# *RÉUSSIR LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE ET PRÉSERVER LE CLIMAT DES PAYS DE LA LOIRE*

## SCÉNARIO *VERSION AVRIL 2013*

***Contribution citoyenne associative.***

www.virageenergieclimatpdl.org

contact@virageenergieclimatpdl.org.fr

Étude réalisée avec le soutien financier de :

l'esprit grand ouvert Région PAYS DE LA LOIRE

# Remerciements

Virage Énergie-Climat remercie négaWatt et Virage Énergie Nord Pas de Calais qui nous ont montré la voie, les citoyen(ne)s bénévoles qui ont conçu le scénario et fait vivre l'association, la région Pays de la Loire pour son soutien financier, Robert Chiron, Pierre Biche et Philippe Bovet pour avoir accepté de parrainer l'association, les bureaux d'étude Inddigo et Solagro pour leur contribution au scénario, les Centres d'Initiatives pour Valoriser l'Agriculture et le Milieu rural (CIVAM) des Pays de la Loire pour leur expertise sur le chapitre agriculture et forêt, Stéphane Baly et Gildas Le Saux de Virage Énergie Nord Pas de Calais pour leurs précieux conseils et encouragements, Meike Fink et le Réseau Action Climat France pour faire vivre le réseau Intervirages, ainsi que tous les relecteurs pour leurs précieux commentaires.

Le scénario, ses annexes, et les données sources sont disponibles sur le site de Virage Énergie Climat Pays de la Loire :
http://virageenergieclimatpdl.org

Le scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire est mis à disposition sous licence créative commons CC BY-NC-SA 2.0[1]. La reproduction totale ou partielle de ce document, sans en déformer le sens, est vivement encouragée. Merci dans ce cas de citer la source.

1 http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.0/fr/

# LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Logements et énergie, évolution selon notre scénario de 2010 à 2050. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire....28
Tableau 2: Consommation d'énergie et évolution selon notre scénario. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire....29
Tableau 3. Évolution de la consommation d'énergie, dans le secteur tertiaire entre 2009 et 2050 - Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire/....30
Tableau 4. Consommation d'énergie en 2006 et potentiel d'économie d'énergie en 2050. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire....31
Tableau 5. Scénario de mobilisation du potentiel de production d'énergie renouvelable dans les Pays de la Loire. Source : scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire....33
Tableau 6. Logements et énergie, évolution selon notre scénario de 2010 à 2050. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire....45
Tableau 7. Principales caractéristiques des logements en Pays de la Loire en 2006(quantités, surface et consommations d'énergie). Source : Explicit (2009)....48
Tableau 8. Prévisions VEC d'augmentation de la population et du nombre de logements d'ici à 2050 en Pays de la Loire. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire....49
Tableau 9. Dynamique d'évolution annuelle du parc de logements neufs en Pays de la Loire, d'ici à 2050. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire....49
Tableau 10. Prévision d'évolution du parc de logements en Pays de la Loire, d'ici à 2050. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire....50
Tableau 11. Évolution de la consommation d'électricité spécifique entre 2010 et 2050. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire....54
Tableau 12. Prévisions des besoins en énergie, selon les types de logements, en 2050. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire. ....56
Tableau 13. Les besoins en énergie, selon les types de logements en 2050 et gain obtenu par rapport à 2010. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire....58
Tableau 14. Répartition de l'effort de rénovation entre 2010 et 2050. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire....58
Tableau 15. Évolution des consommations d'énergie d'ici à 2050. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire....59
Tableau 16. Évolution des usages de l'énergie dans l'habitat des Pays de la Loire. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire....60
Tableau 17. Comparaison du scénario VEC (logement) et du scénario volontariste SRCAE (logement + tertiaire). Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire....62
Tableau 18. Évolution de la consommation d'énergie, dans le secteur tertiaire entre 2009 et 2050 - Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire/....65
Tableau 19 . Consommation d'énergie dans le secteur tertiaire dans les Pays de la Loire entre 1990 et 2006 - Source : étude Explicit 2009....67

