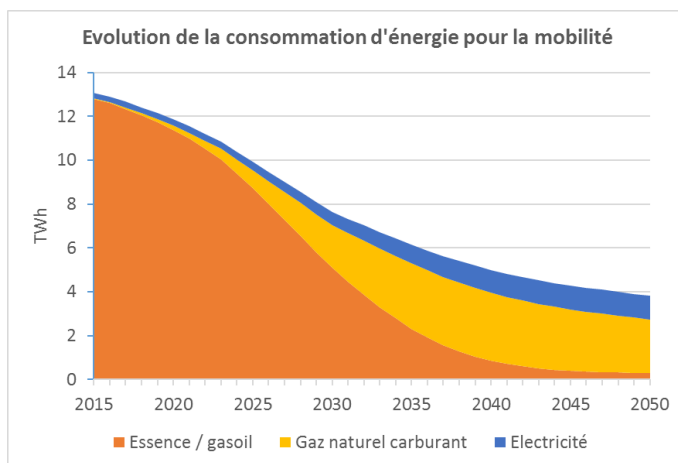


Figure 2-8 : Evolution des consommations annuelles d'énergie pour la mobilité

Points clés du scénario régional

Le scénario régional diffère donc assez peu du national, avec une forte amélioration de l'efficacité énergétique par report modal vers les transports en commun et le développement de motorisations plus propres au biogaz véhicules et à l'électricité.

2.1.2.2. Transport de marchandises

Le scénario 100 % ENR régional : évolution des quantités transportées

En appliquant les hypothèses précédemment décrites aux particularités locales du secteur des transports de marchandises, nous obtenons donc le scénario présenté sur la figure ci-dessous (à gauche). Les tonnages transportés diminuent progressivement puis s'infléchissent pour se stabiliser aux alentours de 11 milliards de tonnes.kilomètres annuelles (-39 %).

On observe (figure ci-dessous, à droite) un report modal du routier vers le rail (triplement) et le fluvial (augmentation de 50 %). Il s'agit d'une augmentation des tonnages transportés, qui ne passe pas que par une augmentation du trafic, mais également une optimisation de l'organisation de ces transports (moins de transports à vide).

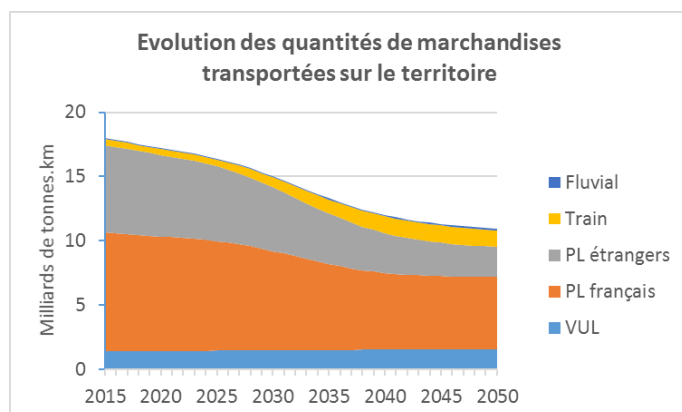


Figure 2-9 : Evolution des tonnages transports en région Centre-Val de Loire

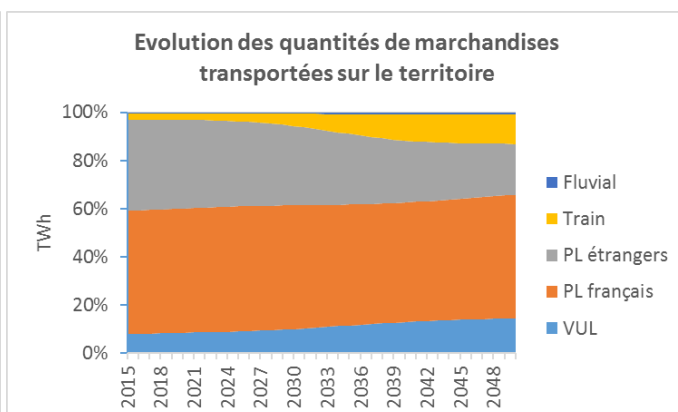


Figure 2-10 : Evolution absolue de chaque mode de transport

Evolution des consommations

L'évolution des tonnages transportés est accentuée par les hypothèses d'amélioration de l'efficacité énergétique des différents modes de transport, en particulier le transport routier (Poids Lourds – PL et Véhicules Utilitaires Légers - VUL). On observe ainsi (figure ci-dessous, à gauche) une division par 2 de la consommation totale de ce secteur. Cela passe par une diminution des consommations unitaires des poids lourds, en majorité liée à la diminution des quantités transportées. On remarque aussi un gain de 65 % sur les véhicules utilitaires, malgré une stabilisation des quantités transportées : il s'agit d'une optimisation de la logistique et d'un changement de motorisation (hybrides GNV notamment) permettant d'améliorer considérablement l'efficacité énergétique globale de ce secteur. Sur la figure ci-dessous (à droite), on constate en effet une substitution des combustibles pétroliers majoritairement par le gaz véhicule, et dans une moindre mesure par l'électricité.

Les actions à prévoir devront donc favoriser le report modal, réorganiser les transports locaux (VUL) et être compatibles avec le changement de motorisation de la flotte de véhicules.

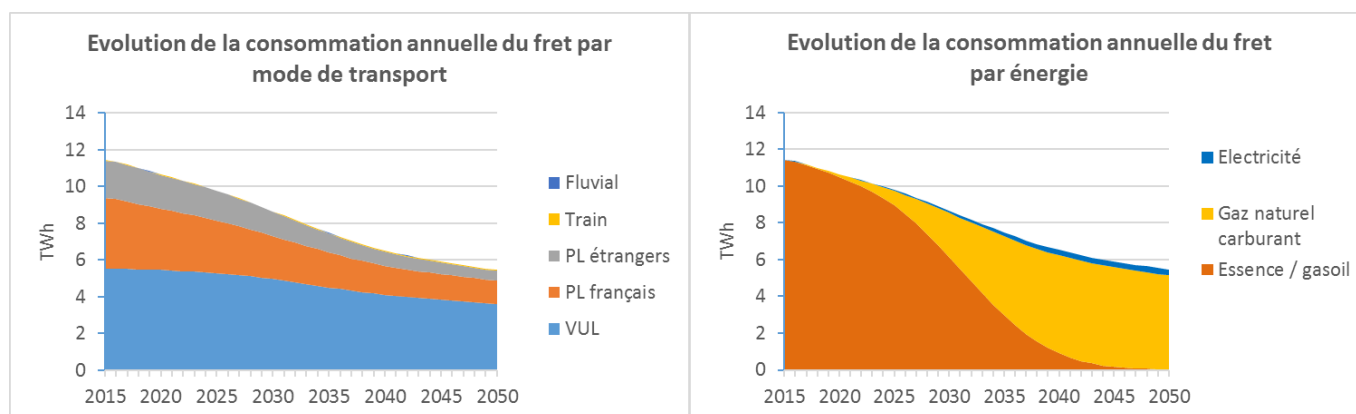


Figure 2-11 : Evolution des consommations des différents moyens de transport de marchandises

Figure 2-12 : Evolution des consommations des différentes sources d'énergie par le transport de marchandises

2.1.3. Production industrielle

Rappel préalable : toutes les consommations d'énergie pour les combustibles présentés dans cette partie sont en PCI (Pouvoir Calorifique Inférieur)²⁵.

Avec 11,4 TWh de consommations finales, l'industrie représente 15 % des consommations d'énergie de la région, réparties pour environ 65 % en combustibles, et 35 % en électricité.

Compte tenu des hypothèses retenues, les gains estimés en énergie finale pour l'industrie sont de l'ordre de 20 % à court terme (2020 à 2025) et plus de 30 % en 2050.

²⁵ Voir définition page 17.

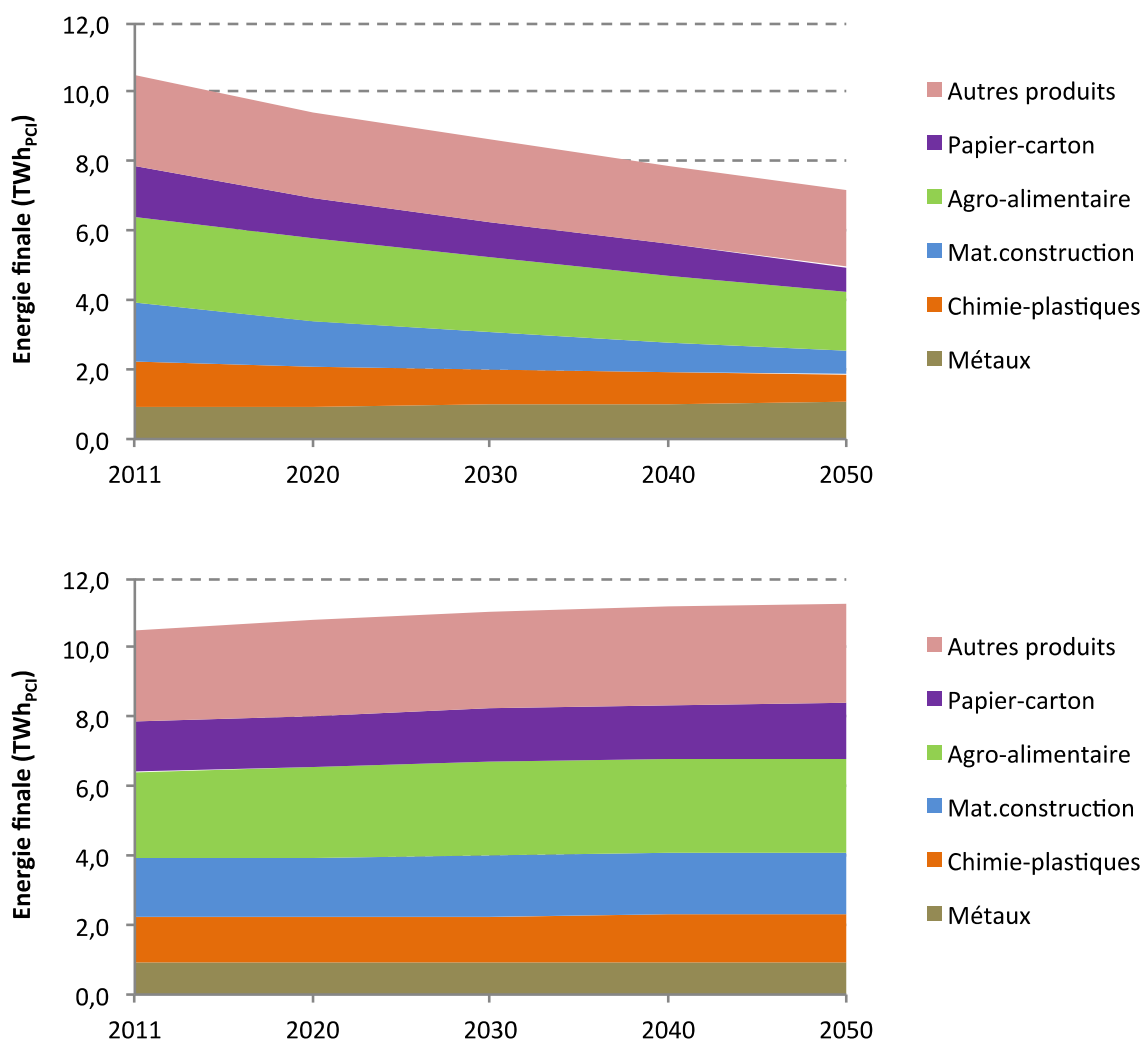


Figure 2-9 : Evolution de la consommation d'énergie finale de l'industrie en région Centre-Val de Loire, par secteur, dans le scénario 100 % ENR (en haut) et dans le scénario tendanciel (en bas)

Source : Solagro

Le secteur des matériaux de construction présente la plus forte baisse (-61% en 2050). Ce résultat est l'effet de l'amélioration des procédés, mais aussi du fort potentiel de sobriété :

- Le ciment : en raison de la forte baisse de constructions de bâtiments neufs et du recours à plus de matériaux biosourcés (bois).
- Le verre : le verre plat baisse pour les mêmes raisons que le ciment (moins de bâtiments neufs), mais aussi baisse de la production automobile. Pour le verre creux, la réutilisation des emballages permet de réduire fortement la production.
- Autres (brique, tuiles) : diminution du nombre de bâtiments et recours à plus de matériaux biosourcés.

Le secteur du papier carton présente aussi une baisse importante (-47 %) en raison à la fois de la sobriété (baisse de 35 % du papier graphique) mais aussi de l'augmentation du recyclage.

Pour le secteur « chimie-plastique » et celui de l'agroalimentaire, la diversité des procédés et la moindre transparence des données rendent la tâche d'estimation des gains plus difficile. Il a donc

été retenu des gains plus modestes et sans doute conservateurs. Les gains sur le secteur « chimie-plastique » (-41 %) est plus important en raison de la forte baisse des besoins en plastique (sobriété sur les emballages, réutilisation des emballages, ...).

Enfin pour le secteur des métaux, on observe une hausse des consommations. Ce résultat est essentiellement dû à la relocalisation de la production. En effet, ce secteur est actuellement très déficitaire sur les métaux non ferreux dont l'aluminium par exemple (la France ne produit que 40 % de l'aluminium consommé). La faible activité métallurgique de la région est essentiellement liée aux non-ferreux, ce qui explique qu'au final, même en intégrant une amélioration de l'efficacité et une partie de sobriété, l'effet de la relocalisation reste dominant sur ce secteur.

Consommation totale nette (énergie finale)	en TWh					Evolution				
	2011	2020	2030	2040	2050	2011	2020	2030	2040	2050
Métaux	0,9	1,0	1,0	1,0	1,1	0%	7%	11%	17%	20%
Chimie-plastiques	1,4	1,1	1,0	0,9	0,8	0%	-18%	-26%	-34%	-41%
Mat.construction	1,7	1,3	1,1	0,8	0,6	0%	-19%	-36%	-51%	-61%
Agro-alimentaire	2,5	2,4	2,1	1,9	1,7	0%	-5%	-14%	-23%	-33%
Papier-carton	1,4	1,2	1,0	0,9	0,8	0%	-18%	-30%	-38%	-47%
Autres produits	2,6	2,5	2,4	2,3	2,2	0%	-6%	-9%	-12%	-16%
Total	10,5	9,4	8,6	7,9	7,2	0%	-10%	-18%	-25%	-32%
- Combustible/chaueur	6,7	6,3	5,7	5,2	4,7	0%	-7%	-16%	-23%	-31%
- Electricité (brute)	3,9	3,5	3,3	3,2	3,0	0%	-10%	-14%	-18%	-23%

Consommation combustibles (énergie finale)	en TWh (PCI)					Réduction				
	2011	2020	2030	2040	2050	2008	2020	2030	2040	2050
Métaux	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0%	8%	10%	15%	17%
Chimie-plastiques	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0%	-17%	-24%	-31%	-37%
Mat.construction	1,2	1,0	0,8	0,6	0,5	0%	-16%	-35%	-50%	-61%
Agro-alimentaire	1,9	1,9	1,7	1,5	1,3	0%	-2%	-12%	-21%	-32%
Papier-carton	1,0	0,8	0,7	0,6	0,4	0%	-18%	-33%	-43%	-56%
Autres produits	1,5	1,4	1,5	1,5	1,5	0%	-1%	0%	1%	2%
Total	6,7	6,3	5,7	5,2	4,7	0%	-7%	-16%	-23%	-31%

Consommation d'électricité brute (énergie finale)	en TWh					Réduction				
	2011	2020	2030	2040	2050	2008	2020	2030	2040	2050
Métaux	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0%	7%	13%	21%	27%
Chimie-plastiques	0,8	0,6	0,6	0,5	0,5	0%	-17%	-24%	-32%	-39%
Mat.construction	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0%	-25%	-38%	-49%	-57%
Agro-alimentaire	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0%	-7%	-10%	-12%	-16%
Papier-carton	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0%	-16%	-18%	-18%	-19%
Autres produits	1,2	1,1	1,1	1,0	0,9	0%	-4%	-10%	-16%	-23%
Total	3,9	3,5	3,3	3,2	3,0	0%	-10%	-14%	-18%	-23%

Rq : Le total combustible + électricité (brute) est légèrement supérieur au total, la différence provient de l'autoconsommation d'électricité. L'électricité brute correspond à la consommation réelle du procédé, y compris autoconsommation.

**Tableau 2-8 : Evolution des consommations d'énergie de l'industrie
en région Centre-Val de Loire**

Source : Solagro

Pour l'électricité, les gains totaux sont plus faibles : alors que le potentiel sur les seules opérations transverses affiche un gain de 45 % (voir tableaux ci-dessus), l'estimation finale annonce seulement 23 % sur le long terme. Deux raisons à cela :

- Les évolutions de productions retenues : à savoir l'augmentation des filières de recyclage qui sont généralement des filières électriques²⁶ et la prise en compte de relocalisation pour satisfaire la demande nationale
- Les nouveaux usages : la substitution d'électricité aux combustibles dans certaines applications telles que four et séchage.

		2011	2020	2030	2040	2050
Cogénération						
Chaleur cogénéritable	TWh	2,5	2,3	2,2	2,0	1,8
Chaleur cogénérée	TWh	0,3	0,7	0,9	1,2	1,4
Electricité cogénérée	TWh	0,1	0,3	0,4	0,5	0,5
Rendement	%	87%	84%	88%	89%	89%
Récupération d'énergie fatale						
Chaleur fatale valorisée		0,0	0,1	0,2	0,2	0,3

Tableau 2-9 : Cogénération industrielle

Source : Solagro

Pour la cogénération industrielle, la production électrique augmente jusqu'à 0,5 TWh. Même si le potentiel baisse au fur et à mesure de la mise en œuvre de la sobriété et de l'efficacité (baisse des besoins en chaleur), il subsiste un potentiel non négligeable à mobiliser.

En 2050, l'estimation de chaleur fatale valorisable montre une production de 0,3 TWh de chaleur basse température récupérable sur les chaleurs fatales des industries. Comme pour la cogénération, le potentiel diminue au fur et à mesure des rénovations énergétiques de l'industrie. Cette valorisation se fait par réseau de chaleur.

Au final, la mise en œuvre de la démarche 100 % ENR permet une transition importante vers une société économe en énergie dans l'industrie, comme le montre la figure ci-dessous.

La courbe tendancielle sans relocalisation montre une augmentation de la production industrielle qui prend en compte principalement l'augmentation de la population française et des gains d'efficacité faibles²⁷ : ces deux effets aboutissent à une croissance modérée jusqu'à +7 % à l'horizon 2050. La prise en compte de la relocalisation des productions industrielles induit une augmentation bien plus importante (+26 % par rapport à 2011).

Le scénario 100 % ENR permet, quant à lui, une consommation d'énergie de 58 % plus faible que le scénario tendanciel (avec relocalisation) en 2050. Près de 45 % de cette réduction de consommation d'énergie est due à la sobriété, le reste (55 %) aux actions d'efficacité, dont le recyclage.

²⁶ Le recyclage des matériaux fait plus souvent appel à des procédés thermiques consommateurs d'électricité que la fabrication initiale qui utilise d'autres énergies : par exemple, les hauts fourneaux fonctionnent avec du coke alors que lors du recyclage de l'acier, les ferrailles sont fondues dans des aciéries électriques à l'aide d'un puissant arc électrique.

²⁷ Les gains retenus sont ceux du scénario tendanciel de l'étude Enerdata, « Scenarii prospectifs énergie - climat - air de référence concernant la France dans un cadre européen et international à l'horizon 2030 », Rapport intermédiaire, 2010.

A la différence du national, l'effet du recyclage est assez faible en raison de l'absence des filières de production de métaux primaires.

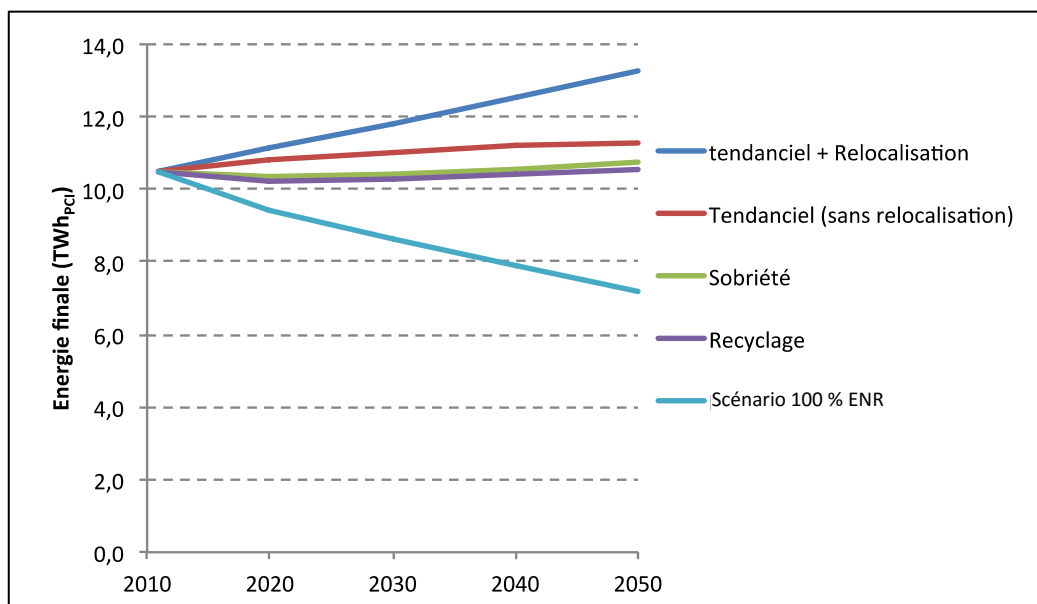


Figure 2-10 : Mise en œuvre de la démarche 100 % ENR dans l'industrie en région Centre-Val de Loire

Source : Solagro, négaWatt

Le tableau ci-dessous résume les principaux résultats des consommations d'énergie finale de l'industrie.