Tableau 20. Répartition des activités selon la surface et la consommation d'énergie - source : étude Explicit 2009 (chiffres 2006).....67
Tableau 21. Consommation d'énergie dans le secteur tertiaire selon le type d'énergie utilisé - Source : étude Explicit 2009 (chiffres 2006).....68
Tableau 22. Consommations d'énergie dans le secteur tertiaire selon les usages - Source : étude Explicit 2009 (chiffres 2006).....68
Tableau 23. Répartition des surfaces dédiées à l'activité tertiaire entre public et privé - Source : SRCAE Pays de la Loire 2011 - Atelier 3.....68
Le Tableau 24 montre un quasi doublement des surfaces consacrées aux activités tertiaires, principalement pour les surfaces privées. A noter que le chiffre de base de la surface actuelle mentionné ici pour fin 2009 (50 000 000) est un peu supérieur à celui indiqué par Explicit pour 2006 (45 864 274).....69
Tableau 25: Évolution des surfaces construites et répartition par activité, d'ici à 2050 - Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.....69
Tableau 26: Prévisions de consommations des locaux à rénover - Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.....71
Tableau 27: Prévisions de consommations des locaux de type BBC - Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.....71
Tableau 28: Prévisions de consommations des locaux de type BEPOS - Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.....71
Tableau 29. Évolution des consommations d'énergie entre 2009 et 2050 - Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.....72
Tableau 30. Évolution des consommations d'énergie entre 1990 et 2050 - Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.....73
Tableau 31. Scénario d'économie d'énergie « volontariste » du SRCAE pour le secteur tertiaire - Source SRCAE Pays de la Loire 2011.....74
Tableau 32: Consommation d'énergie et évolution selon notre scénario. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.....75
Tableau 33. Consommations d'énergie et émissions de gaz à effet de serre (GES) du secteur des transports des Pays de la Loire, variations depuis 1990 et part du bilan régional en 2006. Source : Explicit, 2009.....78
Tableau 34. Consommations d'énergie par types de déplacements terrestres dans les Pays de la Loire en 2006. Source : Explicit, 2009.....79
Tableau 35. Projections en 2010 et 2050 des consommations d'énergie des transports terrestres des Pays de la Loire. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire – Octobre 2012.....79
Tableau 36. Exemple de tableau permettant de croiser les types de trajet et leurs motifs.....84
Tableau 37. Exemple de calcul du gain total d'actions d'économies d'énergie appliquées aux transports. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.....85
Tableau 38. Hypothèses de report des déplacements actuels en voiture, selon les trajets. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire – Octobre 2012.....88

Tableau 39: Estimation du potentiel d'économies d'énergie dans le transport terrestre de personnes des Pays de la Loire en fonction des types de trajets. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.....93
Tableau 40. Estimation du potentiel d'économies d'énergie pour le transport terrestre de marchandises dans les Pays de la Loire en fonction des types de trajets. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.....98
Tableau 41. Estimation du potentiel d'économies d'énergie pour le transport terrestre de marchandises et de personnes dans les Pays de la Loire en 2050. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.....100
Tableau 42: Synthèse du potentiel d'économies d'énergie dans le secteur des transports et déplacements terrestres des Pays de la Loire. Source : scénario Virage Énergie-Climat Pays de la Loire.....101
Tableau 43. Prévisions de l'évolution de la consommation d'énergie du secteur des transports et évolution par rapport à 1990 et 2010 dans le scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire. Source : données 1990 et 2000 : Explicit (2009), 2010-2050 : Virage Énergie Climat. .....102
Tableau 44. Prévisions de la fréquentation, des consommations d'énergie et des émissions de GES imputables à l'aéroport de Nantes jusqu'en 2050 pour le scénario de laisser faire. Source : Virage Énergie-Climat Pays de la Loire.....108
Tableau 45. Evolution de la fréquentation, des consommations d'énergie et des émissions de GES du trafic aérien attribuable à l'aéroport de Nantes. Source : scénario Virage Énergie Climat. .....109
Tableau 46. Scénario de sobriété énergétique du transport maritime des Pays de la Loire en 2050. La colonne « économies d'énergie » présente les réductions de consommation énergétique induites par les différentes actions, par rapport aux consommations 2050 du scénario tendanciel. Source : scénario Virage Énergie-Climat Pays de la Loire.....115
Tableau 47. Nature des besoins en énergie des transports des Pays de la Loire en 2050. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.....118
Tableau 48. Estimations du potentiel d'économies d'énergie pour les transports des Pays de la Loire 1990-2050. Sources : 1990 : Explicit&VEC ; 2010 : Explicit actualisé&VEC ; 2050 : scénario Virage Énergie Climat.....119
Tableau 49. Estimations du potentiel de réduction d'émissions de GES découlant des économies d'énergie réalisées dans les transports des Pays de la Loire 1990-2050. Sources : 1990 : Explicit&VEC ; 2010 : Explicit actualisé&VEC ; 2050 : scénario Virage Énergie Climat.....120
Tableau 50. Évolution de la demande alimentaire 2010-2050 des Pays de la Loire. Source : scénario Virage Énergie-Climat Pays de la Loire.....143
Tableau 51. Évolution du cheptel des Pays de la Loire selon le scénario Afterres2050. Source : scénario Virage Énergie-Climat Pays de la Loire.....147
Tableau 52. Évolution des caractéristiques zootechniques du troupeau laitier "moyen" des Pays de la Loire. Sources : scénario Virage Énergie-Climat Pays de la Loire, Agreste.....148
Tableau 53. Évolution des productions animales des Pays de la Loire. Sources : 2010 : Agreste, 2050 : scénario Virage Énergie-Climat Pays de la Loire.....149

Tableau 54. Demande en alimentation animale hors fourrages et pâture des Pays de la Loire. Source : scénario Virage Énergie-Climat Pays de la Loire.....150
Tableau 55. Évolution des surfaces agricoles en Pays de la Loire entre 2010 et 2050. Sources : 2010 : Agreste, 2050 : scénario Virage Énergie-Climat Pays de la Loire (les surfaces sont arrondies au 10 000 ha).....152
Tableau 56. Proposition de ré-affectation des terres, surfaces en milliers d'hectares. Source : scénario Virage Énergie-Climat Pays de la Loire.....154
Tableau 57. Évolution des productions végétales des Pays de la Loire, 2010-2050. Source : scénario Virage Énergie-Climat Pays de la Loire.....156
Tableau 58: Evolution de l'occupation du territoire des Pays de la Loire, 2010-2050. scénario Virage Énergie-Climat Pays de la Loire.....158
Tableau 59. Évolution de la demande intérieure totale en aliments des Pays de la Loire. Source : scénario Virage Énergie-Climat Pays de la Loire.....160
Tableau 60. Évolution du bilan d'approvisionnement en aliments des Pays de la Loire de 2010 à 2050. Source : scénario Virage Énergie-Climat Pays de la Loire.....161
Tableau 61. Évolution des productions de bio-énergie issue de la forêt et de l'agriculture des Pays de la Loire, 2010-2050. Sources : Atlanbois (2012), scénario Virage Énergie-Climat Pays de la Loire.....163
Tableau 62. Évolution de la ressource en biogaz des Pays de la Loire, 2010-2050. Source : scénario Virage Énergie-Climat Pays de la Loire.....164
Tableau 63. Évolution de la production de bois de la forêt des Pays de la Loire, 2010-2050. Sources 2010 : Agreste et Atlanbois (2012), source 2050 : scénario Virage Énergie-Climat Pays de la Loire.....166
Tableau 64. Évolution de bilan azoté des Pays de la Loire, 2010-2050. Source : scénario Virage Énergie-Climat Pays de la Loire.....168
Tableau 65. Evolution des consommations d'énergie directe et indirecte des Pays de la Loire. Source : scénario Virage Énergie-Climat Pays de la Loire.....170
Tableau 66. Évolution des émissions de gaz à effet de serre agricoles des Pays de la Loire, 2010-2050.....171
Tableau 67. Scénario de mobilisation du potentiel de production d'énergie renouvelable dans les Pays de la Loire. Source : scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.....178
Tableau 68. Scénario de mobilisation du potentiel de production d'énergie renouvelable des Pays de la Loire. Source : Virage Energie-Climat Pays de la Loire.....199
Tableau 69. Estimation et évolution des consommations d'énergie par secteur d'activité en Pays de la Loire entre 2006 et 2050. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.....199
Tableau 70. Estimation et évolution des pertes d'énergie, liées aux énergies renouvelables dans les Pays de la Loire entre 2010 et 2050. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.....203
Tableau 71. Consommation d'énergie en 2006 et potentiel d'économie d'énergie en 2050. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.....209
Tableau 72: Consommations d'énergie et émissions de GES selon diverses sources - Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.....212