Consommation totale nette (énergie finale)	en TWh					Evolution				
	2011	2020	2030	2040	2050	2011	2020	2030	2040	2050
Scénario Tendanciel	10,5	10,8	11,0	11,2	11,3	0%	3%	5%	7%	7%
Scénario Tendanciel + relocali:	10,5	11,2	11,8	12,6	13,3	0%	6%	12%	20%	26%
Scénario néga watt	10,5	9,4	8,6	7,9	7,2	0%	-10%	-18%	-25%	-32%

Tableau 2-10 : Synthèse des consommations d'énergie finale dans l'industrie, suivant les différents scénarios

2.1.4. Synthèse des consommations d'énergie

Les consommations d'énergie finale par secteur et totales dans les deux scénarios tendanciel et 100 % ENR sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Consommations finales par		2 012	2 020	2 030	2 050	Evolutions par rapport à 2007 (%)		
Secteur	Scénario					2012-2020	2012-2030	2012-2050
Résidentiel	négaWatt	26	24	18	12	-9%	-29%	-53%
	Tendanciel		25	24	27	-4%	-6%	6%
Tertiaire	négaWatt	12	12	9	6	-2%	-22%	-53%
	Tendanciel		11	12	14	-6%	-3%	17%
Industrie	négaWatt	11	9	8	7	-22%	-27%	-35%
	Tendanciel		9	8	7	-22%	-27%	-35%
Agriculture	négaWatt	2	2	2	1	-3%	-11%	-22%
	Tendanciel		2	2	1	-3%	-11%	-22%
Transports	négaWatt	27	26	19	12	-7%	-31%	-58%
	Tendanciel		27	26	24	-1%	-5%	-13%
Total	négaWatt	78	71	56	38	-9%	-28%	-51%
	Tendanciel		74	72	74	-6%	-8%	-5%

Tableau 2-11 : Synthèse des consommations d'énergie finale par secteur selon les différents scénarios

Les diminutions les plus significatives des consommations (plus de 50 % de baisse en 2050) sont observées dans les secteurs résidentiel-tertiaire et transports. La baisse dans l'industrie est moins marquée, suivie par celle de l'agriculture.

Les graphiques représentant ces évolutions, par secteur et par vecteur énergétique, sont présentés au paragraphe 2.4.1.

2.2. La production d'énergies renouvelables

2.2.1. Energies renouvelables hors biomasse

2.2.1.1. Hydroélectricité

Pour l'hydroélectricité, comme indiqué plus haut, il n'est pas envisagé d'accroissement de la puissance installée. Par contre, nous avons intégré dans la scénarisation une diminution de l'hydraulité liée au changement climatique, qui se traduit par une baisse de production de 15 % à cet horizon par rapport à la production actuelle

Les résultats de notre scénarisation sont présentés ci-dessous en production.

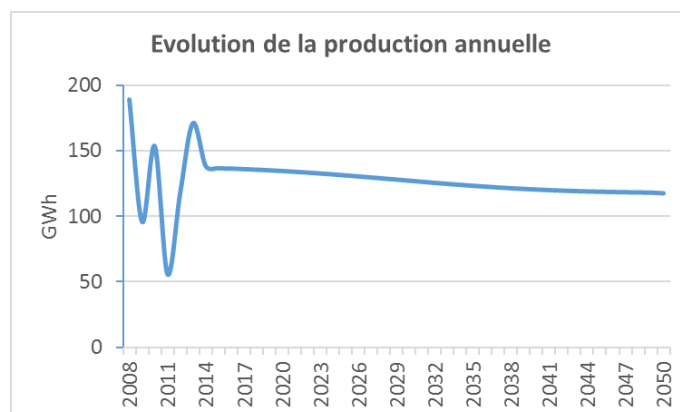


Figure 2-11 : Evolution de la puissance installée et de la production annuelle pour l'hydraulique en région Centre-Val de Loire

2.2.1.2. Eolien

La scénarisation envisagée pour l'éolien suit celle du scénario négaWatt national en termes de déploiement des parcs éoliens : dans celui-ci, à partir de 2017, des éoliennes dites de « nouvelle génération » sont installées. Il s'agit de machines dont le ratio surface balayée/puissance machine est supérieur à celui des machines classiques. Elles démarrent avec un vent moindre, et présentent un facteur de capacité supérieur. Il est ainsi possible de les installer dans des sites moins ventés, ce qui permet une répartition plus homogène sur le territoire.

L'étude ADEME "Un mix électrique 100 % renouvelable ?" a analysé la répartition territoriale de l'implantation de ces nouvelles machines. En croisant les hypothèses de l'ADEME, en termes de potentiel global pour les différents types de machines sur le territoire régional, avec les hypothèses de déploiement du scénario négaWatt national, on arrive aux résultats de notre scénarisation pour cette filière, présentés ci-dessous.

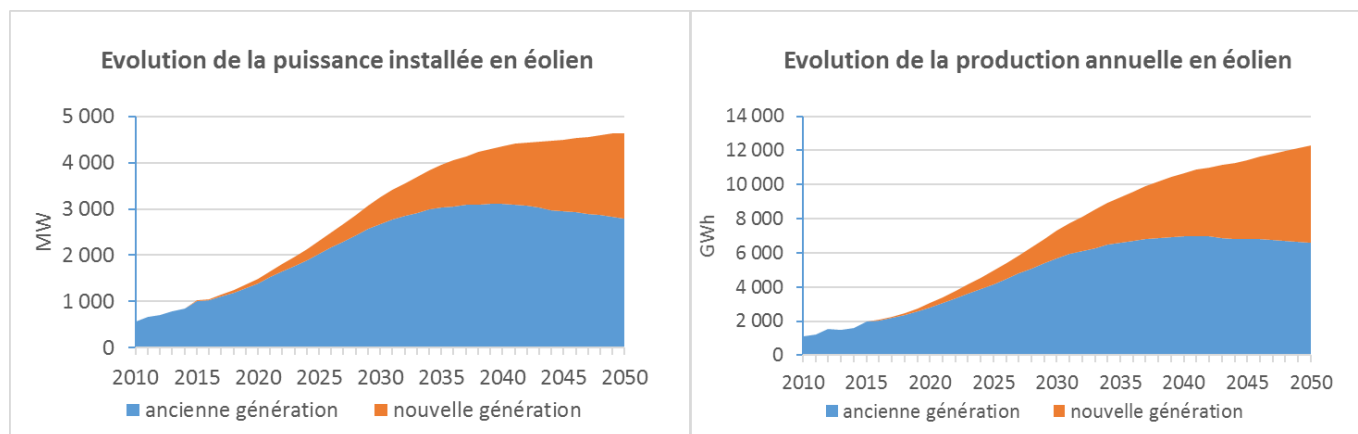


Figure 2-12 : Evolution de la puissance installée et de la production annuelle de l'éolien en région Centre-Val de Loire

A terme, compte tenu du fait que la puissance moyenne des machines augmente régulièrement, le nombre de mâts se stabilise à environ 1600, soit environ un triplement par rapport au parc actuel, avec une puissance moyenne pour les éoliennes d'ancienne génération de 2,8 MW et de 3,5 MW pour les éoliennes nouvelle génération. Ces dernières représentent un peu plus du tiers du nombre de mâts en 2050, et presque la moitié de la production annuelle.

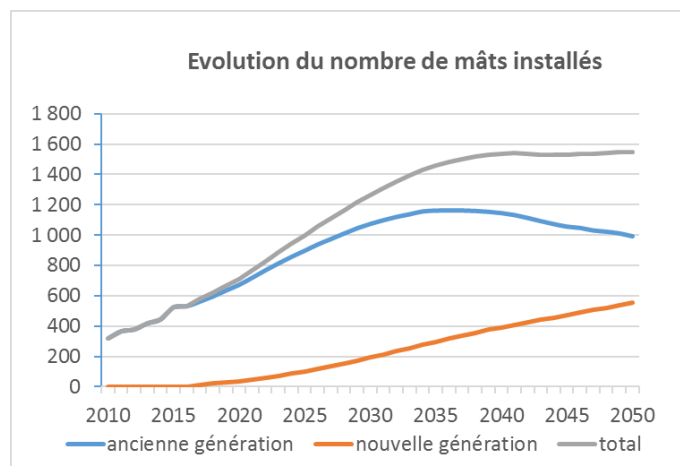


Figure 2-13 : Evolution du nombre de mâts en région Centre-Val de Loire

2.2.1.3. Photovoltaïque

Les résultats de notre scénarisation pour cette filière sont présentés ci-dessous.

	Unité	2 015	2 020	2 030	2 050
Grandes toitures à plat	MW	34	83	335	838
Grandes toitures E ou O faiblement inclinées		0	0	560	1 676
Petites et moyennes toitures, E ou O		75	184	662	1 614
Petites et moyennes toitures, SE à SO		4	10	237	692
Centrale au sol		93	227	417	795
Total		206	504	2 211	5 615
Production annuelle	GWh	255	696	2 383	5 745

Tableau 2-12 : Evolution de la puissance installée et de la production annuelle du photovoltaïque en région Centre-Val de Loire

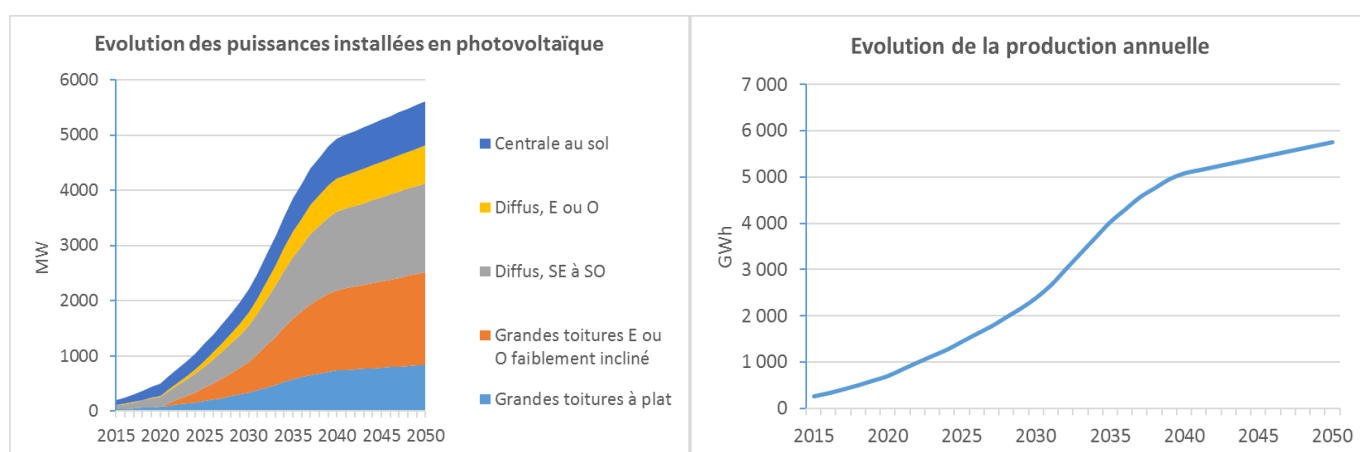


Figure 2-14 : Evolution de la puissance installée et de la production annuelle du photovoltaïque en région Centre-Val de Loire

Le photovoltaïque poursuit son développement de manière soutenue jusqu'en 2040, puis la croissance s'infléchit.

Surface de PV installée	Unité	2 015	2 020	2 030	2 050
Grandes toitures	milliers m ²	340	831	8 954	25 146
Diffus		793	1 940	8 992	23 050
Au sol		926	2 267	4 167	7 955
Total		2 059	5 038	22 113	56 150
m ² installés par habitant	m ² /hab	0,7	1,8	7,7	19,6

Tableau 2-13 : Evolution de la surface photovoltaïque en région Centre-Val de Loire

Le rythme moyen entre 2015 et 2050 se situe 0,56 m²/habitant/an soit un peu plus que la moitié du rythme actuel allemand (environ 1 m² par habitant par an).

Par ailleurs, en supposant un taux de couverture de 30 % par les centrales au sol (30 m² de panneaux sur une parcelle de 100m²), nous obtenons les emprises décrites dans le tableau ci-dessous.

Surface au sol des centrales PV	Unité	2 015	2 020	2 030	2 050
Place occupée	ha	309	756	1 389	2 652

Tableau 2-14: Evolution des surfaces en photovoltaïque au sol en région Centre-Val de Loire

Le développement du photovoltaïque au sol devra bien sûr être privilégié sur les espaces artificialisés plutôt que sur les surfaces agricoles. Ceci précisé, ces 2650 ha de surfaces au sol mobilisées en 2050 pour le photovoltaïque sont à comparer aux 4900 ha (moyenne 2006 - 2014) environ de surfaces artificialisées chaque année en Centre-Val de Loire. La surface mobilisée pour les centrales photovoltaïques au sol ne représente ainsi qu'environ 1 % de ces surfaces artificialisées.

2.2.1.4. Solaire thermique

Les secteurs de développement envisagés pour le solaire thermique, et explicités dans le paragraphe 1.3.7.4 sont :

- Le chauffage solaire (système solaire combiné) en maison individuelle : SSC en MI
- Le chauffe-eau solaire en maison individuelle : CESI en MI
- Le chauffe-eau solaire en logement collectif : CESC en LC
- Le chauffe-eau solaire en tertiaire : CESC en tertiaire
- La fourniture de chaleur dans l'industrie (basse température) : chaleur BT
- La fourniture de chaleur dans l'industrie (moyenne température) : chaleur MT

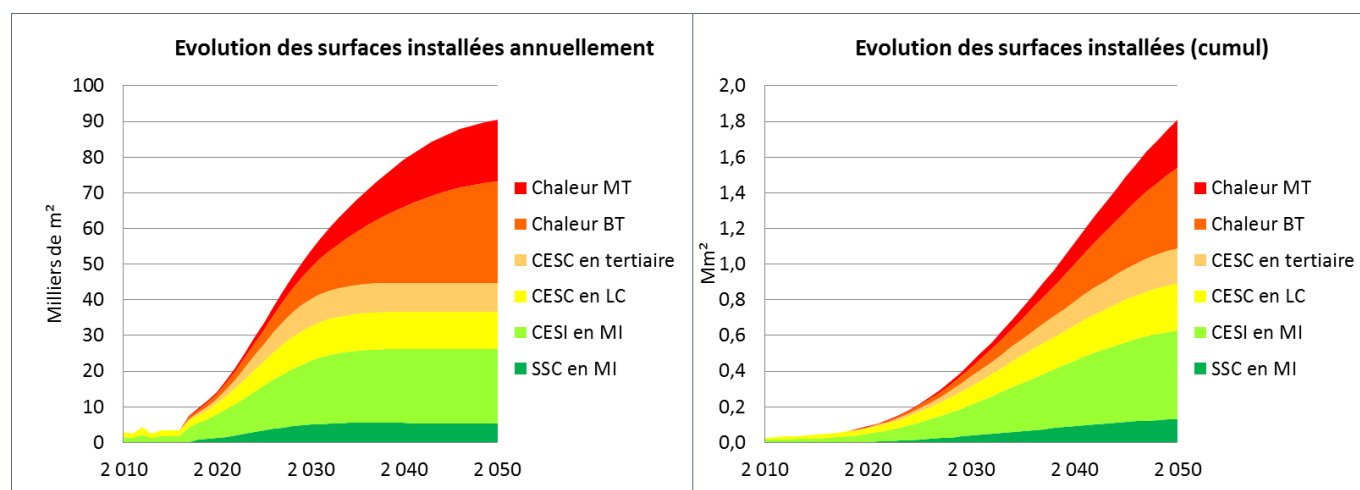


Figure 2-15 : Evolution des surfaces de capteurs solaires thermiques installés pour les différents usages en Centre-Val de Loire

Un potentiel de développement important existe dans le secteur industriel. L'évolution des besoins en chaleur basse et moyenne température a été calculée dans la scénarisation des besoins de l'industrie, décrite au paragraphe 2.1.3.

Pour le solaire thermique, les hypothèses décrites conduisent à une contribution en 2050 de 0,84 TWh pour l'ensemble du secteur solaire thermique, soit presque 5 % des besoins de chaleur des secteurs résidentiel, tertiaire et industrie.

Les graphiques suivants présentent la contribution totale du solaire thermique, pour les différents secteurs.

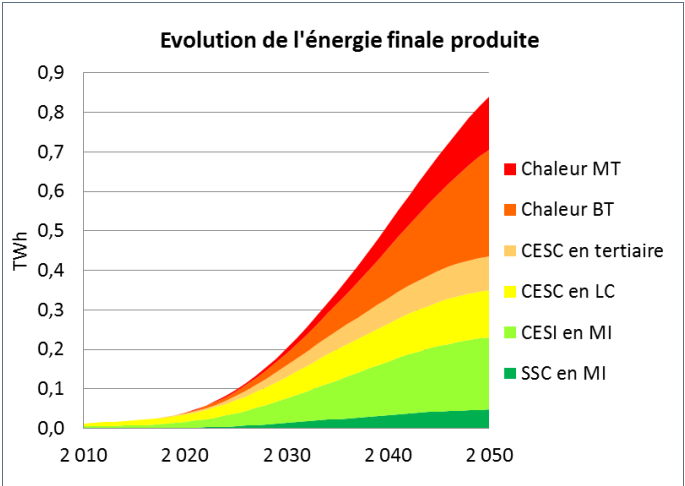


Figure 2-16 : Evolution de l'énergie finale substituée pour les différents usages en Centre-Val de Loire

Pour illustrer les efforts à fournir, le tableau ci-dessous résume les principaux indicateurs de surfaces et de ratios par secteur pour le solaire thermique d’ici 2050. Ils permettent de vérifier notamment que les hypothèses de taux d’équipement et de surfaces unitaires effectuées conduisent à des taux d’occupation des toitures disponibles très faibles, et qu’il n’y a pas de problèmes d’intégration dans le résidentiel.

		2 015	2 020	2 030	2 050
Surface totale de capteurs installés	milliers de m²	34	90	449	1 838
dont surface pour les logements individuels (chauffage et ECS)		17	47	212	630
dont surface pour les logements collectifs (ECS)		17	34	105	265
dont surface pour le tertiaire		0	3	53	195
dont surface pour l'industrie		0	6	79	747
Surface de capteurs solaires par habitant	m²/hab	0,01	0,03	0,16	0,64
Proportion de la surface de toiture pour le logement	%	0,0%	0,1%	0,4%	1,2%

Tableau 2-15 : Evolution des surfaces en solaire thermique et des ratios d’équipement en région Centre-Val de Loire

Pour comparaison, rappelons que l’Autriche disposait en 2010 d’une surface de 4,6 millions de m² panneaux solaires thermiques, soit 0,55 m² par habitant. Le taux d’installation retenu en Centre-Val de Loire sur la période est moins de la moitié de celui observé en Autriche ces dernières années.

2.2.1.5. Géothermie profonde

Dans la scénarisation, nous avons envisagé l’alimentation de 2 réseaux de chaleur fonctionnant à partir de géothermie moyenne énergie, pour une contribution en 2050 de 0,07 TWh. Cette hypothèse correspond au scénario bas de l’étude réalisée par le BRGM en 2012²⁸.

Cette valeur pourrait sans doute être augmentée, mais il faut garder à l'esprit que dans les secteurs résidentiel et tertiaire, nous envisageons une réduction massive de la demande de chaleur, grâce à la rénovation thermique performante des parcs de logements et des bâtiments tertiaires. Les besoins unitaires par bâtiment sont ainsi fortement diminués, et le développement de réseaux de chaleur se heurte au problème de l'investissement important nécessaire, qui conduit à un équilibre financier d'autant plus précaire que la puissance souscrite par chaque consommateur baisse.

Nos hypothèses de développement de la géothermie profonde sont donc volontairement très conservatrices, et correspondent au scénario bas du BRGM²⁹ (le scénario haut permettant de valoriser une quantité d'énergie double).

2.2.1.6. Pompes à chaleur sur l'air extérieur ou en géothermie de surface

Comme nous l'avons expliqué au paragraphe 1.3.7.5, notre modèle regroupe sous le vocable « chaleur prise sur l'environnement » les contributions des sources froides de différents types de pompes à chaleur. Certaines d'entre elles prélèvent cette chaleur sur des aquifères superficiels, ou des sondes verticales ou horizontales, et sont appelées « géothermie très basse énergie »

La scénarisation conduit à un apport de chaleur de l'environnement de 3,9 TWh en 2050. Nous n'avons pas détaillé les parts relatives des différents types de pompes à chaleur (aérothermiques et géothermiques), mais l'augmentation des coefficients de performance envisagée correspond de fait à une diminution, voire une disparition de la part des premières au bénéfice des secondes.

Cette valeur est située entre celles des scénarios bas (2,84 TWh) et haut (15,5 TWh) de l'étude précitée, et représente 25 % de cette dernière valeur.

	Nombre	ktep substituées	Gain en énergie primaire (MWh _{ep})	Tonnes de CO ₂ évitées annuellement
Scénario bas de valorisation				
Opérations très basse énergie	Sur nappes	448	1 947 840	815 910
	Sur sondes	206	894 658	374 754
Réseaux de chaleur	2	6	61 600	13 120
Total		660	2 904 097	1 203 784
Scénario haut de valorisation				
Opérations très basse énergie	Sur nappes	2 823	12 276 262	5 142 274
	Sur sondes	754	3 278 099	1 373 128
Réseaux de chaleur	4	12	123 200	26 240
Total		3 589	15 677 561	6 541 642

Tableau 2-16 : Potentiel de développement de la géothermie en région Centre-Val de Loire

Source : BRGM

Alors que la réalisation de PAC sur aquifère dépend du débit de celle-ci, et doit donc être adaptée aux besoins de chaleur en surface, la ressource n'est pas un facteur limitant pour le développement d'opérations sur sondes géothermiques verticales.

Nous pouvons donc faire l'hypothèse que, pour les opérations géothermiques nouvelles, ce sont prioritairement des sondes qui seront installées, et que 75 % du potentiel haut pourra être mobilisé à l'horizon 2050, le reste étant constitué de PAC sur nappes aquifères.

²⁹ BRGM : Prospectives de développement de la géothermie en région Centre (GEOPOREC), janvier 2012, 148 p

Pendant une dizaine d’années, les PAC aérothermiques sont encore largement utilisées, puis progressivement remplacées par les PAC géothermiques.

Les résultats détaillés sont présentés ci-dessous, en commençant par la puissance et de l’énergie produite.