Tableau 73: Consommation d'énergie et émissions de GES en Pays de la Loire - Source : Explicit 2006.....213
Tableau 74: Sources d'énergie utilisée dans l'industrie des Pays de la Loire – source Explicit 2006 .....214
Tableau 75: Gisements d'économies d'énergie combustibles / électricité en % - Source : Document de présentation CEREN du 16 novembre 2010 - Journée AFITE-ATEE sur le management de l'énergie.....217
Tableau 76: Prévisions d'évolution de la consommation d'énergie du secteur industriel dans les Pays de la Loire entre 1990 et 2050 - Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.....221
Tableau 77. Nature des besoins en énergie de l'industrie des Pays de la Loire en 2050- Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.....222
Tableau 78: Production régionale de déchets ménagers et assimilés - Source : ADEME, enquête "collecte" 2007, via IFEN-EIDER.....228
Tableau 79: Ventilation des déchets produits en déchetterie en 2009 en région Pays de la Loire - Source : pour la Loire-atlantique, PDEDMA 44, juin 2009.....228
Tableau 80 : Production 2008 des Déchets non dangereux des entreprises en pays de la Loire - Source : ADEME, enquête "déchets des entreprises" 2008, via IFEN-EIDER.....229
Tableau 81 : Récapitulatif des Déchets (ménagers et entreprises confondus) produits en Pays de la Loire (données 2007/2008), par typologie.....230
Tableau 82: Émission de gaz à effet de serre issues de la gestion des déchets ménagers et assimilés en Pays de la Loire et en Loire-atlantique, selon Étude régionale Explicit et PDEDMA 44 .....233
Tableau 83. Estimation des besoins en énergie dans les différents secteur entre 2010 et 2050 en Pays de la Loire. Les consommations d'énergie de l'agriculture d'Explicit sont sous-évaluées pour 1990, 1999 et 2006. Source : Explicit et Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.....237
Tableau 84. Evolution de la répartition des énergies renouvelables selon les usages en Pays de la Loire entre 2010 et 2050 (TWh) - Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire .....241
Tableau 85. Comparaison entre les apports ENR et le total des besoins entre 2010 et 2050 en Pays de la Loire - Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.....242
Tableau 86. Contenu moyen en gaz à effet de serre d'une unité d'énergie non-renouvelable consommée par chaque secteur d'activités des Pays de la Loire (Mt eq.CO2/Mtep) . Source : Explicit (2009).....244
Tableau 87. Scénario d'évolution des émissions de gaz à effet de serre (GES) des Pays de la Loire. Source : Explicit/Virage Energie-Climat Pays de la Loire.....245

# LISTE DES FIGURES

Figure 1. Evolution des besoins en énergie dans les différents secteurs d'activités des Pays de la Loire entre 1990 et 2050. Les consommations d'énergie de l'agriculture d'Explicit sont sous-évaluées pour 1990, 1999 et 2006. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire....25
Figure 2: Évolution du besoin en énergie et de l'apport des ENR entre 2010 et 2050 en Pays de la Loire - Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire....25
Figure 3. Scénario d'évolution des émissions de gaz à effet de serre (GES) des Pays de la Loire. Source : Explicit/Virage Énergie-Climat Pays de la Loire....26
Figure 4: Schéma des sources et flux d'énergie disponibles en Pays de la Loire en 2050 et mise en correspondance avec trois usages principaux : chaleur / mobilité / électricité spécifique - Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire ....34
Figure 5. Consommations d'énergie par secteur d'activité dans les Pays de la Loire en 2006. Consommation totale : 7,8 Mtep. Source : Explicit (2009)....38
Figure 6. Émissions de gaz à effet de serre par secteurs d'activités en 2006 dans les Pays de la Loire. Source : Explicit (2009)....39
Figure 7. Évolution du parc de logements d'ici à 2050, selon la date et le type de construction. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire....51
Figure 8. Évolution du nombre de logements et de la consommation d'énergie de 2010 à 2050. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire....60
Figure 9. Évolution générale de 1990 à 2050 de la consommation d'énergie de l'habitat des Pays de la Loire. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire....61
Figure 10. Évolution de la consommation d'énergie du secteur tertiaire - Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire....73
Figure 11. Répartition des motifs des déplacements locaux un jour de semaine (en %). Source : Insee, SOeS, Inrets – enquête nationale transports et déplacements 2007 – 2008 ....80
Figure 12. Répartition des déplacements selon le type de trajet dans les Pays de la Loire (en %).Source : Insee, SOeS, Inrets – enquête nationale transports et déplacements 2007 – 2008 ....81
Figure 13. Répartition des modes de transport en fonction des motifs de déplacement dans les Pays de la Loire (en %). Source : Insee, SOeS, Inrets – enquête nationale transports et déplacements 2007 – 2008 ....82
Figure 14. Modes de transport utilisés en fonction de la distance domicile-travail dans les Pays de la Loire (en %). Source : Insee, SOeS, Inrets – enquête nationale transports et déplacements 2007 – 2008 ....83
Figure 15. Composition du gisement de négaWatts des déplacements de personnes des Pays de la Loire. Les actions de sobriété sont en bleu, les actions d'efficacité énergétique des déplacements en voiture en rouge et les reports vers des modes de transport plus économes en vert. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire....95