			2 015	2 020	2 030	2 050
Répartition	Géothermie sur nappes	%	0%	7%	14%	22%
	Géothermie sur sondes		0%	9%	27%	63%
	Aérothermie		100%	84%	59%	15%
Chaleur prélevée sur l'environnement	Géothermie sur nappes	TWh	0,0	0,1	0,4	0,9
	Géothermie sur sondes		0,0	0,1	0,7	2,5
	Aérothermie		0,2	0,9	1,4	0,6
	Total		0,2	1,0	2,5	3,9

Tableau 2-17 : Evolution de la répartition des types de pompes à chaleur en région Centre-Val de Loire

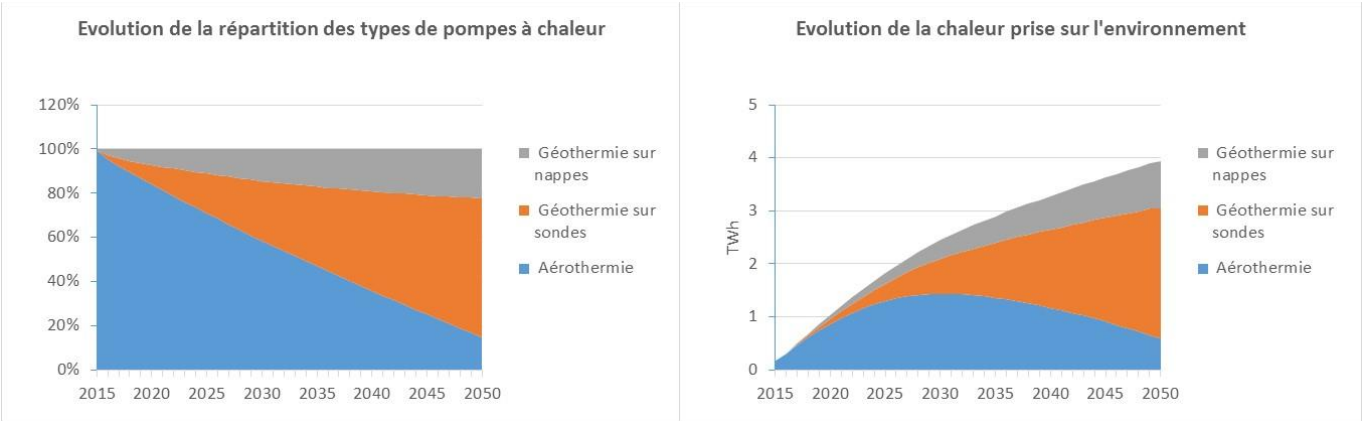


Figure 2-17 : Evolution de la répartition des types de pompes à chaleur en région Centre-Val de Loire

La consommation d’électricité par les pompes à chaleur a été imputée au secteur des bâtiments. Le volume d’électricité consommée est le suivant :

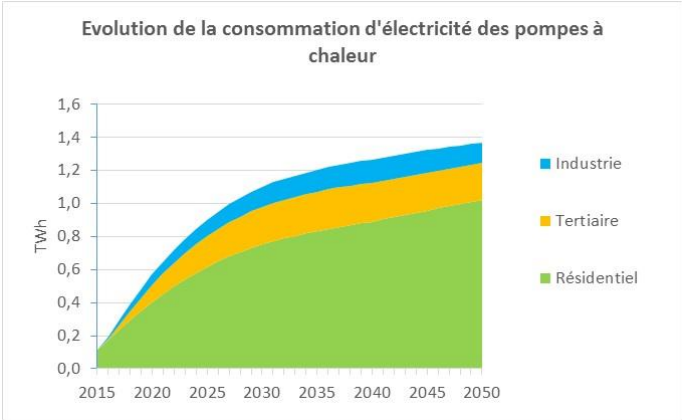


Figure 2-18 : Evolution de la consommation annuelle d’électricité imputable aux pompes à chaleur en région Centre-Val de Loire

2.2.1.7. Synthèse des scénarios pour la production d'énergies renouvelables hors biomasse

L'ensemble des éléments présentés précédemment conduit donc au bilan suivant.

Production annuelle (TWh)	2 010	2 020	2 030	2 040	2 050
Hydraulique	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
Eolien	1,1	3,1	7,3	10,7	12,3
Photovoltaïque	0,0	0,7	2,4	5,1	5,7
Solaire thermique	0,0	0,0	0,2	0,5	0,9
Chaleur environnement	0,1	1,0	2,5	3,3	4,0
Total	1,4	5,0	12,5	19,6	23,0

Tableau 2-18 : Synthèse des productions d'énergie renouvelable hors biomasse

On constate donc qu'en utilisant l'ensemble des potentiels mobilisables des différentes énergies renouvelables (hors biomasse), on multiplie par 9 la production annuelle par rapport à 2015 pour atteindre 23 TWh en 2050.

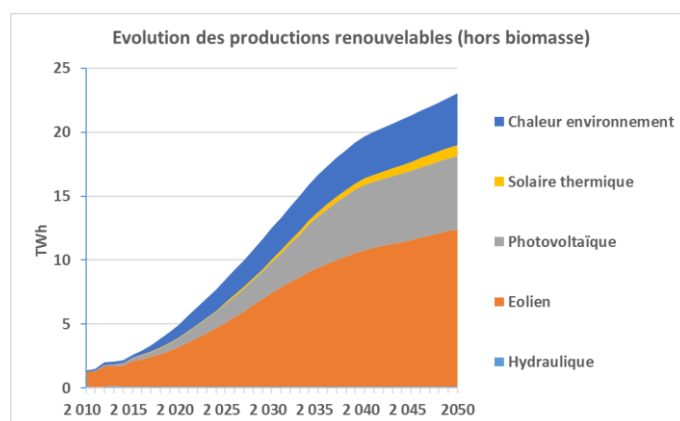


Figure 2-19 : Bilan de l'évolution de la production annuelle régionale des énergies renouvelables hors biomasse en région Centre-Val de Loire

L'éolien et le solaire (photovoltaïque principalement, et thermique dans une moindre mesure) expliquent l'essentiel de cette évolution. En effet, si le potentiel hydraulique est actuellement exploité en quasi-totalité, ce n'est pas le cas du gisement éolien, et du gisement solaire, exploitable en toiture (PV et thermique) et au sol.

On voit ainsi qu'à la production 2012, essentiellement éolienne, s'ajoutent une forte progression de l'éolien et du photovoltaïque, ainsi que la récupération de chaleur sur l'environnement (PAC).

En 2050, l'éolien devient la filière majoritaire dans la production d'énergie renouvelable régionale avec plus de 12 TWh produits chaque année, soit plus de la moitié de la production renouvelable hors biomasse.

2.2.2. Biomasse-énergie, usages des terres

A l'horizon 2050, la biomasse-énergie représente la moitié de l'énergie primaire produite en région Centre-Val de Loire, ce qui constitue à la fois un défi et une opportunité considérable. Pour atteindre cet objectif, le cadre du scénario Afterres2050³⁰ doit être à la base de la stratégie agricole, car une telle révolution doit se faire en améliorant constamment la durabilité environnementale, agronomique et climatique.

Les travaux menés dans le cadre de la régionalisation d'Afterres2050 ont mis en évidence trois pistes d'opportunité pour l'agriculture régionale, qui s'insèrent parfaitement dans le scénario 100 % renouvelable.

La première concerne la diversification agricole. Sont en particulier évoqués :

- Le développement de projets locaux de méthanisation,
- Les gisements éoliens et biogaz susceptibles de constituer des ressources complémentaires pour les agriculteurs,
- Le développement de nouvelles productions et voies de valorisation (fibres textiles, bois énergie, chimie verte, agro matériaux),
- Les formations en développement et diversification,
- La création de valeur ajoutée et d'emplois.

La seconde opportunité faisant l'unanimité est l'essor de la filière bois, du fait :

- de l'importance de la surface boisée,
- du développement du marché du bois,
- de l'image positive du matériau bois.

La troisième opportunité partagée est celle du rapprochement des acteurs des territoires ruraux. Elle se décline en trois points :

- L'ouverture du monde agricole pour travailler en partenariat avec d'autres acteurs,
- Le rapprochement des populations rurales et urbaines,
- La prise de conscience citoyenne (citadins, élus et aménageurs) des enjeux en lien avec l'agriculture

Le paysage agricole et forestier en 2050

En appliquant les hypothèses du scénario Afterres2050 à l'échelle de la région Centre-Val de Loire, on obtient une occupation du territoire proche de celle d'aujourd'hui si l'on s'attache aux grandes catégories. Les principaux « échanges » dans les utilisations des terres concernent les grandes cultures et l'artificialisation, les prairies et la forêt. Le tableau ci-dessous récapitule les principales évolutions du territoire régional entre 2010 et 2050.

³⁰ Source Solagro

Milliers d'hectares	2010	2050	Evolution (1000 ha)	Evolution (%)
Céréales oléo-protéagineux	1 641	1 550	-92	-6%
Cultures industrielles	39	48	9	23%
Vigne	23	28	5	22%
Arboriculture	4	5	1	32%
Maraichage	16	32	16	100%
Cultures fourragères	211	156	-55	-26%
Prairies naturelles	377	350	-27	-7%
Forêts et peupleraies	1 040	1 087	47	4%
Friches, landes, jachères	157	157	-	0%
Eaux et rochers	121	121	-	0%
Sols artificialisés	324	420	96	30%
TOTAL	3 954	3 954		

Tableau 2-19 : Récapitulatif de l'évolution de l'affectation des surfaces

Source : AFTerres 2050

La surface artificialisée sera supérieure de 100 000 ha à celle d'aujourd'hui, contre 200 000 ha dans un scénario tendanciel. Ce sont essentiellement les SAU en grandes cultures qui seront impactées. En revanche, la surface forestière gagnera près de 50 000 hectares, malgré une progression très forte des produits bois : + 40 % pour les bois d'œuvre (et sciages), + 50 % pour les bois d'industrie et + 140 % pour le bois énergie (tous vecteurs confondus : bûches, plaquettes, gaz).

Les prairies naturelles sont réduites de 10 % et les surfaces fourragères sont réduites d'un quart. Cette évolution va de pair avec une réduction du cheptel régional, notamment des élevages granivores "intensifs", et donc avec une modification du régime alimentaire.

Deux phénomènes ont des impacts directs sur les principales productions végétales de la région : la réaffectation des surfaces (transferts, suppressions) et les niveaux de rendements (liés aux systèmes de production).

Il ressort de la version régionale du scénario Afterres2050 que :

- la production de blé est réduite de moitié,
- d'une manière générale, la production de grains est réduite de près de 40 %,
- la production de fourrages hors STH (Surface Toujours en Herbe) augmente de 20 % mais c'est la luzerne qui en assure la part la plus importante (une partie de cette luzerne étant utilisée à des fins énergétiques),
- la production de fourrages de la STH recule de 12 %,
- la production végétale issue des cultures intermédiaires devient très importante dans le « mix végétal » de la région : elle correspond à une production moyenne de 3,5 tMS/ha/an sur la surface de grande culture *via* des couverts hivernaux ou estivaux,
- la production végétale totale augmenterait de 20 %

Développement de projets locaux de méthanisation

Pour diminuer la consommation d'engrais azotés et améliorer l'autonomie des exploitations agricoles qui en découlent, et leur résilience, nous choisissons de substituer l'azote de synthèse par la fixation symbiotique, ce qui consiste à planter des légumineuses dans les rotations, et donc trouver des débouchés pour ces cultures. Pour conserver l'azote sur l'exploitation sans devoir trop augmenter les surfaces de légumineuses, il faut trouver des voies qui permettent d'utiliser la valeur de ces plantes en restituant l'intégralité de l'azote, ce qui est le cas de la méthanisation. Aussi l'insertion de légumineuses dans les rotations, au titre de cultures "principales", relève de la même fonction que les cultures dites intermédiaires ou dérobées, avec comme atout supplémentaire d'offrir des rendements plus stables que les cultures intermédiaires.

La méthanisation constitue un moyen efficace d'optimiser la valeur agronomique des « engrais de ferme » dans la mesure où elle assure la minéralisation de l'azote contenu dans les matières organiques, particulièrement pour le fumier. Par ailleurs, Le « bilan humique » de la méthanisation est équivalent à celui d'un épandage direct. Le consortium de microorganismes présents dans les digesteurs ne décompose pas la lignine, principal facteur de formation de l'humus.

En grandes cultures, dans les régions où l'élevage est devenu marginal, la méthanisation des couverts et des résidus de culture, voire de cultures de légumineuses, permet donc de produire l'équivalent d'un fumier à partir de végétaux uniquement. Le méthaniseur agissant en effet comme un système digestif de ruminant, le digestat issu de matières végétales, pailles comprises, possède les propriétés agronomiques et fertilisantes d'un fumier. Les seules fournitures primaires d'azote dans l'agrosystème proviennent des engrais de synthèse et de la fixation symbiotique. Tous les autres flux d'azote – provenant des déjections d'élevage, des résidus de culture – ne sont que des modes de recirculation.

La méthanisation est un moyen de stocker les engrais verts sans perte de leur valeur azotée. Ce "fumier végétal" présente des caractéristiques similaires à celles des engrais de ferme traditionnel, il représente l'une des rares voies totalement autonome (sans recours à des apports extérieurs) de fourniture d'azote assimilable dans les systèmes sans élevage.

Un tel changement dans les pratiques suppose le développement de projets collectifs de méthanisation. En effet, une unité de méthanisation nécessite des investissements très conséquents, et les effets d'échelle sont substantiels. Dans leur grande majorité, les installations en fonctionnement en France dépassent une puissance de 100 kW électrique, et le développement de la méthanisation « à la ferme » se situe plutôt dans la gamme de 150 à 250 kW électrique.

Pour pouvoir alimenter une unité de 100 kW, il faut disposer de fumier produit par 300 vaches. Un agriculteur qui se lance dans un tel projet doit donc posséder un troupeau important, ou chercher des sous-produits méthanogènes, dont il sera alors dépendant. En outre, la production d'énergie dépasse de loin les besoins en chaleur sur une ferme, et même sur le village alentours.

Une autre approche consiste à bâtir des projets collectifs, qui permettent alors à tout agriculteur d'avoir accès à une unité de méthanisation, quelles que soient la taille et l'orientation technico-économique de son exploitation. Il existe des collectifs importants, de plus d'une centaine d'agriculteurs, et des très petits, à moins d'une dizaine. Il n'existe pas de forme – ni de taille - idéale, chaque projet s'inscrit dans un contexte agricole et culturel particulier. Les revenus stables tirés de la méthanisation offrent une sécurité que ne permettent plus aujourd'hui les prix agricoles.

Production de carbone renouvelable

Une partie de la biomasse agricole et la biomasse forestière prélevée servent à fournir de l'énergie (sous différentes formes) et des matériaux pour se substituer aux sources fossiles de carbone.

Parmi les principales sources de biomasse on trouve :

- L'exploitation des ressources forestières à hauteur de 70 % de l'accroissement
- La valorisation des déchets de bois
- La valorisation des bois hors forêt : haies – agroforesterie (près de 150 000 ha)
- L'utilisation des résidus de cultures (pailles) :
 - Comme matériau : 15 % des pailles
 - En méthanisation : 30 % des pailles
- L'utilisation des cultures intermédiaires en méthanisation : 33 %
- L'utilisation partielle des surplus d'herbe et des surfaces de luzerne, en méthanisation
- Les déjections d'élevage maîtrisables.

Au final, la région Centre-Val de Loire multiplie par 3 sa production de carbone renouvelable.

Le tableau ci-après présente les principaux résultats (exprimés en PétaJoules, PJ) de production de carbone renouvelable issu du scénario Aferres2050 en région Centre-Val de Loire. Nous avons mis en valeur la biomasse-énergie régionale et son évolution à l'horizon 2050. La répartition entre les différentes biomasses peut être amenée à varier en fonction des choix qui seront faits ou des contraintes externes (climat, géopolitique, économie, etc.).

CARBONE RENOUVELABLE (PJ)	2010	2050	Evolution
Bois d'œuvre (sciages) issu de la forêt	6	8	40%
Produits connexes de scierie matière	3	3	0%
Produits connexes de scierie énergie	3	5	79%
Bois d'industrie issu de la forêt	7	11	49%
Bois énergie issu de la forêt	12	30	139%
Bois d'œuvre issu de l'agroforesterie	0	4	
Menu bois issu de l'agroforesterie	2	9	273%
Biogaz de déjections d'élevage	0	4	
Biogaz ex-prairie	0	3	
Cultures intermédiaires méthanisées	0	17	
Cultures fourragères dédiées azote-énergie	0	3	
Résidus de culture méthanisés	0	12	
Résidus de culture usage combustion	0	2	
Résidus de culture usage matériaux	0	17	
Déchets alimentaires	0	1	193%
Déchets de bois	9	12	39%
Biomasse énergie en PJ	27	96	254%
Biomasse matériau en PJ	16	42	170%
TOTAL	43	137	223%

Tableau 2-20 : Evolution de la production de carbone renouvelable

Biomasse solide	Biogaz
-----------------	--------

Source : Aferres 2050

2.3. Le nucléaire

Dans les deux scénarios présentés ci-après (transition et tendanciel), les hypothèses retenues pour le Région s'inscrivent dans les trajectoires des scénarios nationaux correspondant, en extrayant les données relatives au contexte local.

2.3.1. Scénario de transition

Dans un scénario ambitieux de transition énergétique vers les énergies renouvelables, l'effort de développement de ces dernières et de maîtrise de la consommation d'électricité conduit à la fermeture progressive des réacteurs nucléaires. Cette fermeture se doit d'être maîtrisée sur le plan de la sécurité d'approvisionnement, de la sûreté nucléaire, des coûts et des conséquences pour l'économie, en particulier des emplois.

Le lissage dans le temps des fermetures de réacteurs constitue, à l'échelle d'un territoire comme la région Centre-Val de Loire, un élément nécessaire à cette maîtrise. Cet objectif se heurte toutefois à deux obstacles. Le premier tient à l'effet de « falaise » observé au niveau national, mais aussi régional, dans la pyramide des âges des réacteurs : les douze réacteurs concernés ont été mis en service en à peine plus de huit ans. Le second porte sur l'échéance de la quatrième visite décennale qui s'approche pour ces réacteurs, qui comptent entre 28 et 36 ans de fonctionnement. La décision sur la prolongation de leur exploitation au-delà de 40 ans devra être prise, réacteur par réacteur, entre 2022 et 2031.

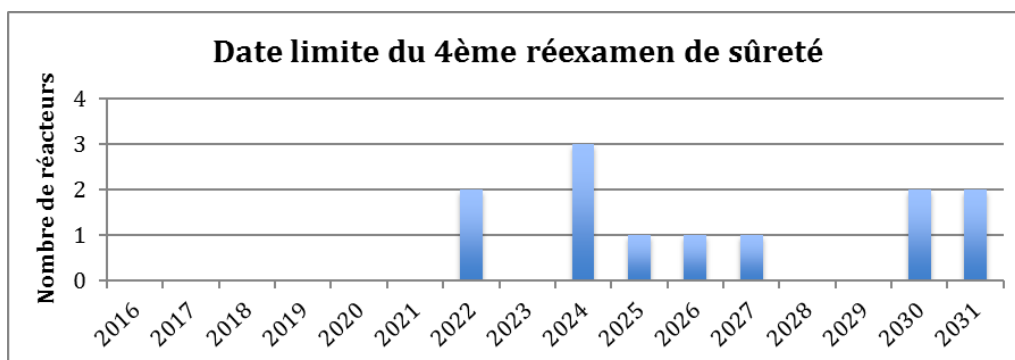


Figure 2-20 : Date limite du 4^{ème} réexamen de sûreté

Or, cette prolongation nécessiterait d'importants investissements, notamment pour répondre aux exigences de l'ASN de s'approcher des standards de sûreté applicables à de nouveaux réacteurs comme l'EPR. Il ne peut donc s'agir d'une prolongation pour quelques années, mais d'au moins dix, voire vingt ans, afin de rentabiliser ces investissements. Dans un scénario de transition, ces investissements ne sont pas réalisés, et les réacteurs s'arrêtent donc après une quarantaine d'années d'exploitation.

L'application stricte de ce calendrier conduirait toutefois à des fermetures très rapprochées sur chacun des sites, où les centrales ont été mises en service par paire. Un lissage temporel, anticipant par exemple d'un ou deux ans les premiers arrêts, et un lissage local entre les réacteurs de chaque site permet de mieux répartir l'impact local des fermetures, notamment du point de vue de l'adaptation progressive du réseau de transport d'électricité et de l'impact économique.

En particulier, pour une meilleure gestion de l'impact sur les emplois locaux, s'articulant autant que possible avec les départs en retraite des personnels actuellement employés dans les centrales, un écartement des dates de fermeture des réacteurs d'un même site est privilégié.

Calendrier de fermetures avec lissage	
Belleville 1	2031
Belleville 2	2029
Chinon B1	2023
Chinon B2	2027
Chinon B3	2028
Chinon B4	2030
Dampierre 1	2020
Dampierre 2	2021
Dampierre 3	2024
Dampierre 4	2025
Saint-Laurent B1	2026
Saint-Laurent B2	2022

Tableau 2-21 : Calendrier de fermetures avec lissage

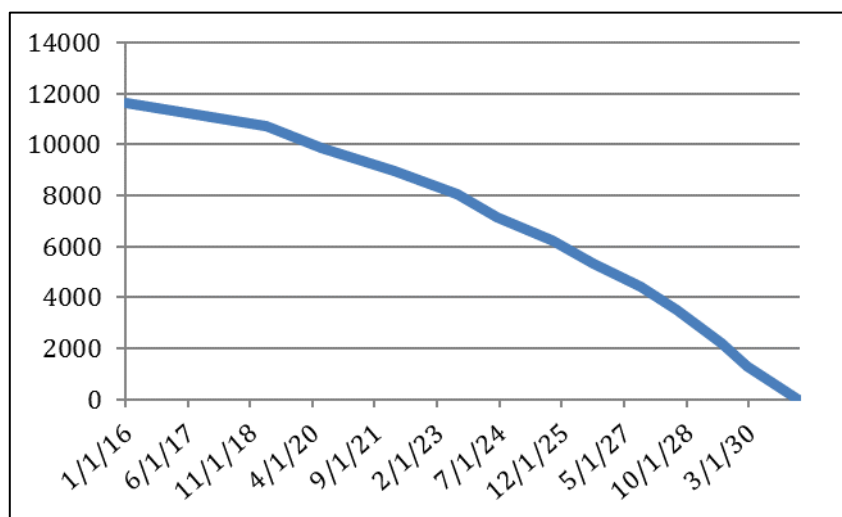


Figure 2-21 : Evolution de la puissance (MW)

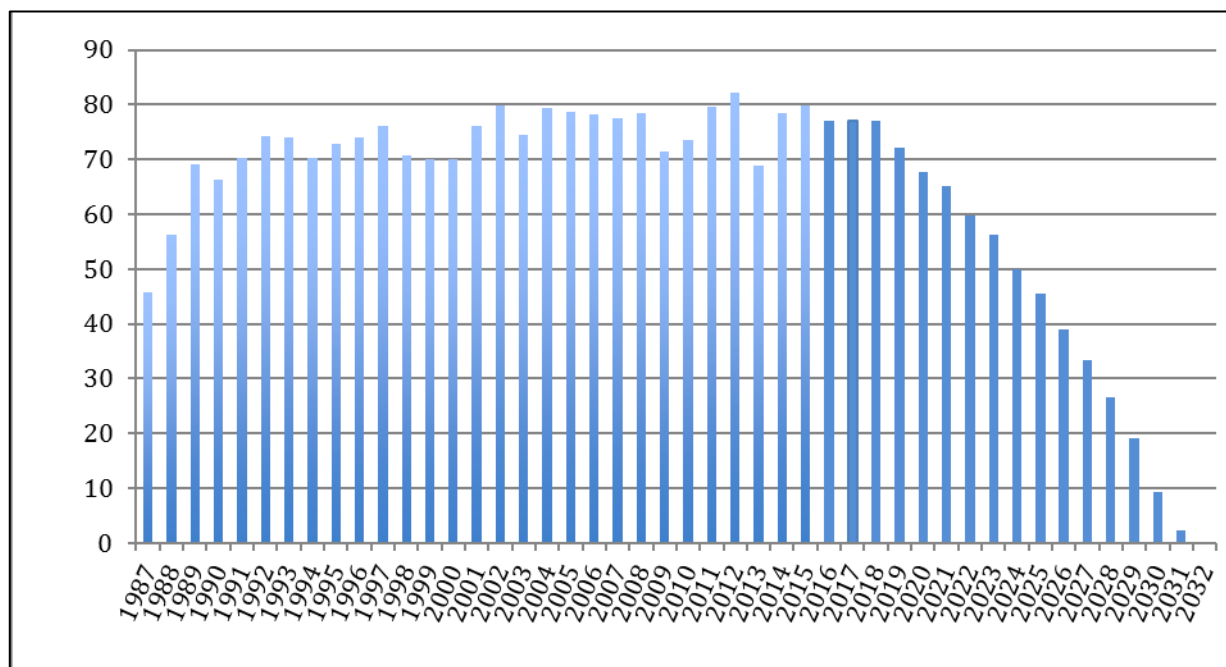


Figure 2-22 : Production annuelle (TWh)

Le scénario retenu conduit à la fermeture définitive de l'ensemble des réacteurs de la région entre 2020 et 2031. La centrale de Dampierre est mise à l'arrêt définitif entre 2020 et 2025. Celle de Saint-Laurent entre 2022 et 2026. A Chinon, le premier réacteur s'arrête définitivement en 2023, et le dernier en 2030. Enfin, la centrale de Belleville arrête ses réacteurs en 2029 et 2031. A partir de cette date, la région Centre-Val de Loire ne produit plus d'électricité d'origine nucléaire.