Figure 16. Composition du gisement de négaWatts du transport de marchandises des Pays de la Loire. Les actions de sobriété sont en bleu, les actions d'efficacité énergétique des camions en rouge/jaune et le report vers le rail en vert. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.....99
Figure 17. Prévisions de l'évolution de la consommation d'énergie du secteur des transports et déplacements (T&D) dans le scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.....102
Figure 18: Evolution du nombre de passagers et des émissions de GES totales de l'aéroport de Nantes Atlantique. Source : DGAC, 2010.....104
Figure 19: Scénarios de consommation de kérosène de l'aéroport de Nantes. Source : Virage Énergie-Climat Pays de la Loire.....107
Figure 20. Evolution des consommations d'énergie du transport maritime des Pays de la Loire. Source : scénario Virage Énergie-Climat Pays de la Loire.....116
Figure 21. Évolution des consommations d'énergie des transports des Pays de la Loire 1990-2050. Source : scénario Virage Énergie-Climat Pays de la Loire.....117
Figure 22. Part en 2010 des principales occupations des territoires en % de la surface totale du territoire concerné. Source : Agreste Pays de la Loire, 2011.....130
Figure 23. Répartition géographique des activités agricoles en Pays de la Loire . Source : Agreste. .....131
Figure 24. Les "6 F" : 6 usages de la biomasse envisagés dans Afterres. Source Afterres2050.. 137
Figure 25. Évolution des besoins en alimentation humaine des Pays de la Loire entre 2010 et 2050 après application du scénario Afterres. Source : scénario Virage Énergie-Climat Pays de la Loire.....144
Figure 26. Evolution des aliments consommés et des déchets de l'alimentation humaine en France de 1960 à 2050. Source : scénario Afterres2050. Besoins ANC = besoins annuels conseillés par la FAO, déchets comestibles : déchets qui pourraient être consommés mais qui sont gâchés.....145
Figure 27. Évolution du cheptel des Pays de la Loire (hors volaille) selon le scénario Afterres2050. Source : scénario Virage Énergie-Climat Pays de la Loire.....147
Figure 28. Évolution des productions animales des Pays de la Loire. Source : scénario Virage Énergie-Climat Pays de la Loire.....149
Figure 29. Évolution de la demande en alimentation animale hors fourrages et pâture des Pays de la Loire. Source : scénario Virage Énergie-Climat Pays de la Loire.....150
Figure 30. Évolution des surfaces agricoles en Pays de la Loire entre 2010 et 2050 (milliers d'hectares). Source : scénario Virage Énergie-Climat Pays de la Loire.....153
Figure 31. Proposition de ré-affectation des terres, surfaces en milliers d'hectares. Source : scénario Virage Énergie-Climat Pays de la Loire.....154
Figure 32. Évolution des productions végétales des Pays de la Loire, 2010-2050. Source : scénario Virage Énergie-Climat Pays de la Loire.....157
Figure 33. Evolution de l'occupation du territoire des Pays de la Loire, 2010-2050. Source : scénario Virage Énergie-Climat Pays de la Loire.....158
Figure 34. Évolution de la demande intérieure totale en aliments des Pays de la Loire. Source : scénario Virage Énergie-Climat Pays de la Loire.....160

Figure 35. Évolution du bilan d'approvisionnement en aliments des Pays de la Loire de 2010 à 2050. Source : AfterresPdL.....161
Figure 36. Évolution des productions de bio-énergie issue de la forêt et de l'agriculture des Pays de la Loire, 2010-2050. Source : scénario Virage Énergie-Climat Pays de la Loire.....163
Figure 37. Bilan azoté des Pays de la Loire en 2010. Source : scénario Virage Énergie-Climat Pays de la Loire.....168
Figure 38. Bilan azoté des Pays de la Loire en 2050. Source : scénario Virage Énergie-Climat Pays de la Loire.....169
Figure 39. Evolution des consommations d'énergie directe et indirecte des Pays de la Loire. Source : scénario Virage Énergie-Climat Pays de la Loire.....170
Figure 40. Émissions de gaz à effet de serre agricoles des Pays de la Loire en 2010.....171
Figure 41. Émissions de gaz à effet de serre agricoles des Pays de la Loire en 2050.....171
Figure 42. Évolution de la production d'énergie issue du solaire photovoltaïque entre 2010 et 2050. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.....182
Figure 43. Évolution de la production d'énergie issue du solaire thermique et de ses différents usages dans les Pays de la Loire, entre 2010 et 2050. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.....183
Figure 44. Évolution de la production d'énergie issue du grand éolien terrestre dans les Pays de la Loire entre 2010 et 2050. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.....186
Figure 45. Évolution de la production d'énergie issue de l'éolien maritime (off-shore flottant et off-shore planté) dans les Pays de la Loire entre 2010 et 2050. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.....188
Figure 46. Évolution de la production d'énergie issue du petit éolien dans les Pays de la Loire entre 2010 et 2050. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.....189
Figure 47. Évolution de la production d'énergie issue du bois-énergie dans les Pays de la Loire, entre 2010 et 2050. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.....191
Figure 48. Évolution et répartition de la production d'énergie issue du biogaz en cogénération dans les Pays de la Loire, entre 2010 et 2050. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.....193
Figure 49. Évolution de la production de biogaz carburant dans les Pays de la Loire entre 2010 et 2050 (TWh en bleu, Mtep en rouge). Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.....194
Figure 50. Évolution de la production d'agrocarburant dédié à la mobilité dans les Pays de la Loire, entre 2010 et 2050. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.....195
Figure 51. Estimation et répartition de la production d'énergie renouvelable en Pays de la Loire en 2020. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.....198
Figure 52. Estimation et répartition de la production d'énergie renouvelable en Pays de la Loire en 2050. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.....198
Figure 53. Réseaux nationaux et méthanation. Source : négaWatt (scénario 2011).....202
Figure 54. Estimation et répartition des pertes d'énergie, liées aux énergies renouvelables dans les Pays de la Loire en 2050. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.....204
Figure 55. Éolien et flux d'énergie (production et usage en Pays de la Loire en 2050). Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.....205