2.3.2. Scénario tendanciel

Le scénario de transition est à comparer à une trajectoire tendancielle de l'évolution du parc nucléaire en région Centre-Val de Loire. Pour déterminer cette trajectoire, un certain nombre d'hypothèses sont nécessaires. On considère tout d'abord que l'objectif de ramener à 50 % la part du nucléaire dans la production d'électricité en 2025, inscrit dans la loi de transition énergétique pour la croissance verte, doit être traduit à l'échelle régionale. Cet objectif se traduit par une réduction d'un tiers de la production nucléaire à l'échelle de la région. En considérant la moyenne de production des dix dernières années, une réduction d'un tiers revient à viser une production d'environ 51 TWh. Cependant, en l'absence de décisions à l'heure actuelle, on considère que cet objectif ne sera atteint qu'aux alentours de 2030.

Cet objectif est atteint grâce à une combinaison d'arrêts définitifs de réacteurs, de prolongation de la durée de fonctionnement de réacteurs jusqu'à 60 ans et de constructions de réacteurs. En raison des investissements nécessaires à une prolongation de durée de fonctionnement, les réacteurs qui seront prolongés le seront de 20 ans après leur quatrième visite décennale. En ce qui concerne les constructions de nouveaux réacteurs, on considère des réacteurs de 1600 MW (type EPR) avec un taux de production de 86 %. Les constructions sont étalées dans le temps et sur les sites, avec une durée de construction retenue de 9 ans.

Les arrêts, prolongations et nouvelles constructions sont gérées de manière à conserver deux réacteurs par site sur les sites qui continueront à produire de l'électricité, afin d'éviter de devoir maintenir un site avec un seul réacteur, ce qui permet d'optimiser les coûts d'exploitation.

Deux centrales sont amenées à cesser de fonctionner. Il s'agit des centrales de Dampierre et de Saint-Laurent. La centrale de Dampierre est mise à l'arrêt définitif sans prolongation de la durée de fonctionnement des réacteurs, entre 2021 et 2025. A Saint-Laurent, la durée de fonctionnement des deux réacteurs est prolongée de 20 ans. Ils sont définitivement mis à l'arrêt en 2044 et 2046.

Les deux autres centrales de la région restent en activité au-delà de 2050. A Belleville, un nouveau réacteur est construit entre 2022 et 2031. A sa mise en service, le réacteur n°1 actuellement en fonctionnement est mis à l'arrêt définitif, sans prolongation d'exploitation. Le réacteur n°2 est prolongé de 20 ans après sa quatrième visite décennale. A partir de 2041, la construction d'un deuxième réacteur EPR commence. Il sera mis en service en 2050, lorsque le réacteur n°2 actuel sera mis à l'arrêt définitif. A Chinon, deux réacteurs seront mis à l'arrêt définitif sans prolongation de la durée de fonctionnement en 2030. Les deux autres réacteurs verront leur durée d'exploitation prolongée de 20 ans. Deux réacteurs seront construits à partir de 2021 et 2037, afin d'entrer en exploitation au moment de l'arrêt des deux premiers réacteurs pour l'un et des deux derniers réacteurs pour l'autre.

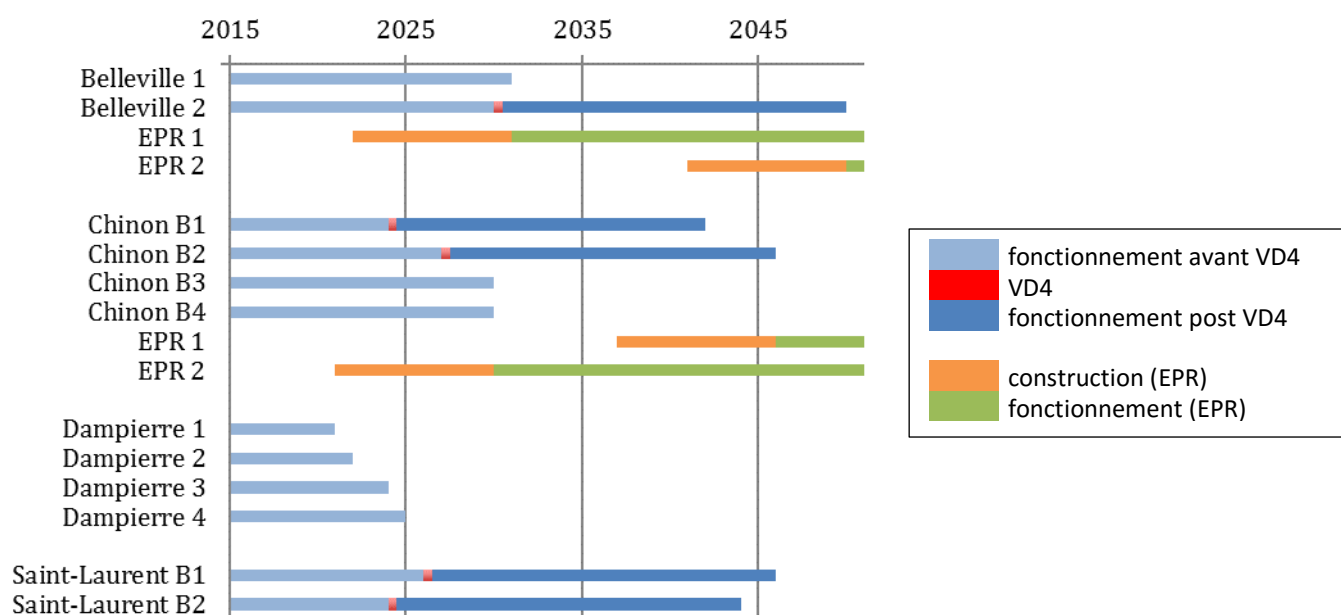


Figure 2-23 : Diagramme d'évolution temporelle des tranches nucléaires³¹

Au total, en région Centre-Val de Loire, 7 réacteurs sont arrêtés après environ 40 années d'exploitation, 5 réacteurs voient leur durée de fonctionnement prolongée de 20 ans pour atteindre environ 60 ans d'exploitation, et 4 nouveaux réacteurs sont construits, répartis sur deux sites.

La production atteint 53 TWh en 2026, soit un peu plus que les 51 TWh visés. La mise en service de deux EPR en 2030 et 2031, plus puissants, conduit à une légère augmentation de la production jusqu'à 56,3 TWh, puis les nouvelles fermetures permettent de faire baisser la production.

³¹ VD4 = 4^{ème} visite décennale

A partir de 2050, avec 4 EPR en exploitation et plus aucun réacteur actuel en fonctionnement, la production s'établit à 48 TWh.

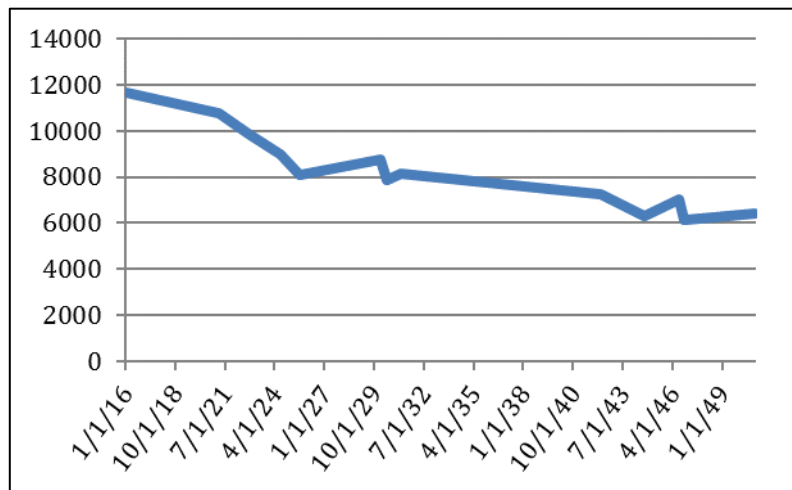


Figure 2-24 : Puissance (MW)

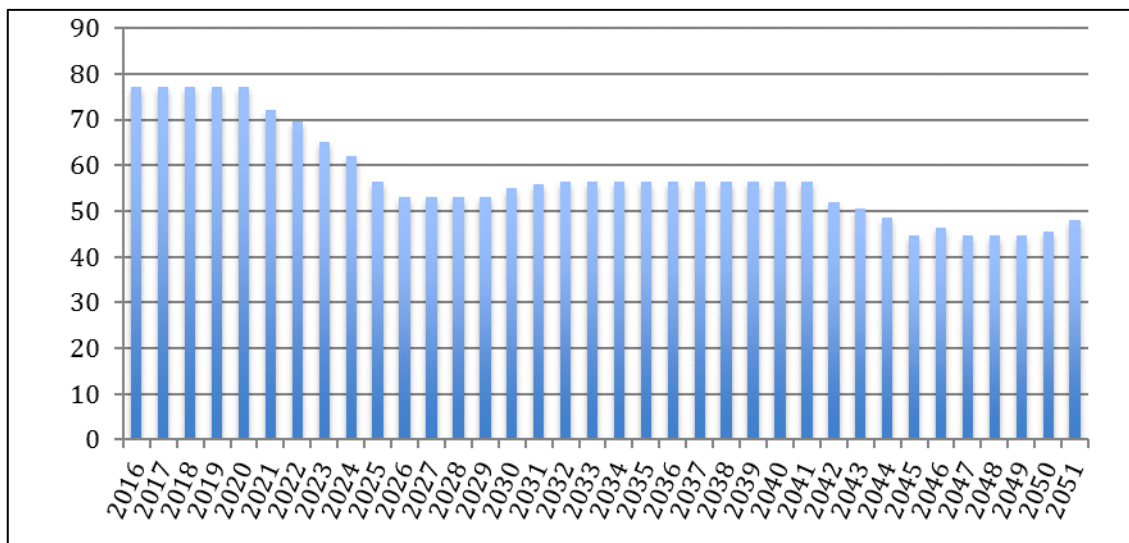


Figure 2-25 : Production annuelle (TWh)

2.3.3. Conséquences sur les impacts et les risques

2.3.3.1. Évolution sur les rejets

En ce qui concerne le scénario tendanciel, les rejets devraient évoluer en proportion de l'évolution de la puissance installée du parc. Pour le scénario de transition, les rejets liés au fonctionnement des réacteurs devraient fortement baisser, jusqu'à devenir nuls lorsque l'ensemble du parc régional sera à l'arrêt définitif.

Les rejets issus du démantèlement sont globalement inférieurs à ceux des installations en fonctionnement.

La fermeture des réacteurs conduit également à une baisse des rejets en dehors de la région. En effet, l'arrêt des besoins en combustible conduit à une baisse d'activité de l'ensemble des installations de la chaîne du combustible.

2.3.3.2. Évolution sur les déchets et le démantèlement

La fermeture de réacteurs conduit à une évolution des déchets produits, à la fois en nature et en quantités. Globalement, on peut attendre une baisse des quantités de déchets moyenne et haute activité à vie longue. Notons cependant qu'en situation d'arrêt du nucléaire à l'échelle nationale, l'ensemble des combustibles usés actuellement considérés comme matières valorisables pourraient être requalifiés en déchets. Le stock de déchet augmenterait alors considérablement. Cependant, ces matières existent déjà. L'augmentation ne traduirait pas une hausse de la production de déchets mais une évolution de la comptabilité des substances radioactives.

Au contraire, les volumes de déchets de très faible et faible activité devraient considérablement augmenter. Cette augmentation interviendra quel que soit le scénario, indépendamment de la date à laquelle les réacteurs seront arrêtés, et démantelés. Dans le scénario de transition, ces démantèlements et la production de déchets associée interviennent plus tôt et de manière plus rapprochée que dans le scénario tendanciel.

2.3.3.3. Évolution sur le risque d'accident

Le scénario tendanciel se traduit par un maintien, voire une augmentation du risque d'accident. D'une part, le maintien de réacteurs en fonctionnement induit un maintien du risque qu'un accident ait lieu sur une installation. D'autre part, le vieillissement des installations conduit à une augmentation du risque de défaillance. Ce vieillissement concerne à la fois les centrales nucléaires, en région Centre-Val de Loire ou ailleurs, et les installations de la chaîne du combustible situées hors de la région. La mise en service de nouveaux réacteurs de type EPR conduirait en théorie à diminuer le risque, dans la mesure où ils sont conçus pour avoir une sûreté renforcée. Cependant, aucun de ces réacteurs ne fonctionnent pour le moment, il existe donc une importante incertitude sur le degré réel de renforcement de la sûreté. De plus, en raison de leur puissance, le potentiel de danger est augmenté puisque les quantités de matières radioactives en jeu seront plus importantes.

Le scénario de sortie se traduirait par une réduction des risques d'accidents au fur et à mesure de la mise à l'arrêt définitif des installations. Le risque ne serait pas nul pour autant puisque le démantèlement des installations et la gestion des déchets peuvent conduire à des accidents.

2.3.3.4. Évolution sur les transports

Dans le cas d'un scénario tendanciel, la nature des transports ne devrait pas évoluer de manière significative. Une réduction du nombre de transports devrait être observée en raison de la baisse d'un tiers de la production nucléaire. La réduction du nombre de site à terme modifierait également les itinéraires.

Les transports connaîtraient une évolution significative de la nature et des quantités de matières déplacées dans le cas d'un scénario d'arrêt de la production d'électricité nucléaire.

En ce qui concerne les transports de combustible, la région verrait un arrêt des transports de combustibles neufs vers les centrales de la région au fur et à mesure de leur mise à l'arrêt.

Ce type de transports pourrait néanmoins perdurer entre les usines de fabrication du combustible et le Magasin interrégional de Chinon et entre ce magasin et les centrales des autres régions, dans le cas où cette installation d'entreposage serait maintenue en service.

Pour les deux scénarios, suivant le calendrier de mise à l'arrêt définitif des installations qui leur est propre, on assisterait aux évolutions suivantes :

- Les combustibles usés seraient probablement transférés vers La Hague ou vers une nouvelle installation d'entreposage pour permettre le démantèlement des tranches arrêtées. Les transports de combustibles usés pourraient donc augmenter pendant quelques années, le temps de vider les piscines d'entreposage du combustible des centrales. Ensuite, ces transports disparaîtraient dans la région (elle pourrait cependant être traversée par ce type de transport en provenance de centrales d'autres régions).
- Une fois le démantèlement commencé, les transports dépendront de la stratégie d'entreposage retenue. Si l'ensemble des déchets de démantèlement est envoyé vers un centre de stockage extérieur à la région, le nombre de transports de déchets de faible et très faible activité augmenterait considérablement.

2.4. Synthèse des résultats

La présente section synthétise l'ensemble des résultats du scénario régionalisé.

2.4.1. *Energie finale*

Dans le scénario tendanciel, la consommation d'énergie finale par habitant est en légère diminution à l'horizon 2050, malgré l'augmentation de la population régionale. Cette évolution est une nouveauté dans la mesure où, jusqu'à présent, les principaux scénarios tendanciels envisageaient toujours une augmentation de la consommation.

On sait maintenant que la consommation d'énergie finale n'est pas nécessairement corrélée aux grands indicateurs que sont la population ou le PIB, si l'on met en œuvre des actions d'économie d'énergie pertinentes.

Dans le scénario 100 % ENR, les actions en sobriété et efficacité permettent une forte baisse des consommations en énergie finale (environ 40 %). Rappelons que cette baisse des *consommations d'énergie finale* ne signifie pas une baisse des *services énergétiques rendus*. Pour ne prendre qu'un exemple, un bâtiment bien isolé consommera à la fois beaucoup moins d'énergie et sera beaucoup plus confortable.

Ces réductions de consommations d'énergie finale sont de l'ordre de 17 TWh en 2050 pour la sobriété, et 13 TWh pour l'efficacité, pour une consommation en 2010 de plus de 80 TWh. Ces gains sont différents en fonction des secteurs (voir détails plus bas).

Les graphiques et tableaux ci-dessous synthétisent ces résultats.

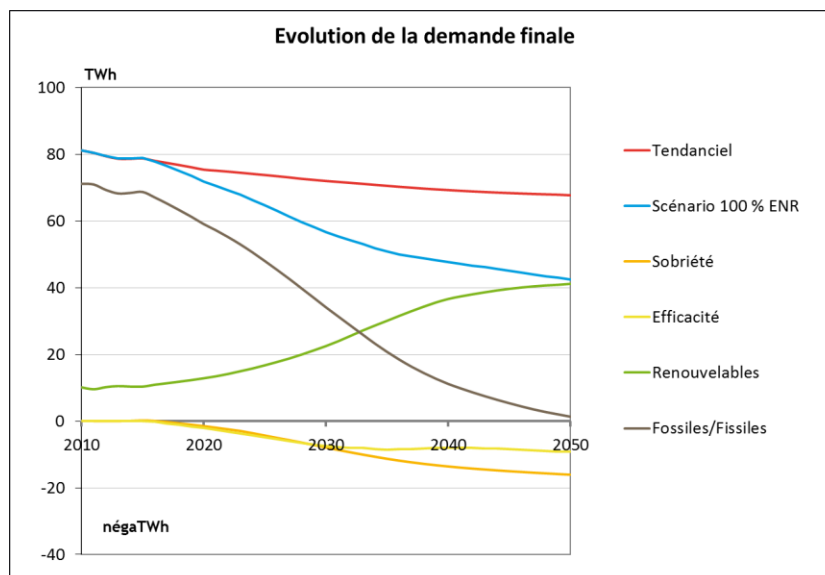


Figure 2-26 : Evolution des consommations d'énergie finale en région Centre-Val de Loire

Consommations totales d'énergie finale (TWh)	2012	2020	2030	2050	Evolutions de consommations		
Scénario					2012-2020	2012-2030	2012-2050
100 % ENR	79	72	57	43	-10%	-29%	-46%
Tendanciel	79	75	72	68	-5%	-9%	-15%

Tableau 2-22 : Synthèse des consommations d'énergie finale en région Centre-Val de Loire

2.4.1.1. Synthèse par secteurs

Le graphique suivant présente les évolutions de consommations d'énergie finale par secteur, ainsi que la contribution des actions de sobriété et d'efficacité sur l'offre et la demande par rapport au scénario tendanciel. L'efficacité sur la demande porte sur les appareillages consommateurs d'énergie (véhicules, électroménager, éclairage, bureautique, process industriels de fabrication, ...), alors que l'efficacité sur l'offre porte sur les unités de production d'énergie.

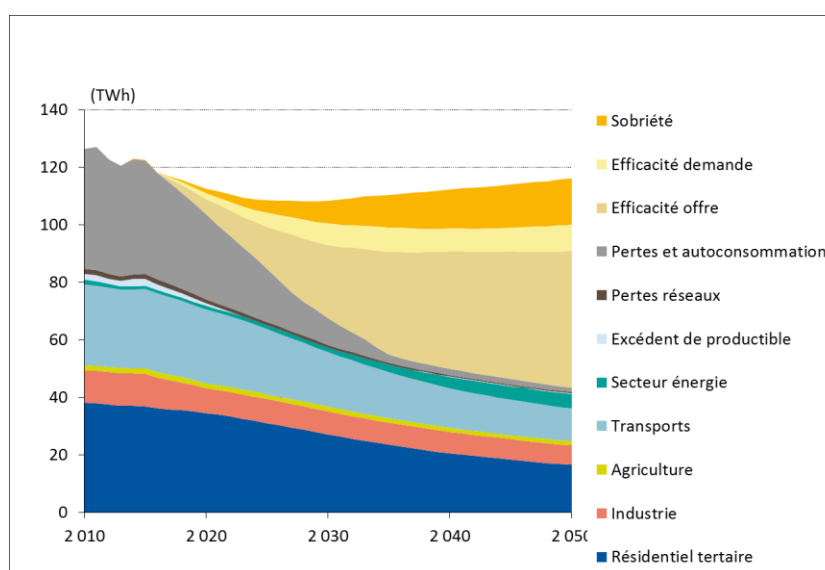


Figure 2-27 : Synthèse des consommations d'énergie par secteur en région Centre-Val de Loire (scénario 100 % ENR)

La part « efficacité sur l'offre », très importante, est directement liée à la forte réduction des « pertes et autoconsommations » du système énergétique, due principalement à la fermeture des centrales nucléaires et à leur remplacement par des systèmes de production d'énergie renouvelable efficace (pour une unité d'électricité produite, deux unités de chaleur sont perdues dans l'air, les fleuves ou l'océan, ce qui représente aujourd'hui à l'échelle nationale une quantité de chaleur équivalente à la consommation de chauffage de tous les bâtiments français).