Figure 56. Tableau général des sources et flux d'énergie dans les Pays de la Loire en 2050. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.....206
Figure 57. Part des branches industrielles dans l'emploi salarié industriel en 1999 - Source : Insee (enquête emploi au lieu de travail).....213
Figure 58. Gisements d'économies d'énergie combustibles / électricité (GWh) - Source : Document de présentation CEREN du 16 novembre 2010 - Journée AFITE-ATEE sur le management de l'énergie.....217
Figure 59. Répartition des gains selon les actions - Source : Lettre du CEREN, n°17, mai 2010. 217
Figure 60. Gisement d'économie d'énergie en GWh, par opération et temps de retour - Source : Lettre du CEREN, n°17, mai 2010.....218
Figure 61. Gisement d'émissions évitables de CO2 (8,6 Mt) )(potentiel national - Source : Lettre du CEREN, n°17, mai 2010.....218
Figure 62. Évolution de la consommation d'énergie (en Mtep) de l'industrie des Pays de la Loire de 2010 à 2050.- Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.....221
Figure 63. Evolution des besoins en énergie dans les différents secteurs d'activités des Pays de la Loire entre 1990 et 2050. Les consommations d'énergie de l'agriculture d'Explicit sont sous-évaluées pour 1990, 1999 et 2006. Source : Scénario Virage Énergie Climat PdL.....238
Figure 64: Schéma des sources et flux d'énergie disponibles en Pays de la Loire en 2050 et mise en correspondance avec trois usages principaux : chaleur / mobilité / électricité spécifique - Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire .....240
Figure 65. Evolution de la répartition des énergies renouvelables selon les usages en Pays de la Loire entre 2010 et 2050 (TWh) - Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire .....241
Figure 66. Écart entre production d'ENR et besoins d'énergie entre 2010 et 2050 en Pays de la Loire - Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.....242
Figure 67: Évolution du besoin en énergie et de l'apport des ENR entre 2010 et 2050 en Pays de la Loire - Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.....243
Figure 68. Scénario d'évolution des émissions de gaz à effet de serre (GES) des Pays de la Loire. Source : Explicit/Virage Energie-Climat Pays de la Loire.....245

# Sommaire

1. RESUME DU SCENARIO....22
1.1. Présentation de Virage Énergie-Climat Pays de la Loire....23
1.1.1. Le contexte....23
1.1.2. Le projet de Virage Énergie Climat Pays de la Loire....23
1.1.3. Notre méthodologie....24
1.2. Principaux résultats de notre scénario....24
1.3. Transition énergétique et vie quotidienne en Pays de la Loire....27
1.4. Économies d'énergie dans l'habitat....28
1.5. Économies d'énergie dans les transports et déplacements....29
1.6. Économies d'énergie dans le secteur tertiaire....30
1.7. Économies d'énergie dans l'industrie....31
1.8. Gestion des déchets....31
1.9. Agriculture et forêt....32
1.10. Potentiel de production d'énergies renouvelables....33
1.11. Propositions pour une transition énergétique réussie....35
2. INTRODUCTION....36
2.1. Notre constat....36
2.1.1. Crises globales....36
2.1.2. Les enjeux locaux....38
2.2. Une réponse locale et citoyenne : le scénario « Virage Énergie-Climat Pays de la Loire »....39
2.2.1. Objectifs....39
2.2.2. Méthode d'élaboration du scénario....40
2.2.3. Les actions de Virage Énergie-Climat Pays de la Loire....42
2.2.3.1. Participation aux consultations des collectivités locales sur l'énergie et le climat....42
2.2.3.2. Sensibilisation aux enjeux énergétiques et climatiques....43
2.2.3.3. Élaboration du scénario....43
2.3. Références....44
3. HABITAT....45
3.1. Résumé....45
3.2. Introduction....46
3.3. Les données et la méthode utilisée....46
3.3.1. Sources de données....46
3.3.2. Méthodologie employée....47
3.3.2.1. Périmètre de l'étude....47

3.3.2.2. Méthode globale....47
3.3.3. Données de base et projections à 2050....48
3.3.3.1. Logements et consommation d'énergie en 2006....48
3.3.3.2. Hypothèses sur l'évolution de la population et du nombre de logements....48
3.3.3.3. Scénario d'évolution du parc de logements d'ici à 2050....49
3.3.4. Nos propositions pour les actions d'économie d'énergie....52
3.3.4.1. Identification des leviers d'économies d'énergie dans l'habitat....52
3.3.4.2. Les économies d'énergie sur le chauffage....52
3.3.4.3. Les économies d'énergie sur l'eau chaude sanitaire (ECS)....53
3.3.4.4. Les économies d'énergie sur l'électricité spécifique....54
3.3.4.5. Les économies d'énergie sur la cuisson....55
3.3.4.6. Un levier d'économies d'énergie supplémentaire : le comportement des habitants. .55
3.3.5. Prévisions de besoins en énergie à terme par type de logements....56
3.3.5.1. Stratégie de rénovation thermique des logements anciens et actuels....58
3.4. Résultats....59
3.4.1. Évolution des usages de l'énergie....60
3.4.2. Évolution de la consommation d'énergie de l'habitat des Pays de la Loire entre 1990 et 2050....61
3.5. Discussion et comparaison avec d'autres scénarios....62
3.5.1. Le scénario du Grenelle de l'environnement en 2009....62
3.5.2. Le scénario « volontariste » présenté lors du SRCAE....62
3.6. Conclusions....62
3.7. Références....63
4. SECTEUR TERTIAIRE....65
4.1. Résumé....65
4.2. Introduction....66
4.3. Les données et la méthode utilisée....66
4.3.1. Sources de données....66
4.3.2. Méthodologie employée....67
4.3.3. Les données de base....67
4.3.4. Évolution des surfaces....69
4.3.5. Prévisions des consommations d'énergie....70
4.3.5.1. Locaux à rénover (construits avant 2013)....70
4.3.5.2. Locaux de type BBC (construits entre 2013 et 2020)....71
4.3.5.3. Locaux de type BEPOS (construits de 2021 à 2050)....71
4.3.6. Le comportement des usagers....72

4.4. Les résultats....72
4.5. Discussion....74
SRCAE Pays de la Loire, présentation du scénario « volontariste »....74
4.6. Conclusion....74
4.7. Références....74
5. TRANSPORTS ET DEPLACEMENTS....75
5.1. Résumé....75
5.2. Introduction....76
5.3. Potentiel d'économies d'énergie pour les transports terrestres des Pays de la Loire....77
5.3.1. Données et méthodes utilisées....77
5.3.1.1. Les sources de données....77
5.3.1.2. Hypothèses....77
5.3.1.3. Méthodologie de scénarisation de l'impact énergétique et climatique des transports terrestres....78
5.3.2. Bilans des consommations d'énergie et des émissions de gaz à effet de serre des transports terrestres des Pays de la Loire....78
5.3.2.1. Les consommations d'énergie et émissions de gaz à effet de serre en 2006....78
5.3.2.2. Projection des consommations d'énergie des transports en 2010 et 2050....79
5.3.3. Analyse des déplacements de personnes dans la région Pays de la Loire....80
5.3.3.1. Les motifs de déplacements....80
5.3.3.2. Les types de trajets....81
5.3.3.3. Modes et motifs de déplacement....82
5.3.3.4. Modes de déplacements et distance domicile-travail....83
5.3.4. Comment calculer l'effet des économies d'énergie dans les transports ?....83
5.3.4.1. Qu'est ce qu'un déplacement ?....83
5.3.4.2. Méthode d'estimation des économies d'énergie réalisables dans les transports....84
5.3.5. Propositions d'actions d'économie d'énergie pour les déplacements de personnes....86
5.3.5.1. Réduire le nombre de déplacements....86
5.3.5.2. Réduire les distances parcourues : rapprocher l'habitat et les activités....87
5.3.5.3. Remplacer la voiture par d'autres modes de déplacement....88
5.3.5.4. Améliorer l'efficacité énergétique des déplacements en voiture....90
5.3.5.5. Efficacité énergétique des autres modes de déplacement....91
5.3.5.6. Estimation du potentiel d'économie d'énergie pour les déplacements terrestres de personnes....92
5.3.6. Économies d'énergie pour le transport des marchandises....96
5.3.6.1. Propositions pour la réduction du tonnage des marchandises et des distances parcourues....96