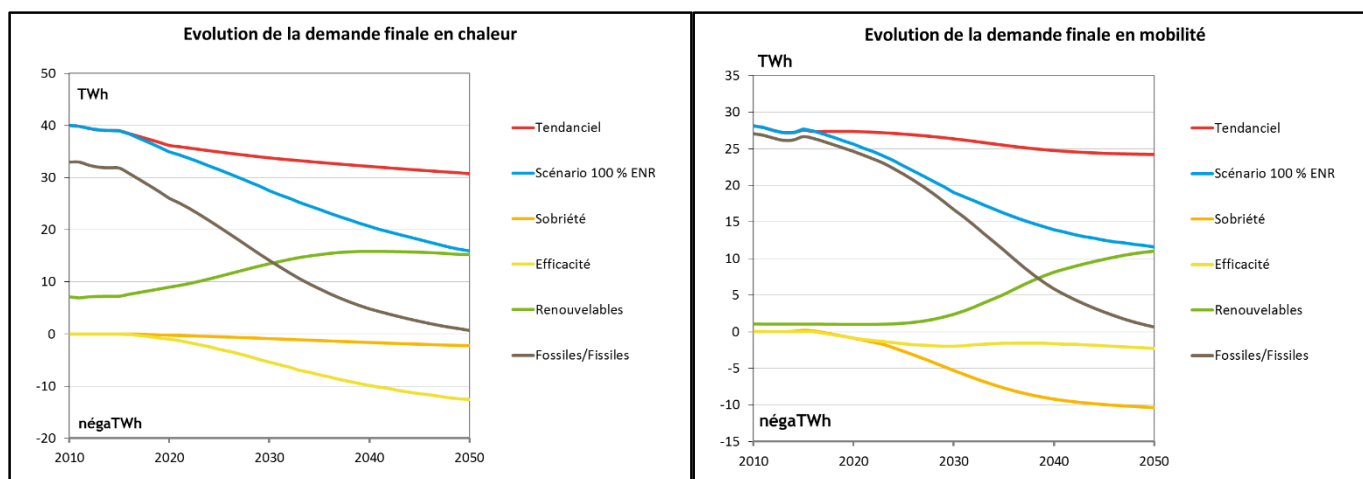
2.4.1.2. Synthèse par usage énergétique

Les graphiques par usage énergétique (chaleur, mobilité, électricité spécifique) sont présentés ci-dessous.

Pour l'usage chaleur (lié aux bâtiments et à l'industrie), la plus grande part de réduction de la consommation à moyen et long terme vient de l'efficacité énergétique – le programme de rénovation thermique des bâtiments, et en particulier des logements d'avant 1975, en constitue la plus grande part. La couverture par les énergies renouvelables s'approche de 100 % en 2050.

Pour la mobilité, c'est par contre la sobriété qui représente la plus grande part des économies d'énergie par rapport au tendanciel (maîtrise du nombre de km parcourus notamment). C'est l'usage le plus problématique en termes de couverture des besoins par les énergies renouvelables. Cependant, les évolutions envisagées, avec conversion massive de la carburation des véhicules terrestres vers le méthane renouvelable, permettent de réduire très fortement la consommation de carburants fossiles en 2050. Restent essentiellement ceux nécessaires les transports aériens qui consomment du kérosène.

Pour l'électricité spécifique, les gains de sobriété et efficacité sont relativement proches. C'est finalement l'usage le moins complexe à couvrir grâce aux énergies renouvelables : les 100 % de couverture sont quasiment atteints avant 2040.



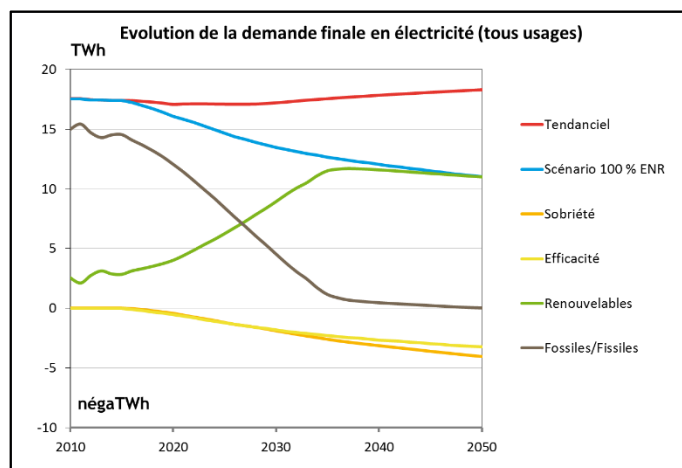


Figure 2-28 : Synthèse des consommations d'énergie par usage en région Centre-Val de Loire

2.4.2. En énergie primaire

Les consommations en énergie primaire sont présentées dans les graphiques ci-dessous.

Le scénario tendanciel en énergie primaire montre des consommations assez stables, quoique légèrement décroissantes, de pétrole et de gaz, et le parc nucléaire est renouvelé. La consommation de charbon baisse légèrement, et l'augmentation de consommation d'énergie est finalement compensée par l'augmentation de production tendancielle d'énergie renouvelable.

Dans le scénario 100 % ENR, la production d'énergie renouvelable est beaucoup plus volontariste (surtout visible après 2030 par rapport au tendanciel), mais surtout les actions de sobriété et d'efficacité associées permettent une sortie du nucléaire en 2033 et une disparition quasi complète des consommations de pétrole, de gaz et de charbon. Le talon de charbon restant est utilisé dans l'industrie, et le talon de pétrole et de gaz principalement dans les transports (kérosène pour les avions, gasoil et essence pour quelques véhicules individuels en zones rurales notamment).

Nous retrouvons par ailleurs les mêmes gains de sobriété et d'efficacité sur l'offre et la demande du graphique par secteur (ci-dessus).

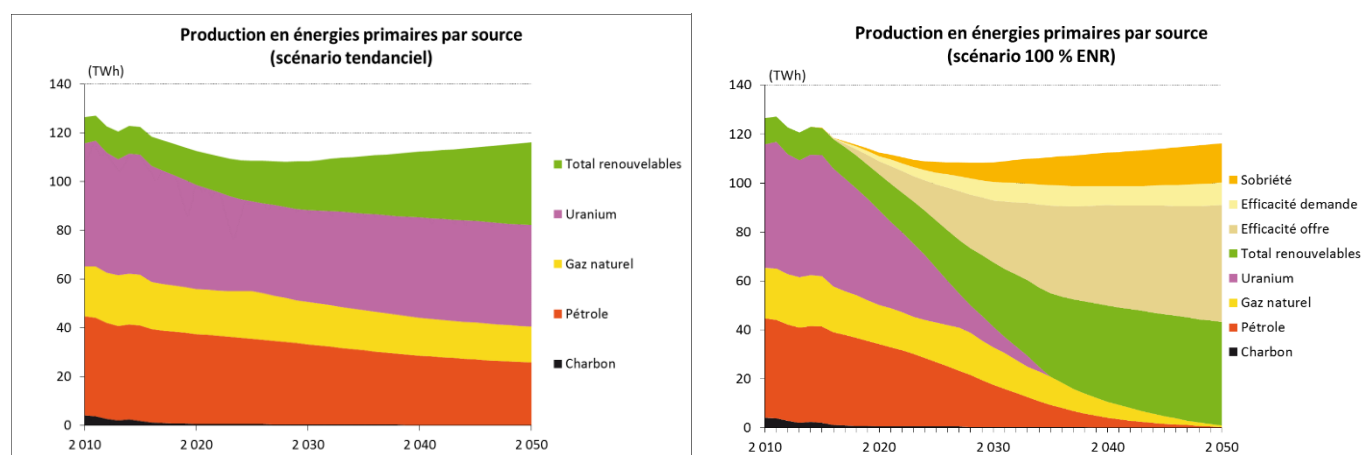


Figure 2-29 : Synthèse des consommations d'énergie primaire dans les scénarios tendanciel (à gauche) et 100 % ENR (à droite) en région Centre-Val de Loire

Le graphique ci-dessous présente le même type de résultats, avec plus de détails sur les productions d'énergie renouvelable.

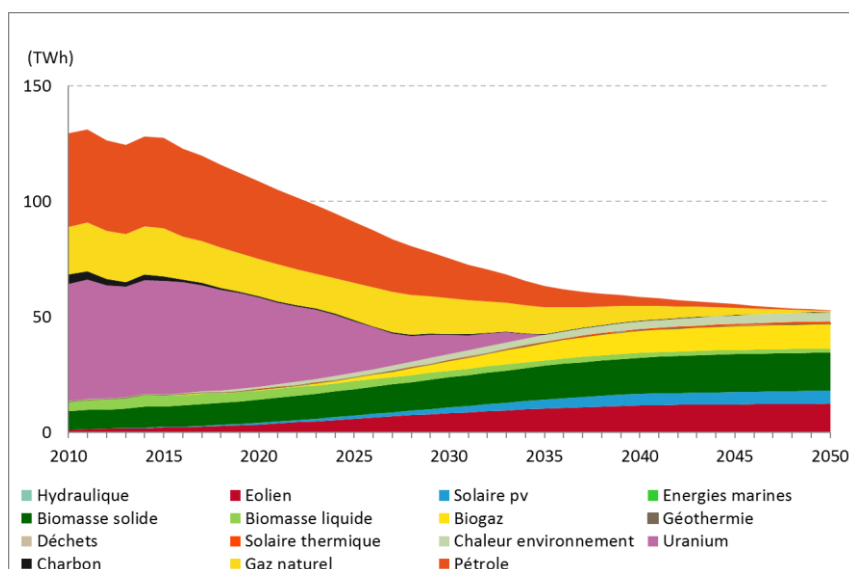


Figure 2-30 : Evolution des consommations d'énergie primaire en région Centre-Val de Loire, par source d'énergie, dans le scénario 100 % ENR

2.4.3. Synthèse de la production d'énergie

Les évolutions de production d'énergie renouvelable au niveau régional dans le scénario 100 % ENR sont détaillées ci-dessous. Deux graphiques sont présentés : celui de gauche illustre les disponibilités en énergie renouvelable sur le territoire, celui de droite montre la part réellement consommée sur le territoire. La différence correspond aux exportations (éolien, biomasse solide et liquide, et dans une moindre mesure biogaz et PV) ou aux importations (énergies marines, hydraulique).

Ces exportations/importations résultent d'une part d'une situation favorable de la région en termes de ressources (notamment pour les énergies issues de la biomasse), mais aussi des contraintes apportées par la nécessité de l'équilibre en puissance du réseau électrique : ainsi, le fait que la production éolienne soit supérieure à ce qui peut être consommé localement en 2050 résulte du fait qu'une partie de cette production se situe à des heures où la consommation intérieure électrique est plus faible, et ne suffit pas à tout absorber. L'énergie électrique excédentaire sera donc disponible pour d'autres régions, voisines ou non, dans lesquelles la consommation électrique au même instant excède les disponibilités en électricité renouvelable au même moment.

Ces graphiques confirment l'importance de l'éolien, de la biomasse solide et du solaire photovoltaïque comme sources de production d'énergie renouvelable dominantes pour la région.

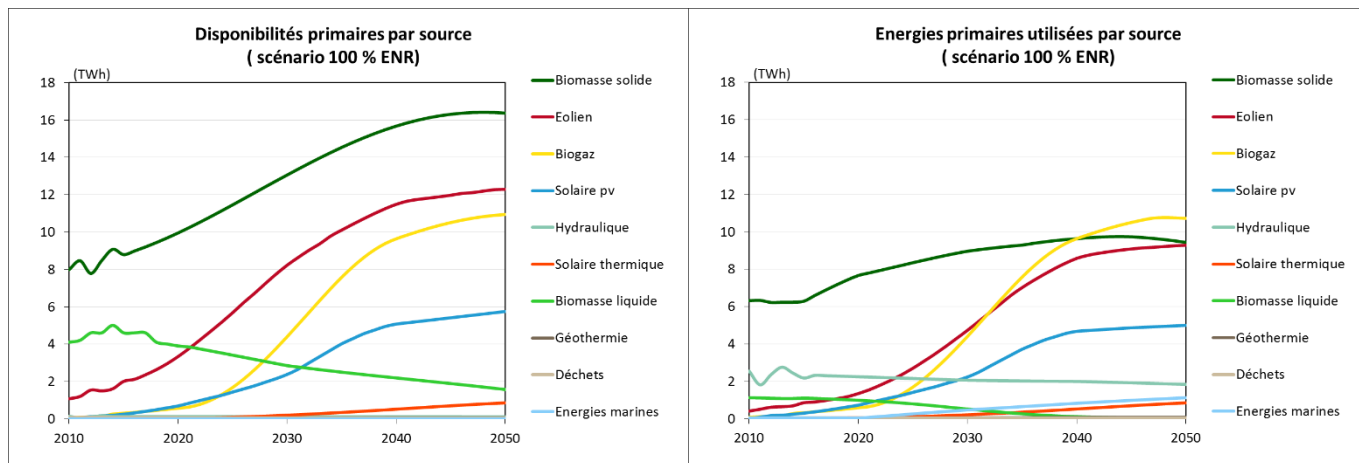


Figure 2-31 : Synthèse des productions (à gauche) et utilisations (à droite) d'énergies renouvelables dans le scénario 100 % ENR en région Centre-Val de Loire

La comparaison de la mobilisation des énergies renouvelables dans le scénario 100 % ENR avec les chiffres correspondant du SRCAE montre une ambition plus forte en termes de production, tant pour la biomasse que pour les ENR produisant de l'électricité. Notons qu'il s'agit de ressources exportables. Quant aux ressources valorisées uniquement localement (chaleur géothermique, solaire et environnement), le SRCAE affiche des valeurs plus élevées que le scénario 100 % ENR. En effet, ce dernier croise les ressources avec l'utilisation locale possible, laquelle est fortement réduite par les actions de maîtrise de la demande.

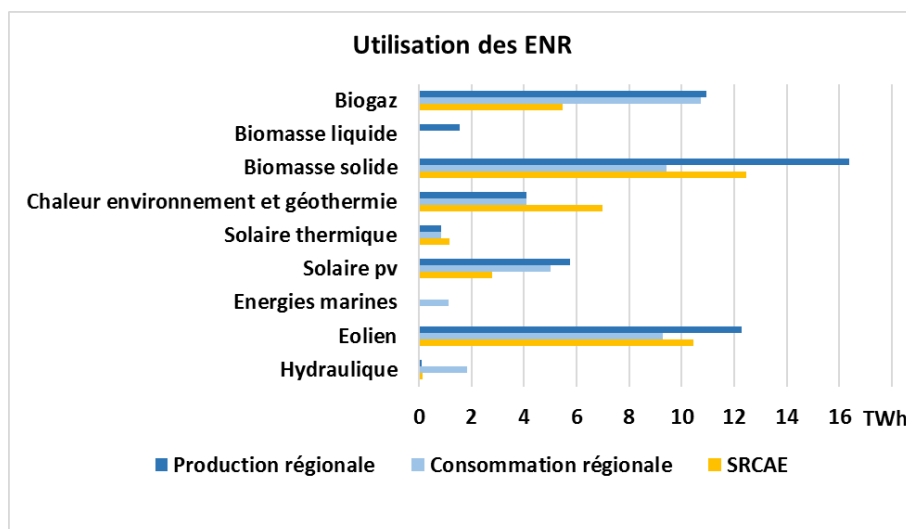


Figure 2-32 : Comparaison de l'utilisation des ENR dans le scénario 100 % renouvelable et dans le SRCAE

Le graphique suivant illustre le bilan exportations/importations des énergies renouvelables dans la région. On voit que le solde exportateur quadruple presque entre 2012 et 2050, passant de 2,8 à 10,1 TWh.

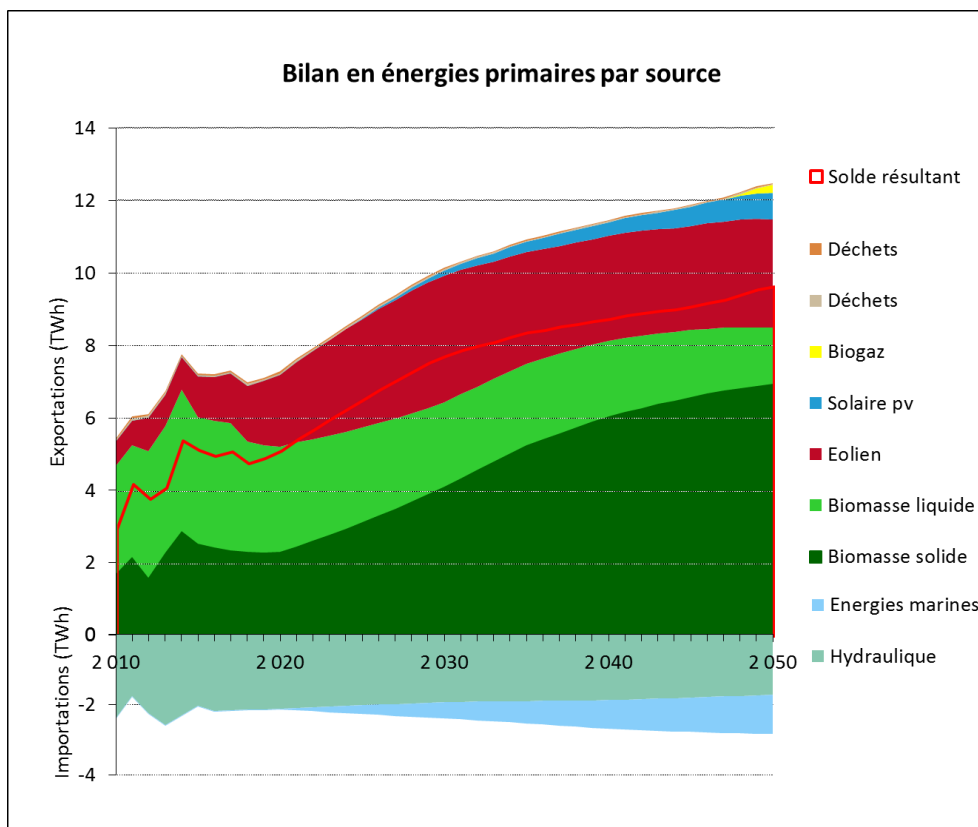


Figure 2-33 : Bilan des exportations et importations d'énergies renouvelables dans le scénario 100 % ENR en région Centre-Val de Loire

Au niveau des énergies non renouvelables consommées au niveau régional, le nucléaire, le pétrole et le charbon subissent une baisse forte et continue, alors que la consommation de gaz fossile a un profil plus en plateau, quoique légèrement descendant jusqu'à 2035, et baisse ensuite fortement. Comme pour le scénario national, le vecteur gaz est considéré ici comme un important vecteur de la transition énergétique, en particulier sur la période 2015-2035, le temps que les réductions de consommations et la montée en puissance du gaz renouvelable prennent le relai. Que le vecteur gaz fossile soit un vecteur de transition ne veut cependant pas dire que l'on augmente sa consommation – qui reste maîtrisée, et demeure en tout état de cause inférieure à la consommation du scénario tendanciel.

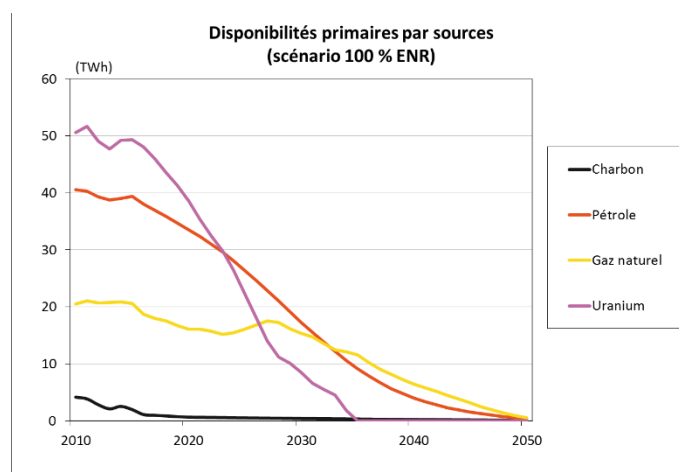


Figure 2-34 : Evolution de la consommation d'énergies non renouvelables consommées en région Centre-Val de Loire dans le scénario 100 % ENR

2.4.4. Couverture des besoins par les énergies renouvelables

La région Centre-Val de Loire est bien pourvue en ressources pour produire de l'électricité renouvelable (éolien, photovoltaïque, biomasse), et beaucoup moins en ressource hydraulique (barrages, mais aussi et naturellement au vu de sa situation géographique, énergies électriques issues de la mer, houlomotrice ou hydrolienne) par rapport à la moyenne des autres régions françaises.

En vision globale, le taux de couverture de la région est de l'ordre de 98 % en 2050 (pour mémoire, il est de 93,5 % dans le scénario négaWatt 2017 à l'échelle nationale). Le talon de 3 % d'énergie fossile restant se justifie par une part de pétrole (essence et gasoil pour les véhicules en zones rurales, kérosène pour les avions), un reliquat de gaz fossile (production d'électricité et cogénération), et une part de charbon résiduel (industrie). Ce talon peut bien sûr être réduit en fonction de nouvelles solutions envisageables d'ici 2050.

Le tableau ci-dessous résume les taux de couverture obtenus dans le scénario 100 % ENR.

	2 012	2 020	2 030	2 040	2 050
Part de consommation d'énergie renouvelable importée	22,8 %	15,2 %	9,2 %	6,9 %	6,7 %
Part de production d'énergie renouvelable exportée	39,1 %	36,5 %	29,9 %	23,8 %	23,9 %
Pourcentage d'énergie renouvelable dans la consommation totale d'énergie	8,5 %	14,2 %	38,7 %	78,7 %	97,9 %

Tableau 2-23 : Taux de couverture des consommations régionales par les énergies renouvelables

Le scénario envisagé n'atteint donc pas 100 % d'énergies renouvelables à 2050, mais s'en rapproche fortement.

On observe qu'au fur et à mesure que la part des énergies renouvelables dans la consommation totale augmente, la région utilise de mieux en mieux ces ressources locales, puisque la part des énergies renouvelables exportée et importée diminue, mais demeure néanmoins exportatrice nette d'énergies renouvelables vers les régions extérieures.

2.4.5. Emissions de CO₂

Dans le scénario tendanciel, les émissions de CO₂ du secteur énergétique diminuent d'environ 30 %, passant de 14 à 10 millions de tonnes de CO₂. Cette diminution est très inférieure aux recommandations du GIEC.

Dans le scénario 100 % ENR, la baisse atteint 23 % en 2020 par rapport à 2012, et près de 99 % en 2050, soit un facteur de réduction de 65. Le secteur énergétique est alors quasiment complètement décarboné.

Rappelons que les émissions de CO₂ du secteur agricole sont très difficiles à faire descendre en-dessous d'un facteur 2, notamment à cause des émissions de CH₄ issu des ruminants et de N₂O, comme l'a montré Solagro au niveau national dans son scénario Afterres2050. Un effort particulier sur les réductions d'émissions de CO₂ du secteur énergétique est donc indispensable pour espérer atteindre un facteur 4 sur l'ensemble des gaz à effet de serre d'ici 2050.

Les évolutions des émissions de CO₂ énergétique pour les deux scénarios sont présentées dans le graphe suivant.

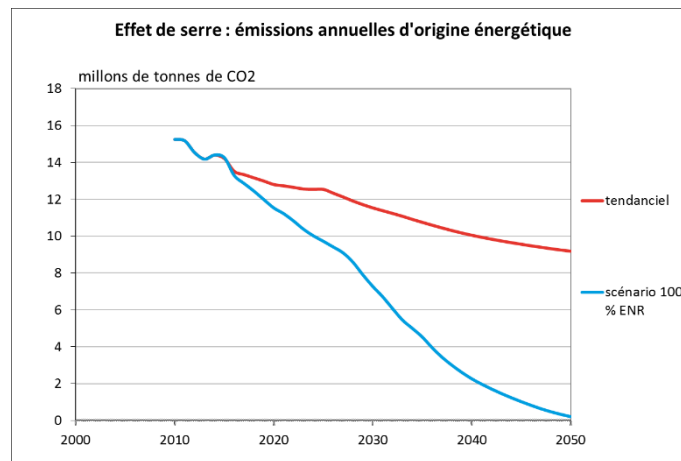


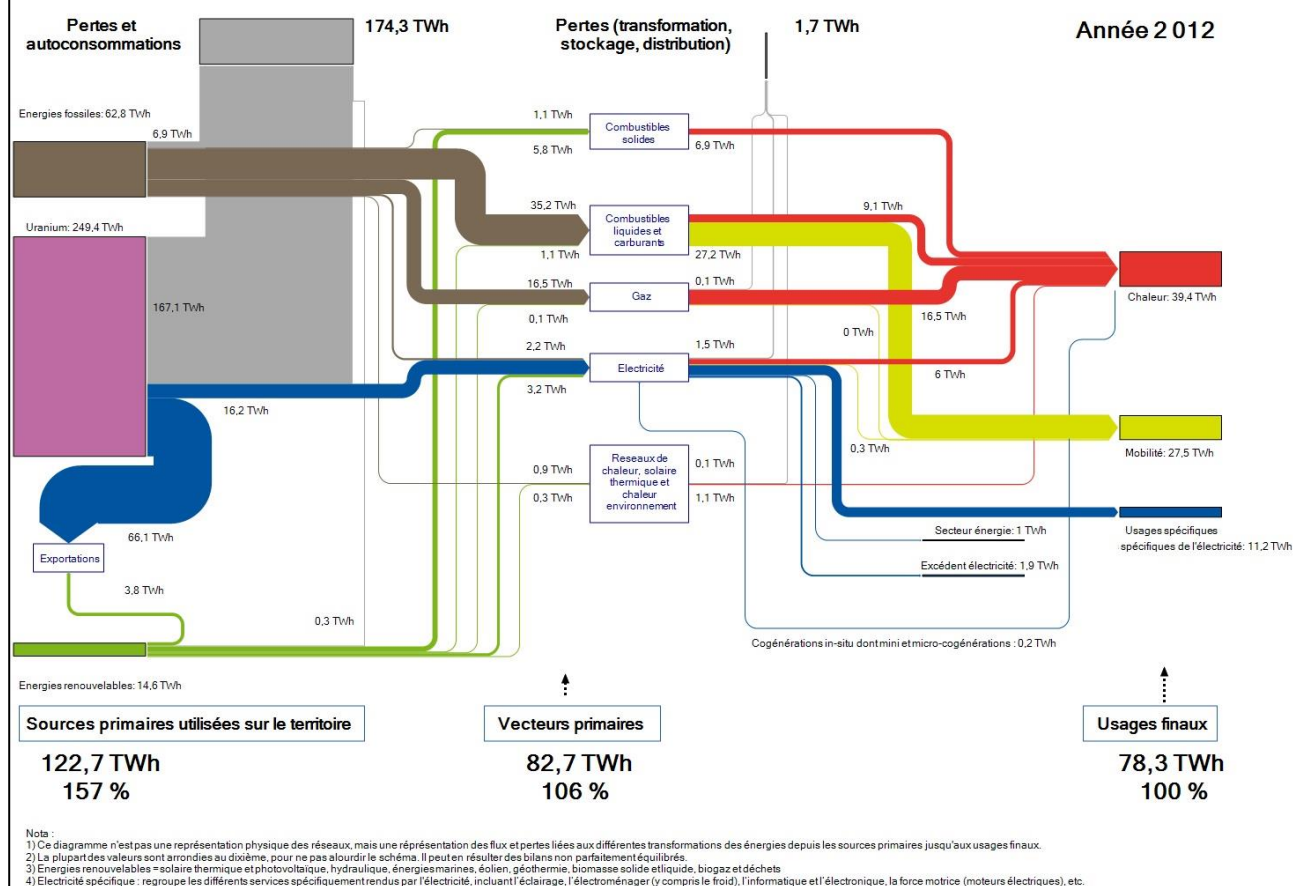
Figure 2-35 : Evolution des émissions de CO₂ du secteur énergétique

2.4.6. Diagrammes de Sankey

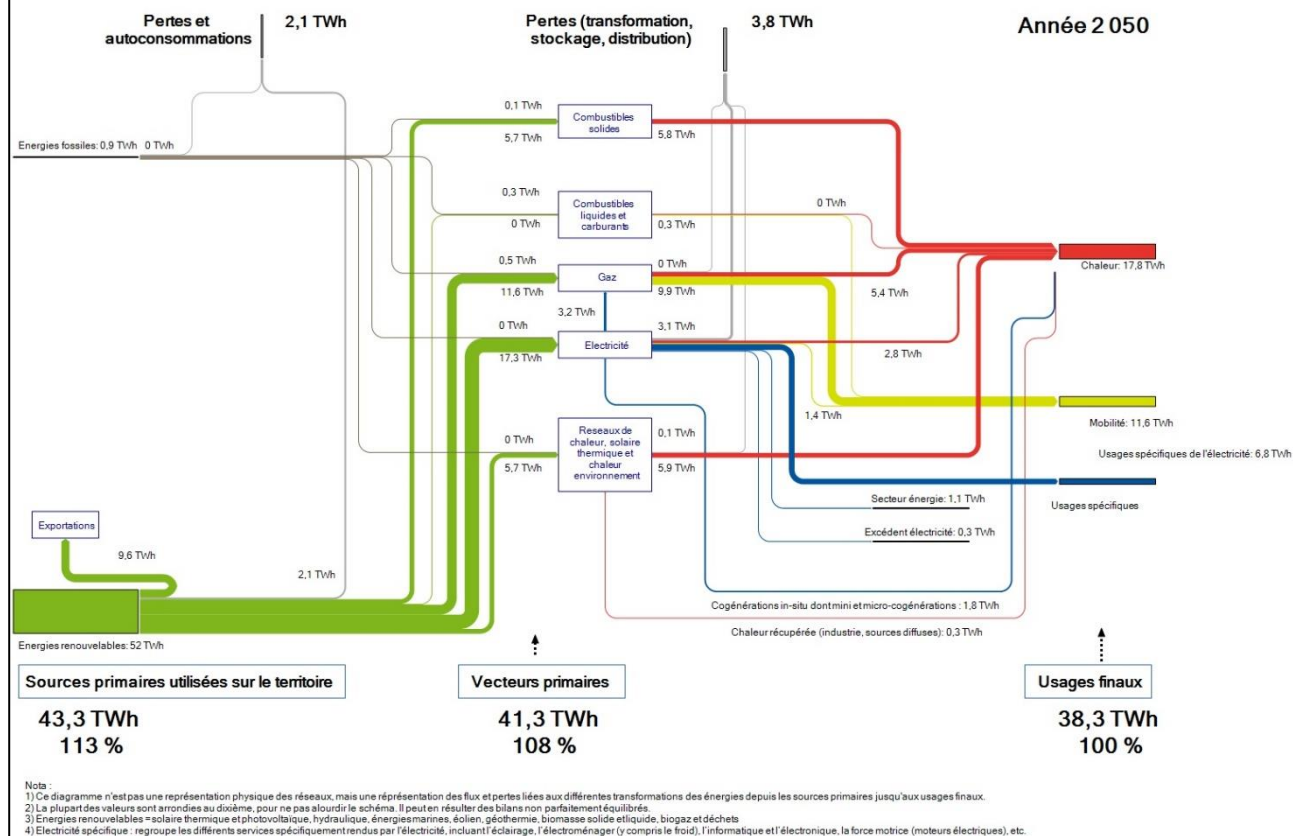
Deux diagrammes de Sankey simplifiés ont été tracés, le premier représentant la situation de 2012, et le deuxième la situation de 2050. Dans ce type de schéma, les épaisseurs des traits représentant les flux d'énergie sont proportionnelles à leur valeur. Ils permettent de visualiser les transformations énergétiques entre les énergies primaires et les énergies finales, les diverses pertes liées à ces transformations ainsi que les pertes de stockage et distribution.

En annexe se trouvent deux diagrammes de Sankey détaillés, dans lesquels sont représentées toutes les énergies primaires, les importations et exportations régionales, les transformations énergétiques et leurs pertes associées, et le détail des usages énergétiques des différents secteurs consommateurs.

Représentation des flux d'énergies : des ressources primaires aux usages



Représentation des flux d'énergies : des ressources primaires aux usages



2.4.7. Conclusion

La régionalisation du scénario négaWatt 2017 à la région Centre-Val de Loire permet de préciser les priorités et de quantifier les efforts à fournir pour suivre une trajectoire vers un paysage énergétique « 100 % renouvelable » au niveau régional.

Cet exercice confirme le fait que la transition énergétique peut avoir lieu sans attendre d'hypothétiques ruptures technologiques, mais en généralisant les meilleures pratiques (au niveau des individus, des professionnels et industriels) et les meilleurs techniques – la faisabilité technique de la transition énergétique apparaît donc patente.

En comparaison, avec une dépendance toujours aussi forte des consommations d'énergies fossiles et fissile à l'horizon 2050, c'est le scénario tendanciel qui apparaît aujourd'hui comme utopique face aux enjeux du développement durable, en particulier des changements climatiques et de l'épuisement des ressources.

Pour autant, avec l'objectif de réaliser la transition énergétique d'ici à 2050, les actions à mener dans le cadre du scénario négaWatt sont clairement volontaristes et continues sur la période.

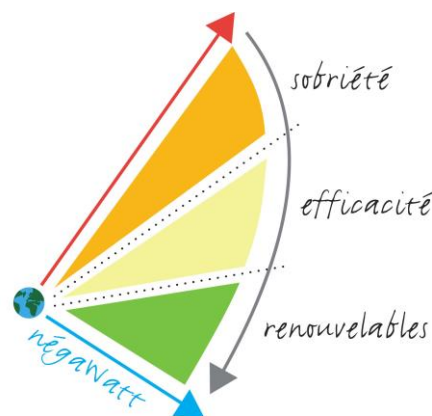
Les priorités apparaissent du côté de la réduction de consommation, avec la nécessité d'agir à court terme sur les gisements de sobriété énergétique, et de préparer dans les tout prochains mois et les toutes prochaines années, la massification des techniques efficaces énergétiquement : rénovations thermiques (qui n'atteindront leur rythme de croisière que dans plusieurs années), appareillages électroménagers, véhicules, ..., et l'adaptation des réseaux : infrastructures de transports, réseaux électrique et gaziers.

Les priorités sont également du côté de la production d'énergie renouvelable, avec la nécessité de mobiliser, au niveau régional, le gisement éolien. L'ensemble des filières de la biomasse, notamment la biomasse solide, qui exige la poursuite et l'accentuation de la structuration des filières, est également très prometteuse en Centre-Val de Loire. Le solaire photovoltaïque est également promis à un développement fort dans la région, avec une opérationnalité à plus court terme et une dynamique qui peut se dérouler sur plusieurs décennies.

Ces priorités convergent vers une réduction de la fuite des dépenses régionales d'énergie, et une meilleure valorisation des ressources locales ; **tout l'enjeu de ce scénario est de faire passer l'énergie du statut de lourde charge pour les acteurs régionaux au statut de moteur de développement régional.**

Cette nécessité d'actions continues plaide pour adopter un « plan guide » de la transition énergétique, avec ses objectifs, ses indicateurs et son phasage. Les recommandations d'orientation des politiques publiques (chapitre **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) peuvent servir de base programmatique pour définir ce plan.

Au-delà des résultats du scénario, il est utile de s'emparer des hypothèses qui le sous-tendent. Bien que nombreuses et parfois complexes, elles permettent de préciser les actions à mener par la Région, en mettant en exergue les déterminants de l'action. Elles permettent aussi d'identifier les autres acteurs qui doivent être mobilisés (Etat, Europe, communes, entreprises, ...) - la transition énergétique ne pourra se faire si elle n'est portée que par la Région.



3. ASPECTS SOCIO-ECONOMIQUES

3.1. Préambule : méthodologie, emplois directs/indirects, non prise en compte des emplois induits

Suite à la publication du SnW2011, une étude portant sur l'effet net sur l'emploi de la transition énergétique en France a été publiée en avril 2013. Elle a chiffré « *l'effet sur l'emploi de la mise en œuvre de ce scénario en comparaison avec un scénario tendanciel qui prolonge les évolutions récentes et prend en compte les politiques déjà décidées. La méthode retenue pour calculer l'effet sur l'emploi de chaque scénario consiste à calculer le coût des principales options techniques et organisationnelles retenues, à ventiler ces coûts entre les 118 branches de l'économie française et à multiplier ces coûts par le contenu en emploi de chaque branche. Ce dernier élément est estimé par une analyse input-output, ce qui permet de comptabiliser les emplois générés par la production de l'ensemble des consommations intermédiaires. L'un des deux scénarios étant plus coûteux que l'autre, il faut prendre en compte l'effet négatif sur l'emploi du financement de ce surcoût. Pour cela, on fait l'hypothèse que ce surcoût est supporté par les ménages et que ces derniers diminuent en conséquence leur consommation du même montant et de manière homothétique. Ainsi, on évite de biaiser les résultats en faveur du scénario le plus coûteux.* »³²

Cette méthode permet donc de chiffrer l'effet induit sur l'emploi par les économies ou les dépenses supplémentaires générées par un scénario de transition énergétique par comparaison avec un scénario tendanciel. Cette approche est différente de celle consistant à quantifier les emplois alimentés par les dépenses des employés, directs et indirects, souvent également appelés emplois induits. C'est cette approche qui a été retenue par PricewaterhouseCoopers (PwC) dans l'étude sur le poids socio-économique de l'électronucléaire en France.³³

Pour ces évaluations, les ratios d'emplois induits par emplois directs peuvent varier notablement, ce qui rend les comparaisons délicates. Ainsi deux études de l'INSEE retiennent des ratios de 0,65³⁴ et 0,68³⁵ emplois induits par emploi direct alors que l'étude PwC retient le chiffre de 1,37, soit le double.

Compte tenu de ces incertitudes, nous évaluerons dans le présent paragraphe uniquement les emplois directs et indirects, créés ou détruits selon les secteurs, en se basant sur les ratios d'emplois bruts par unité (m² rénovés par an, m² neufs construits par an, TWh ENR, TWh nucléaire, MW éolien ou PV, etc.) de l'étude précitée, et en les appliquant aux valeurs régionales correspondantes issues de la scénarisation. L'étude portera sur un certain nombre de secteurs de la transition énergétique pour lesquelles les ratios nationaux peuvent être utilisés à l'échelle régionale. On étudiera ainsi le secteur du bâtiment (résidentiel et tertiaire), ainsi que ceux liés à la production d'énergie.

³² Philippe Quirion. L'effet net sur l'emploi de la transition énergétique en France : Une analyse input-output du scénario négaWatt. CIREN, avril 2013

³³ PwC. Le poids socio-économique de l'électronucléaire en France, mai 2011

³⁴ INSEE. Une inscription territoriale diffuse pour la centrale nucléaire de Fessenheim, juillet 2014

³⁵ INSEE Rhône-Alpes. Les sites nucléaires du Tricastin et de Marcoule : un impact important sur plus de 200 communes, décembre 2012

Par contre, dans d'autres secteurs, essentiellement dans celui des transports, les ratios nationaux (emplois par M€ investis dans les infrastructures par exemple) devraient s'appliquer à des valeurs régionales de ces indicateurs (évolution des réseaux routiers, ferrés ou fluviaux, dépenses d'achats pour les véhicules, etc.) qui n'ont pas été chiffrés dans l'étude de scénarisation qui portent uniquement sur les flux énergétiques.

Cette approche permet de donner des éléments sur la question de l'emploi de manière globale, sans distinction des emplois attachés aux territoires et ceux localisés à l'extérieur de la région. En effet, les ratios utilisés ne disent rien sur la localisation des emplois. Autant ceux liés à l'installation des équipements peuvent en grande partie être attachés à des territoires, sans que cela ne soit systématiquement vrai (on peut imaginer par exemple des travailleurs extérieurs au territoire mobilisés le temps d'un chantier), autant ceux liés à la production des équipements ne peut être évaluée que par une étude beaucoup plus détaillée s'appuyant sur une analyse du tissu industriel, à l'instar de celle réalisée par l'agence de développement et de promotion économique de la région Centre-Val de Loire³⁶.

3.2. Secteurs étudiés et liste des réserves

La méthodologie présentée ci-dessus requière de prendre en compte de très nombreux paramètres décrivant l'ensemble du secteur de l'énergie, tant au niveau de la consommation d'énergie, que de la production d'énergie et encore de sa transformation et des réseaux de transports et distribution. Nous avons retenu les secteurs suivants, pour lesquels le scénario 100 % ENR a produit des valeurs des indicateurs utilisables :

Secteur	Nature	Variable utilisée
Eolien terrestre	Installation	puissance installée dans l'année
	Maintenance	production
Solaire thermique	Installation	surface installée dans l'année
	Maintenance	production
PV	Installation	puissance installée dans l'année
	Maintenance	production
Bois résidentiel	Installation et maintenance	variation de consommation
	Fourniture	consommation
Bois tertiaire	Installation et maintenance	consommation
	Fourniture	consommation
Bois exporté	Fourniture	production
Biomasse liquide	Fourniture	consommation
Biogaz	Installation et maintenance	consommation
	Fourniture	consommation
Production électricité non ENR		production
Prolongation des centrales nucléaires + EPR	Construction	dépenses annuelles
Démantèlement des centrales nucléaires	Construction	dépenses annuelles
Rénovation résidentiel	Construction	surface rénovée dans l'année
Rénovation tertiaire	Construction	surface rénovée dans l'année
Neuf résidentiel	Construction	surface construite dans l'année
Neuf tertiaire	Construction	surface construite dans l'année

Tableau 3-1 : Secteurs retenus pour l'étude emploi

³⁶Centréco. Les industries de l'énergie en région Centre-Val de Loire, juin 2015

Par contre, d'autres secteurs ne sont pas pris en compte, parce que les indicateurs nécessaires ne sont pas directement des valeurs énergétiques. Il s'agit essentiellement des transports, des emplois liés aux consommations d'énergies fossiles, et de ceux liées aux réseaux de distribution d'énergie :

- Automobile
- Transport ferroviaire urbain et interurbain
- Bus/car
- Avion
- Fret ferroviaire, routier et fluvial
- Produits pétroliers
- Gaz naturel fossile
- Charbon
- Réseau gaz
- Réseau électrique

Pour explorer ces derniers, il aurait fallu travailler plus précisément sur l'évolution des parcs de véhicules, ainsi que celle des infrastructures de transport et de réseau.

3.3. Chiffrage des emplois de certains secteurs de la transition énergétique dans l'hypothèse d'un scénario 100 % ENR

3.3.1. Résultats globaux

Les deux graphiques suivants montrent l'évolution des emplois de l'ensemble des secteurs étudiés entre 2015 et 2050. Ces chiffres intègrent notamment le renouvellement des équipements, dont la durée de vie est estimée à 20 ans pour l'éolien, 25 ans pour le solaire thermique et 30 ans pour le photovoltaïque. Ceci explique certaines irrégularités comme celle visible sur la courbe d'installation de l'éolien terrestre en 2029.

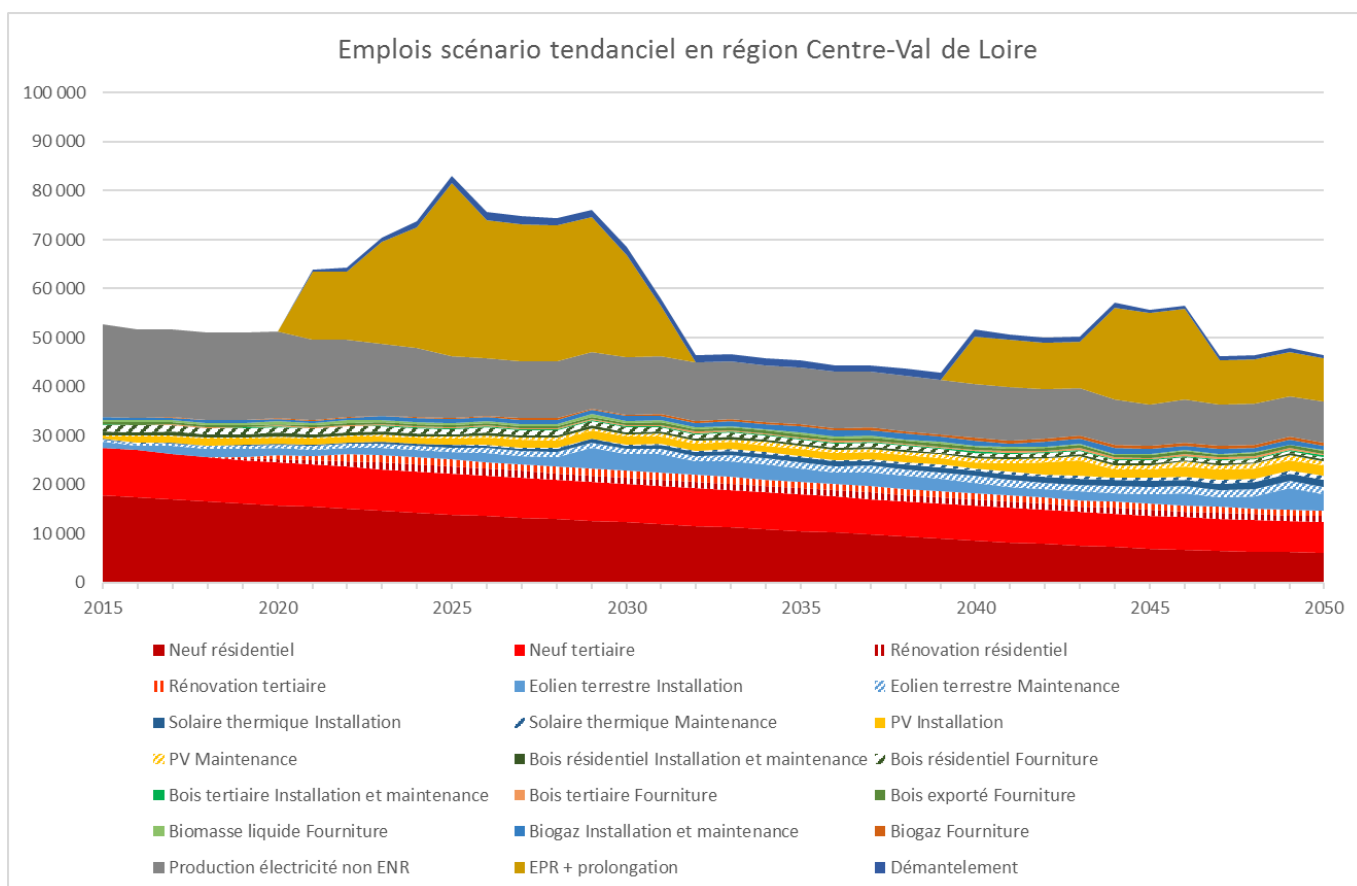
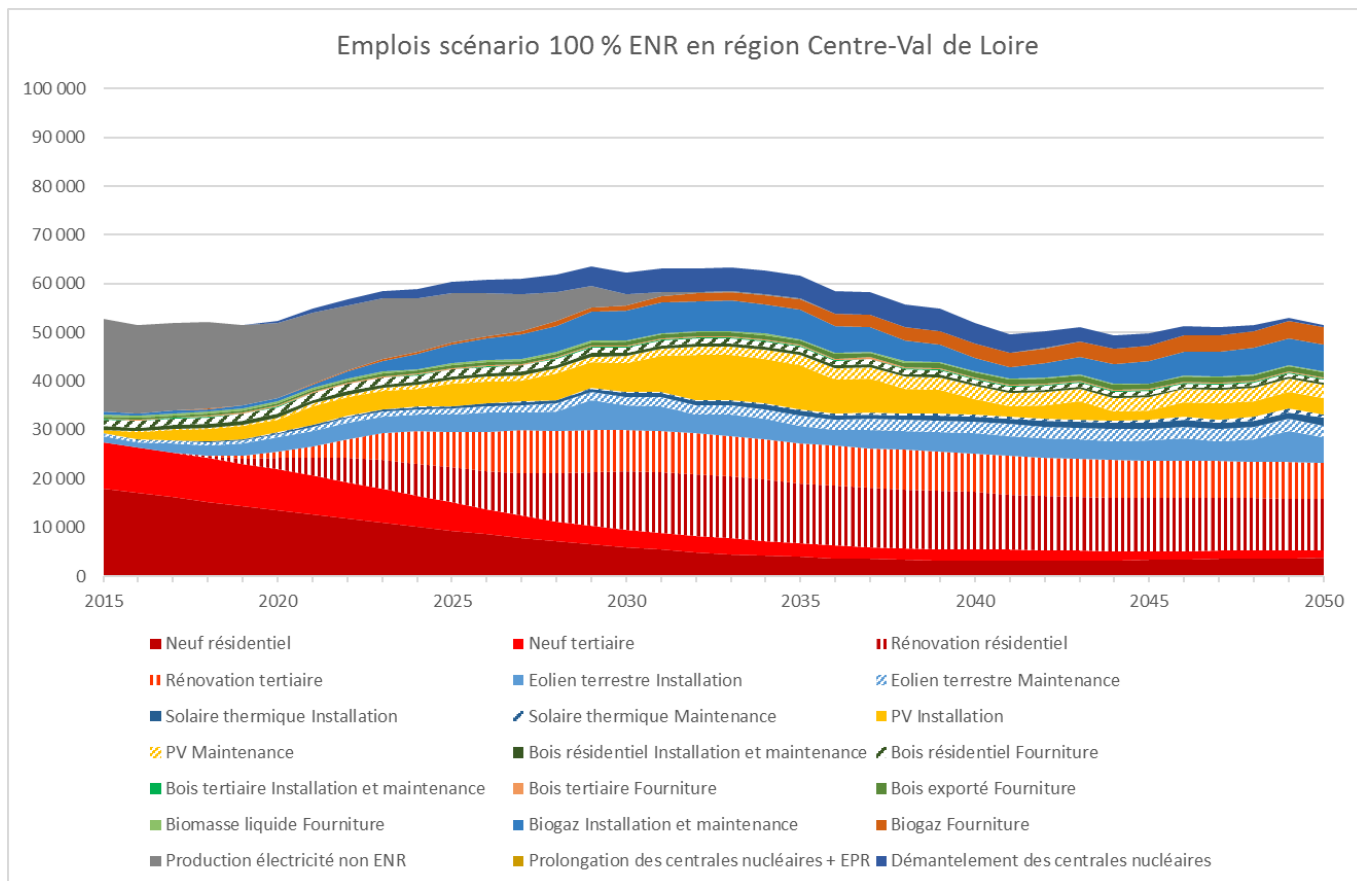


Figure 3-1 : Evolutions des emplois dans les scénarios 100 % ENR et tendanciel

Le nombre d'emplois total est équivalent dans les scénarios : 2,01 millions d'emplois.an pour le scénario 100 % ENR et pour le scénario tendanciel de 2015 à 2050. On observe par contre une beaucoup plus grande stabilité dans le scénario 100 % ENR que dans le scénario tendanciel. Dans ce dernier apparaissent deux pics d'une dizaine d'années, correspondant à la construction de nouveaux EPR, à laquelle s'ajoutent les emplois liés à la prolongation de la durée de vie des centrales entre 2020 et 2030. Le risque d'une dynamique aussi particulière pourrait se situer dans un recours à des travailleurs venus d'autres régions et qui ne vont pas s'installer durablement sur le territoire.

3.3.2. Résultats par secteurs

3.3.2.1. Bâtiment

Les deux graphiques suivants font un zoom sur le secteur du bâtiment (résidentiel et tertiaire).

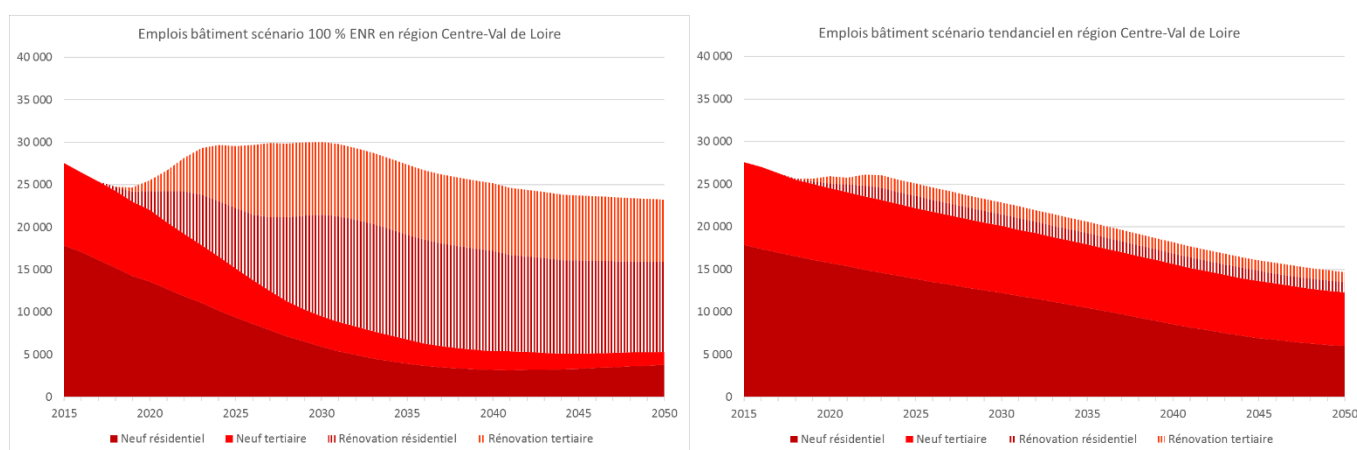


Figure 3-2 : Evolutions des emplois du bâtiment dans les scénarios 100 % ENR et tendanciel

Dans ce secteur, le contenu en emplois du scénario 100 % ENR dépasse celui du tendanciel de 15 % : 960 milliers d'emplois cumulés contre 770 : même si la construction neuve subit une contraction très sensible, celle-ci est compensée par le développement de l'emploi lié à un programme ambitieux de rénovation thermique des secteurs résidentiel et tertiaire.

Dans le scénario 100 % ENR, la sobriété conduit à une baisse drastique des surfaces neuves : dans le tertiaire, l'hypothèse est une évolution des surfaces proportionnelle à l'évolution de la population, en retenant des hypothèses différenciées selon les secteurs : par exemple, le secteur enseignement recherche est supposé évoluer comme la population de la tranche d'âge 0-19 ans, le secteur santé suit l'évolution du nombre de seniors. Pour le résidentiel, les surfaces unitaires des logements neufs sont supposées stabilisées, la proportion de logements collectifs augmente et le nombre de personnes par ménage diminue moins que dans le scénario tendanciel.

Dans ce même scénario, la rénovation thermique performante des bâtiments à un rythme soutenu (2,9 Mm²/an pour le résidentiel et 1,4 Mm² pour le tertiaire en régime de croisière) se traduit par une stabilisation du nombre total d'emplois, après une décennie plus chargée entre 2022 et 2032.

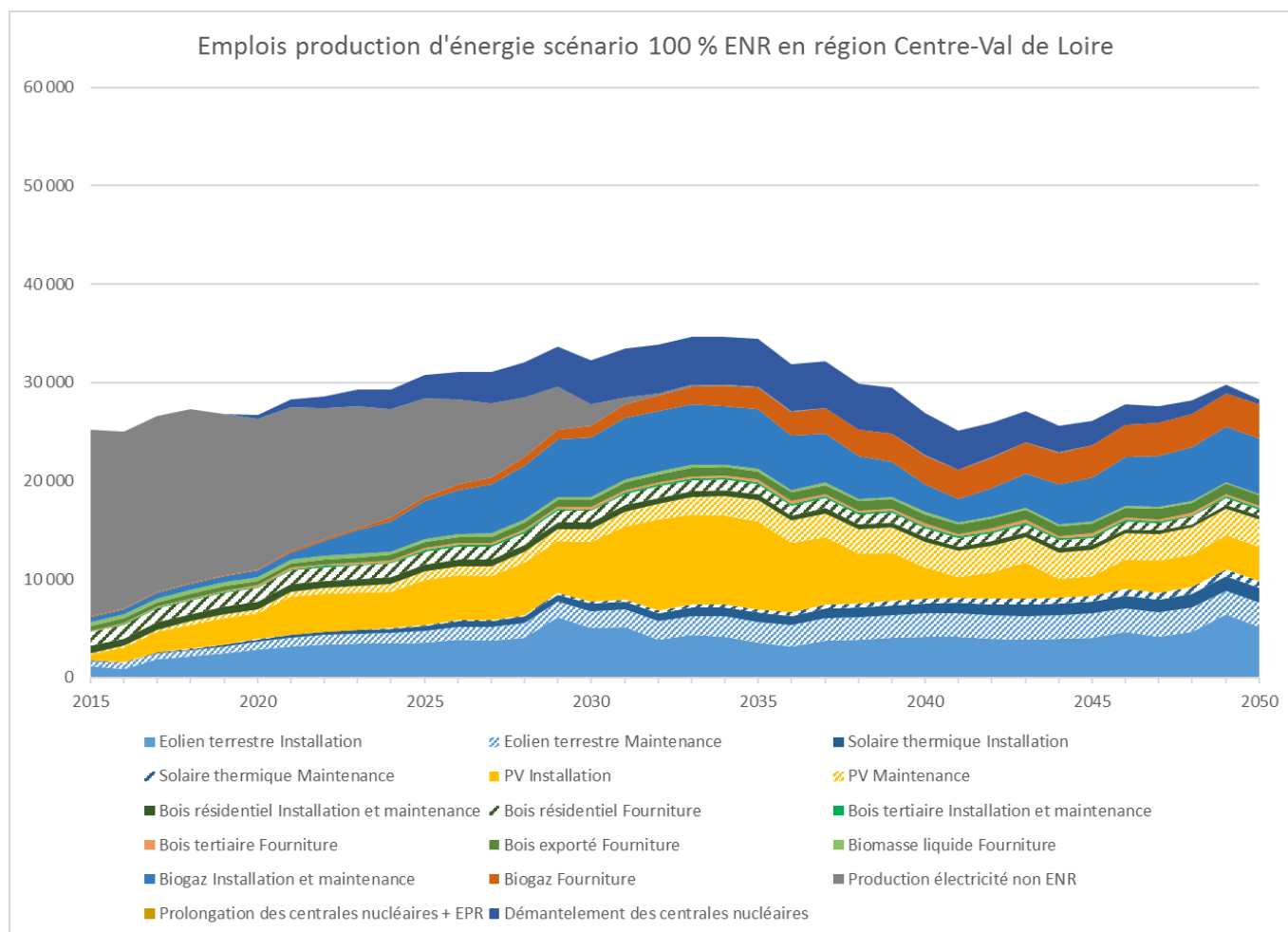
Pour le tendanciel, on note essentiellement une contraction de la construction neuve importante dans le résidentiel et moins marquée dans le tertiaire.

Ce tendanciel est extrapolé à partir du tendanciel national, qui lui-même fait apparaître une baisse sensible des surfaces construites annuellement depuis 2010. Peut-être est-ce un effet conjoncturel lié à la crise. Nous avons cependant choisi de l'intégrer dans nos prévisions en les réajustant à la baisse par rapport à celles de 2011.

C'est certainement dans ce secteur que les mutations professionnelles sont le plus aisément réalisables, avec modifications des compétences et des qualifications qui doivent être étudiées précisément, mais qui ne constituent pas des bouleversements majeurs.

3.3.2.2. Production d'énergie

Les deux graphiques suivants font un zoom sur le secteur de la production d'énergie :



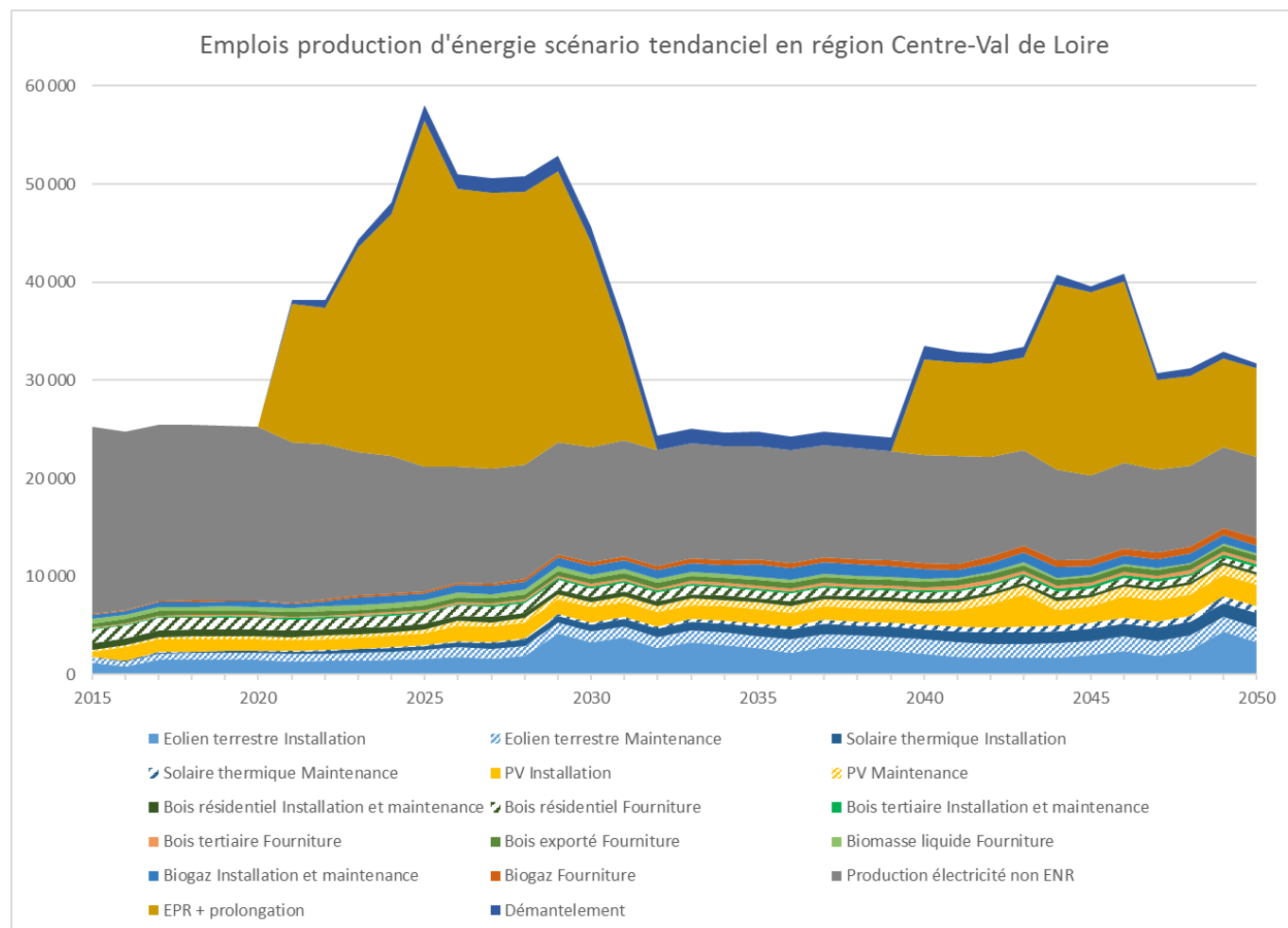


Figure 3-3 : Evolutions des emplois du secteur production d'énergie dans les scénarios 100 % ENR et tendanciel

Contrairement au secteur précédent, c'est le scénario tendanciel qui procure le maximum d'emplois (1,24 millions d'emplois cumulés contre 1,05), essentiellement dans le domaine du nucléaire en raison de la construction de 4 EPR et de la prolongation de 5 réacteurs.

Dans la rubrique production d'électricité non ENR, l'essentiel des emplois se situe dans le secteur nucléaire. Il diminue cependant du fait de la réduction globale du nombre de réacteurs de 12 actuellement à 9 en 2050.

Les variations annuelles du nombre d'emplois sont très importantes sur les années 2020-2031 (Grand Carénage sur 5 réacteurs et construction de 2 EPR) et entre 2040 et 2050 (construction de deux autres EPR)

Dans le scénario 100 % ENR, la diminution rapide des emplois dans la production d'électricité non renouvelable (sortie du nucléaire) est compensée partiellement d'une part par les emplois liés au démantèlement à partir de 2020, et d'autre part par le déploiement des ENR (principalement éolien, PV, biogaz). Le nombre total d'emplois dans la production d'énergie passe ainsi par un maximum vers 2035. Ensuite, le rythme d'installation de moyen de production ENR diminue, entraînant une baisse du nombre d'emplois dans le montage, compensée partiellement par une augmentation du nombre d'emplois dans la maintenance.

Une partie des emplois liés à la production de bois, qui sont des emplois attachés au territoire, correspondent à une énergie exportée de la région.

3.3.2.3. Déploiement des ENR versus sortie du nucléaire

La courbe suivante illustre la combinaison des évolutions du déploiement des énergies renouvelables dans le scénario 100 % ENR et des réductions des emplois du nucléaire.

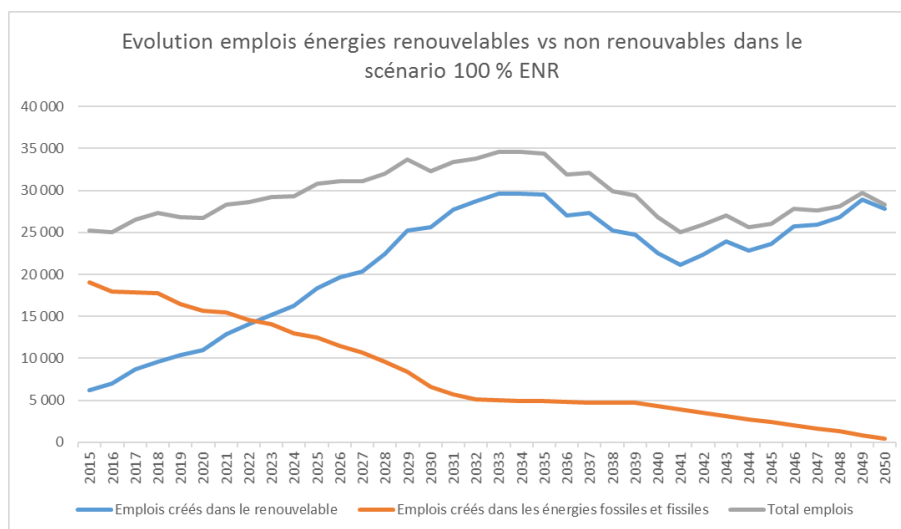


Figure 3-4 : Evolutions des emplois des secteurs production d'énergies renouvelables et énergies non renouvelables dans le scénario 100 % ENR

L'évolution du mix énergétique régional s'accompagnera d'évolutions en termes de retombées socio-économiques dans la région. Le développement de certaines branches, telles que les énergies renouvelables ou les économies d'énergie, viendra accroître les emplois et les retombées économiques locales. Pour d'autres secteurs, comme le nucléaire, les impacts d'un scénario d'arrêt de la production devraient être plutôt négatifs, même si à l'intérieur de la filière, certaines activités prendront de l'ampleur. Néanmoins, même dans le scénario tendanciel, l'évolution du secteur devrait avoir des impacts négatifs sur les retombées socio-économiques. En effet, la réduction d'un tiers du parc nucléaire entraînera, à terme, une baisse de l'activité dans la production.

Peu de données sont disponibles dans le secteur du nucléaire sur le nombre d'emploi par activité et par installation ou encore sur le montant des taxes versées par les exploitants localement.

3.3.2.3.1. Retombées fiscales directes

Le poids du nucléaire sur l'économie de la région est assez élevé en raison du nombre important d'installations nucléaires. Ce poids est particulièrement important sur les territoires sur lesquels sont implantées les centrales. En effet, les sites sont implantés sur des territoires ruraux : il y a généralement peu d'autres pourvoyeurs d'emplois dans les environs, et les taxes qu'ils versent localement sont très élevées en comparaison de la taille et des besoins des villes bénéficiaires. Ces villes ont parfois investi dans des projets coûteux (installations sportives, salles des fêtes, ...) et sont devenues tributaires des taxes perçues pour en assurer l'entretien.

Les installations nucléaires sont en effet soumises à un certain nombre de taxes, dont certaines (taxe foncière et taxe professionnelle) ont des retombées locales. En l'absence de données par site, le montant des taxes professionnelle et foncière est calculé ici en proportion des taxes payées à l'échelle nationale par EDF, bien qu'il puisse y avoir en réalité des écarts entre les différents sites d'EDF.

La Cour des Comptes chiffrait en 2014 le montant de la taxe professionnelle payée par EDF à 254 M€, et la taxe foncière à 189 M€. Ramenées à la capacité installée en région Centre-Val de Loire, les installations de la région génèrent environ 80 M€ de taxes locales.

3.3.2.3.2. *Emplois et activités induites*

Les emplois directs du nucléaire en région Centre-Val de Loire sont principalement dans les secteurs de l'exploitation et maintenance, ainsi que dans l'aval. En 2009, PricewaterhouseCoopers (PwC) chiffrait le nombre d'emplois directs dans l'exploitation et la maintenance à 5900 dans la région, et dans l'aval à 900. Le nombre d'emplois du secteur amont n'est pas donné avec précision, mais est d'environ 700. Quant à celui du secteur construction, il n'est pas chiffré, mais est inférieur à 700. Au total, la région Centre-Val de Loire concentre environ 6 à 7 % des emplois nationaux du nucléaire. En supposant que le nombre d'emplois directs du nucléaire n'a pas évolué depuis 2009 – il n'y a pas eu de fermeture ou de création d'installation depuis cette date – ces emplois représentent 1,4 % des emplois salariés de la région (560 900 emplois³⁷). Ces emplois sont amenés à évoluer dans les décennies à venir. Le choix d'un scénario énergétique aura bien entendu un impact sur l'évolution des emplois, mais il ne peut se résumer pour autant à une suppression de la totalité des emplois dans le cas d'un scénario de sortie du nucléaire et à un maintien de la totalité des emplois dans un scénario tendanciel.

Région Centre-Val de Loire	Amont	Construction	Maintenance et exploitation	Aval	Total
Emplois directs	~700	<700	5900	900	7500 à 8200
Part du national	~3 %	<3 %	13 %	4 %	~6-7 %

Tableau 3-2 : Répartitions des emplois du secteur nucléaire

Source : Estimations de PricewaterhouseCoopers, 2011 pour la France

Le scénario d'arrêt de la production verrait le nombre d'emplois dans le secteur maintenance et exploitation fortement diminuer, voire disparaître. Il s'accompagnerait d'une hausse dans le secteur de l'aval correspondant au démantèlement des installations. Ces évolutions auraient lieu sur une quinzaine d'années. Cette hausse (de l'ordre de 200 emplois par tranche) ne suffirait cependant pas à couvrir la perte des emplois du secteur maintenance et exploitation. Néanmoins, ces emplois, tout comme ceux de la maintenance et de l'exploitation, ne sont pas délocalisables. Avec 12 réacteurs à démanteler en plus des 5 en cours de démantèlement, la région pourrait devenir à la pointe des activités de démantèlement et étendre ses activités sur d'autres régions.

Par ailleurs, les volumes de déchets engendrés par les démantèlements conduiront à une réflexion sur la stratégie à suivre en matière d'entreposage et de stockage. En effet, le démantèlement de toutes les centrales du pays arrêtées après leur quatrième réexamen de sûreté conduirait rapidement à la saturation des sites de stockage existants. Un nouveau centre de stockage centralisé pourrait être construit, mais plusieurs centres de stockage régionalisés pourraient être envisagés, afin de réduire les transports de déchets radioactifs.

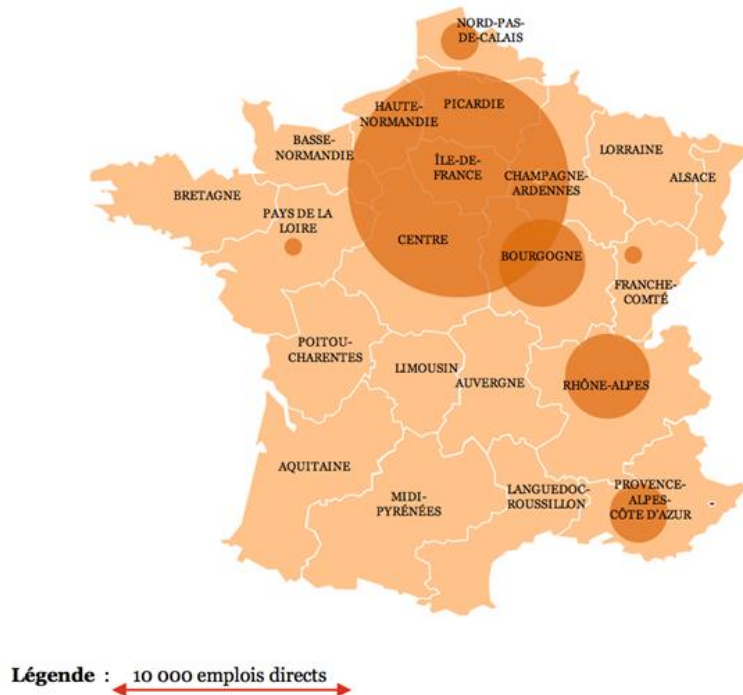
³⁷ http://www.insee.fr/fr/themes/tableau.asp?reg_id=99&ref_id=TCRD_026

En cas de choix d'une stratégie de centres de stockage régionalisés, la création d'un site en région Centre-Val de Loire conduirait également à augmenter le nombre d'emplois dans le secteur aval.

Dans le scénario tendanciel, on assiste à une forte réduction du nombre d'emplois dans le secteur de la maintenance et exploitation en raison de la diminution du nombre de tranches en fonctionnement (plus que 4 réacteurs sur 2 sites contre 12 réacteurs sur 4 sites aujourd'hui).

Dans ce secteur, l'emploi dépend plus du nombre de tranches et de sites que de la puissance installée. L'augmentation du nombre d'emplois du secteur aval est la même que pour le scénario tendanciel puisque tous les réacteurs finissent par être mis à l'arrêt définitif. Les réductions d'emplois dans l'exploitation et la maintenance et les créations d'emplois associées dans le démantèlement se font toutefois de manière plus tardive que dans le scénario de transition, et s'étalent plutôt sur une trentaine d'années.

La construction des quatre nouveaux réacteurs génère une création d'emplois dans le secteur de la construction, estimés par l'industrie à environ 2700 emplois directs en France pour un EPR construit sur le territoire pendant les quelques années de construction. Cependant, ces emplois ne sont pas pérennes, puisqu'ils disparaissent dès la mise en service des installations. De plus, une partie des emplois créés pour la construction ne seraient pas situés dans la région – ni même en France pour partie – et certains emplois sur site pourraient être pourvus par des travailleurs qui ne viendraient dans la région que pour quelques mois ou quelques années, sans s'insérer de manière durable dans la vie locale. De même, les retombées économiques attendues sont pour partie dirigées vers des fournisseurs spécialisés extérieurs à la région. En 2009, alors que le chantier de l'EPR de Flamanville était lancé depuis deux ans, la région Basse-Normandie n'apparaissait pas dans les 7 régions les plus dotées en emplois liés au secteur construction. Bien que les emplois des autres régions ne soient pas uniquement liés à l'EPR de Flamanville, cette répartition montre que les emplois générés par la construction d'un EPR ne se situent pas majoritairement sur site.



Source : analyse PwC, année 2009

mai 2011

Figure 3-5 : Répartition géographique des emplois directs liés à la construction des réacteurs

Source : PwC, 2011

Le scénario tendanciel s'accompagne d'un risque permanent : un ou plusieurs réacteurs pourraient être mis à l'arrêt définitivement de manière anticipée en cas d'accident ou de risque pour la sûreté, ou de changements politiques soudains (suite à un accident majeur dans la région ou en dehors par exemple). On peut illustrer ce risque par la chute du générateur de vapeur à Paluel 2, le 31 mars 2016, qui a conduit l'exploitant à prolonger son arrêt pour de nombreux mois et pourrait transformer un arrêt pour maintenance en arrêt définitif. La découverte d'anomalie de fabrication sur des équipements non remplaçables, ou non remplaçables à un coût acceptable, pourrait conduire à la fermeture d'un réacteur, ou plusieurs en cas d'anomalie générique. Les récentes découvertes de dossiers de fabrication modifiés sur le site du Creusot vient illustrer cette possibilité. Des arrêts définitifs pas ou peu anticipés conduiraient à une situation difficile pour l'emploi dans la mesure où les reconversions nécessaires au sein de la filière pour passer de l'exploitation au démantèlement, ou vers d'autres secteurs, n'auront pas été préparées. De plus, les autres filières énergétiques de production ou de maîtrise de la demande d'énergie ne suffiraient pas à compenser immédiatement la perte brutale d'emplois du secteur nucléaire dans la mesure où le pari fait sur la filière nucléaire aurait conduit à ne pas développer ces filières.

Le risque est particulièrement important pour le scénario tendanciel au moment où les centrales atteindront leur quatrième réexamen de sûreté. En effet, dans sa planification, l'exploitant fait le pari que ses réacteurs pourront continuer à fonctionner. La région adapte alors le développement des autres filières de l'énergie à l'hypothèse du maintien d'une capacité nucléaire. De même, l'exploitant et ses prestataires ne préparent pas la reconversion de leurs salariés. Si l'Autorité de Sûreté Nucléaire ne donne pas son accord à la prolongation de la durée de fonctionnement des réacteurs, ou la conditionne à des mesures nécessitant des travaux trop importants pour l'exploitant, des arrêts multiples, rapprochés et non anticipés des réacteurs de la région auraient des conséquences socio-économiques importantes pour le Centre-Val de Loire.

Ces quelques éléments montrent d'une part que la poursuite du nucléaire, dans un scénario tendanciel, ne constitue pas à soi seule une perspective de développement de l'emploi dans la région. En freinant la mise en œuvre de nouvelles activités inscrites dans le projet de transition énergétique, elle risquerait au contraire de conduire à une moindre valorisation des opportunités que peuvent représenter celles-ci. Non seulement la poursuite du nucléaire ne crée pas de nouveaux emplois sur le long terme, mais elle génère des phénomènes de pics d'emplois très importants, très difficiles à absorber sans être suivis par des crises à l'échelle des bassins de vie mobilisés. Resserrés dans le temps et concentrés sur quelques unités de production, ils sont en effet impossibles à lisser à l'échelle d'un bassin de vie.

Ces pics, qui ont généralement lieu actuellement au moment des arrêts de tranches, seraient largement amplifiés dans l'hypothèse d'un programme de "grand carénage", et plus encore dans l'hypothèse de la construction de nouveaux réacteurs. Ces réalisations impliqueront l'intégration provisoire, sur les territoires concernés, de personnels qualifiés issus d'autres régions, suivies de leur départ tout aussi rapide. Cette perspective n'est pas propice à une politique de développement pérenne de l'emploi dans les zones concernées.

À l'inverse, les conséquences sociales du scénario de fermeture des centrales nucléaires de la région que porte la déclinaison régionale d'une trajectoire négaWatt apparaissent maîtrisables, à condition de s'entourer des moyens nécessaires à cette maîtrise. Le risque d'un effondrement économique semblable à celui qu'ont entraîné dans d'autres régions la fermeture de bassins sidérurgiques ou miniers, inévitablement présent dans les esprits, doit être relativisé : la dépendance de la région dans son ensemble à l'emploi généré par les centrales nucléaires n'apparaît pas du même ordre. Ce constat à l'échelle régionale doit cependant être relativisé à l'échelle des bassins de vie concernés par ces centrales, qui présentent au contraire une dépendance très forte à cette activité.

Au passage, on peut souligner que ce parallèle avec la fermeture des bassins sidérurgiques ou houillers justifie, à l'échelle des collectivités concernées, de compter sur un accompagnement de leur transition vers d'autres activités par la collectivité nationale. Les élus de ces collectivités, et de la Région, devraient pouvoir compter sur une intervention et un soutien de l'État pour engager les transformations envisagées. L'anticipation de ce besoin, et la préparation des moyens correspondants, est sans doute une clé pour réussir la transition des territoires affectés sans passer par une période de crise.

Cet accompagnement devrait, à l'échelle territoriale, veiller à trois aspects fondamentaux : la transition implique, sur le plan de l'activité et de l'emploi dans chaque bassin d'activité, de combiner un tuilage efficace sur la localisation géographique des emplois, sur leur évolution dans le temps, et sur leur caractérisation du point de vue des compétences.

Le premier volet du tuilage concerne effectivement la localisation : il s'agit, autant que possible, d'implanter de nouvelles activités économiques, en priorité industrielles, de manière à couvrir les mêmes populations, en termes de bassin d'emploi, que les activités nucléaires que ces nouvelles implantations remplacent. Cet enjeu concerne non seulement la possibilité de reconversion des emplois directs, mais également le maintien, par la constance de l'activité, des emplois induits.

Le deuxième niveau est celui du bon phasage entre l'évolution des emplois détruits et créés et l'évolution démographique de la population active dans les bassins d'emploi concernés. Cet aspect porte en premier lieu sur la pyramide des âges des personnels des centrales : une programmation à relativement court terme des fermetures de réacteurs permet de ce point de vue de s'appuyer sur le nombre important de départs en retraite prévus dans les prochaines années dans ces centrales, compte tenu de la pyramide des âges de leur personnel. Au contraire, un report de dix à vingt ans de leur fermeture implique de nombreuses réembauches de personnels auxquels une perspective plus longue ne peut pas être offerte, générant à cette échéance un problème de reconversion plus aigu que celui auquel il s'agit de faire face à court terme. Plus largement, le rythme de déploiement de nouveaux emplois doit tenir compte de l'évolution prévisible de la population active dans le territoire, en particulier des besoins d'embauche à court et moyen terme de jeunes arrivant sur le marché du travail.

Enfin, l'implantation de nouvelles activités et les programmes de formation et de reconversion qui doivent les accompagner doivent tenir compte du tuilage nécessaire du point de vue des domaines de compétence et des niveaux de qualification. En d'autres termes, les nouveaux développements doivent demander des profils aussi compatibles que possible avec ceux des employés laissés sans emploi par la fermeture des centrales, moyennant la prise en compte des départs en retraite, et les possibilités de reconversion, réelles mais limitées, dans le démantèlement des réacteurs.

3.4. Discussion

Dans les discussions à propos de la transition énergétique, la question des emplois apparaît comme centrale, parce qu'au-delà des chiffres ou des courbes obtenus par des modèles les plus réalistes soient-ils, elle touche directement et au quotidien la vie de milliers de travailleurs et de leur famille.

Les estimations présentées dans ce chapitre permettent de préciser les enjeux, et de montrer que la transition énergétique n'est pas synonyme de diminutions du nombre d'emplois. Au niveau national, cela a été clairement montré dans l'étude « L'effet net sur l'emploi de la transition énergétique en France »³⁸. Pour la région Centre-Val de Loire, au-delà du fait que nous n'avons pas pu étudier tous les secteurs impactés par la transition énergétique, le bénéfice en termes d'emplois n'apparaît pas aussi favorable, en raison du poids particuliers du secteur nucléaire.

Dans les secteurs étudiés, le nombre global d'emplois est maintenu, mais de mutations profondes de la nature de ces emplois transparait sous les graphiques présentés. Des actions doivent être entreprises dès maintenant pour accompagner les mutations nécessaires :

- Inventaire des emplois concernés, avec identification des qualification requises, à faire dans les différents bassins de vie du territoire
- Etablissement d'une pyramide des âges par type d'emplois, afin de mieux cerner d'une part comment les départs à la retraite vont les impacter, et d'autre part les créations d'emplois nouveaux nécessaires, afin d'anticiper du mieux possible les recrutements éventuels
- Etablissement d'un plan de formation filière par filière, en fonction d'objectifs chiffrés, afin d'accompagner les nécessaires mutations des emplois.

³⁸ Philippe Quirion. L'effet net sur l'emploi de la transition énergétique en France : Une analyse input-output du scénario négaWatt. CIREN, avril 2013

CONCLUSION

L'objectif de la mission confiée par la région Centre-Val de Loire à l'Institut négaWatt et à ses partenaires est d'explorer les chemins permettant d'aboutir à un paysage énergétique régional principalement basé sur les énergies renouvelables d'ici 2050.

Cela nous a conduits à :

- Analyser les principaux scénarios énergétiques ambitieux dans le monde, pour en identifier les constantes et les divergences (rapport séparé)
- Elaborer un scénario énergétique ambitieux pour Centre-Val de Loire (l'ensemble des hypothèses prises en compte est présentée en partie 1, et les résultats en partie 2)
- Effectuer un zoom sur la thématique de l'emploi, en lien avec la question sensible dans la région du nucléaire (partie 3)
- Analyser les principaux facteurs de ruptures susceptibles d'entraver ou d'accélérer la mise en œuvre du scénario (rapport séparé)
- Définir les principales orientations des politiques publiques susceptibles d'initier la transition énergétique régionale (rapport séparé)).

Nous utilisons ici le terme de « transition énergétique » pour qualifier le passage d'un système énergétique principalement basé sur les énergies fossiles et fissiles, à un système presque uniquement basé sur les énergies renouvelables. La méthode adoptée consiste à élaborer une déclinaison régionale d'une trajectoire nationale définie par le scénario négaWatt national, qui sera actualisé en 2017. Ce scénario se base sur la « démarche négaWatt » (sobriété, efficacité énergétique et énergies renouvelables) et analyse l'ensemble des usages énergétiques (chaleur, mobilité, électricité spécifique), dans les différents secteurs de consommations (bâtiments, transports, industrie et agriculture). Il étudie l'ensemble des potentiels de réduction de consommation d'énergie et de production d'énergie renouvelable au niveau français.

L'approche de régionalisation du scénario national permet de prendre en compte :

- Les caractéristiques et spécificités régionales dans les consommations d'énergie, et les potentiels régionaux pour la production d'énergies renouvelables, tout en explorant l'ensemble des potentiels de réduction des consommations d'énergie (et pas seulement ceux accessibles au niveau régional), ainsi que les vecteurs et productions d'énergies renouvelables les plus pertinents à mobiliser régionalement dans une logique nationale
- L'équilibre offre-demande en électricité au niveau national (équilibre à tout instant entre la consommation et la production électrique), indispensable pour un scénario s'appuyant fortement sur des productions variables.

La régionalisation permet d'inscrire l'évolution des consommations et des productions de la région Centre-Val de Loire dans un contexte national vers un scénario « 100 % renouvelable », dans le respect des potentiels régionaux, en s'appuyant sur le scénario négaWatt 2017.

Il aboutit en 2050 à un taux de couverture de plus 93 % de la consommation d'énergie par des énergies renouvelables produites en France, ainsi qu'à une sortie du nucléaire en 2035 et à une division par 65 des émissions de CO2 du secteur énergétique par rapport à 2012.

Principales tendances du scénario négaWatt régionalisé

Cet exercice confirme le fait que la transition énergétique peut avoir lieu sans attendre d'hypothétiques ruptures technologiques, mais en généralisant les meilleures pratiques et les meilleurs techniques, au niveau des individus, des administrations, des entreprises et des industriels.

Les priorités apparaissent du côté de la réduction des consommations d'énergie, qui est toujours une action « sans regret » et qui rassemble tous les bénéfices. Il apparaît particulièrement important d'agir à court terme sur les gisements de sobriété énergétique : réduction des gaspillages au niveau individuel et collectif et priorisation des besoins conduisant à limiter et pénaliser les consommations liées aux usages superflus. La sobriété s'applique dans les transports (carburants), dans l'industrie (électricité et chaleur pour les process et les locaux, mais aussi sobriété sur les consommations de biens), dans les bâtiments privés comme publics (chauffage et électricité spécifique), dans l'éclairage public, ... L'enjeu est la prise de conscience, puis l'accompagnement des acteurs par tous les moyens disponibles (incitations, réglementations). La sobriété énergétique ne mobilise pas d'investissement financier important mais uniquement du temps, et elle constitue ainsi la démarche la plus rentable pour engager la transition énergétique.

Les réductions de consommations sont également portées par l'efficacité énergétique, qui consiste à réduire la consommation d'énergie pour répondre à un besoin donné. L'enjeu majeur porte sur les bâtiments, et en particulier les logements d'avant 1975, date de la première réglementation thermique. La mise en œuvre d'un grand programme de rénovations thermiques ambitieuses est indispensable à la transition énergétique. Ce programme doit être accompagné pour se dérouler dans de bonnes conditions (formations, ingénierie financière, ...) et il n'atteindra son rythme de croisière que dans plusieurs années. Citons également l'amélioration de l'efficacité énergétique dans les appareils électroménagers, les véhicules, les process industriels, ainsi que la production (cogénération).

Les priorités sont enfin du côté de la production d'énergie renouvelable, avec la nécessité de mobiliser, au niveau régional, les gisements éolien, photovoltaïque et biomasse, par des techniques dont la faisabilité technique ne pose pas de problème majeur (prototypes industriels en fonctionnement), mais dont le développement industriel reste à effectuer.

Ces priorités convergent vers une réduction de la fuite des dépenses régionales d'énergie, et une meilleure valorisation des ressources locales ; tout l'enjeu de ce scénario est de faire passer l'énergie du statut de lourde charge pour les acteurs régionaux au statut de moteur de développement régional.

Cette nécessité d'actions continues plaide pour adopter un « plan guide » de la transition énergétique, avec ses objectifs, ses indicateurs et son phasage ; le scénario négaWatt présenté dans ce rapport peut servir de base programmatique pour définir ce plan d'actions régional.

Les conséquences pour la région d'une sortie du nucléaire

La région Centre-Val de Loire dispose d'un parc de centrales et d'installations nucléaires important. De ce fait, le passage à un système énergétique 100 % ENR, impliquant de fait la fermeture à terme des installations existantes, aura nécessairement un impact majeur sur la région.

L'analyse des conséquences d'une sortie du nucléaire pour la région Centre-Val de Loire montre :

- qu'elle permet de réduire globalement les risques, et de préciser le statut d'importantes quantités de déchets nucléaires situés dans un périmètre proche de la région et qui aujourd'hui sont en attente d'une hypothétique « valorisation »
- que ses retombées négatives, bien que fortement impactantes sur la région au vu du poids particulier de la filière, peuvent être atténuées si un vaste mouvement de mutation des emplois, profitant en particulier des chantiers de la rénovation thermique du bâtiment et du déploiement des énergies renouvelables, peut être engagé dès à présent
- et qu'elle ouvre finalement des opportunités à la région dans le secteur même du nucléaire, avec la possibilité de développer son pôle « démantèlement et déchets », avec des perspectives importantes en France comme à l'international.

Enfin, la sortie du nucléaire au niveau national s'inscrit dans une transition énergétique dont le bilan en emplois au niveau national est largement positif.

Plan d'actions pour accentuer la transition

La mise en œuvre de la transition énergétique décrite dans le scénario négaWatt régionalisé exigera de nombreux échanges avec les partenaires régionaux et interrégionaux, pour mutualiser les expériences, les compétences et les budgets entre acteurs, partager les meilleures pratiques et créer des dynamiques. Elle nécessitera également des investigations économiques, financières, voire sociologiques plus précises, ainsi qu'un renforcement des évaluations des politiques publiques lancées, d'où la mobilisation d'équipes regroupant des compétences multiples. La Région ne pourra en aucun cas être le seul porteur de la transition, qui se joue à différentes échelles, mais elle peut en être un initiateur clé, ainsi qu'un catalyseur dans les années à venir.

Des propositions d'orientations à court et moyen terme de la politique énergétique régionale sont proposées dans un rapport séparé, dans les secteurs du bâtiment, de l'industrie, des transports, de l'agriculture et des énergies renouvelables. Elles sont suffisamment opérationnelles pour être lancées rapidement, et en tout état de cause sans attendre davantage. Engager la transition énergétique est aujourd'hui une opportunité et une urgence pour la Région !

ANNEXE : Diagrammes de Sankey détaillés