5.3.6.2. Report de 50 % du trafic de marchandises de la route vers le rail.....97
5.3.6.3. Amélioration de l'efficacité énergétique du transport par camion.....97
5.3.6.4. Estimation du potentiel global d'économies d'énergie pour le transport de marchandises.....98
5.3.7. Consommation d'énergie des transports terrestres dans les Pays de la Loire en 2050. . .99
5.3.7.1. Potentiel global d'économies d'énergie pour le transport terrestre dans les Pays de Loire en 2050.....99
5.3.7.2. Calendrier de mise en œuvre des actions d'économies d'énergie dans le secteur des transports des Pays de la Loire.....101
5.3.8. Comparaison avec le volet 'transport' du Schéma Régional Climat Air Énergie Pays de la Loire.....102
5.4. Potentiel d'économies d'énergie pour le transport aérien des Pays de la Loire.....104
5.4.1. Contexte du transport aérien dans les Pays de la Loire.....104
5.4.2. Méthode utilisée.....105
5.4.2.1. Hypothèses.....105
5.4.2.2. Méthode de scénarisation.....105
5.4.3. Résultats.....106
5.4.3.1. Scénario de laisser-faire pour le transport aérien.....107
5.4.3.2. Scénario de sobriété énergétique dans le transport aérien.....108
5.4.4. Discussion et conclusions.....109
5.5. Potentiel d'économies d'énergie pour le transport maritime des Pays de la Loire.....112
5.5.1. Contexte du transport maritime des Pays de la Loire.....112
5.5.2. Méthode de scénarisation.....113
5.5.2.1. Périmètre.....113
5.5.2.2. Sources de données.....113
5.5.2.3. Analyse des consommations d'énergie et émissions de GES du transport maritime des Pays de la Loire.....113
5.5.3. Résultats.....114
5.5.3.1. Consommations d'énergie et émissions de GES du transport maritime des Pays de la Loire en 2009.....114
5.5.3.2. Scénario de sobriété énergétique du transport maritime des Pays de la Loire en 2050.....115
5.5.4. Conclusion.....116
5.6. Potentiels de réduction des consommations d'énergie et des d'émissions de GES afférentes pour les transports des Pays de la Loire.....117
5.6.1.1. Évolution de la nature des besoins en énergie des transports des Pays de la Loire .....117

Conclusions....121
5.7. Références....123
5.7.1. Pour aller plus loin : bibliographie thématique....125
6. agriculture et forêt....128
6.1. Résumé....128
6.2. Introduction....129
6.3. Contexte de l'agriculture et de la forêt des Pays de la Loire....130
6.3.1. L'agriculture des Pays de la Loire....130
6.3.1.1. Utilisation des terres....130
6.3.2. Productions....131
6.3.3. La forêt en Pays de la Loire....132
6.3.4. Les enjeux énergétiques et climatiques de l'agriculture et de la forêt....133
6.4. Le scénario Virage Énergie-Climat pour l'agriculture et la forêt des Pays de la Loire....135
6.4.1. Une réponse systémique aux enjeux énergétiques et climatiques de l'agriculture et de la forêt des Pays de la Loire : Afterres2050....135
6.4.2. Méthode de scénarisation....136
6.4.2.1. L'approche Afterres2050....136
6.4.2.2. Transposition d'Afterres à la région Pays de la Loire....137
6.4.2.3. Méthode d'inventaire pluriannuel des émissions de GES agricoles des Pays de la Loire....139
6.5. Résultats....141
6.5.1. Le scénario Virage Énergie Climat pour l'agriculture et la forêt des Pays de la Loire....141
6.5.1.1. Évolution des besoins en alimentation humaine des Pays de la Loire....141
6.5.1.2. Scénario d'évolution des productions animales des Pays de la Loire....145
6.5.2. Évolution des productions végétales des Pays de la Loire....151
6.5.2.1. Évolution des systèmes de cultures....151
6.5.2.2. Évolution des surfaces agricoles....152
6.5.2.3. Évolution des productions végétales des Pays de la Loire....156
6.5.3. Évolution de l'occupation du territoire des Pays de la Loire....157
6.5.3.1. Évolution de la forêt des Pays de la Loire....159
6.5.4. Bilan d'approvisionnement en aliments des Pays de La Loire....159
6.5.5. Énergie et valorisations non alimentaires de la biomasse de l'agriculture et de la forêt des Pays de la Loire....162
6.5.5.1. Produire des bioénergies avec la biomasse agricole et forestière des Pays de la Loire....162
6.5.5.2. Production de bois....166

6.5.6. Évolution des indicateurs environnementaux de l'agriculture et de la forêt des Pays de la Loire de 2010 à 2050 ..... 168
6.5.6.1. Évolution du bilan azoté des Pays de la Loire ..... 168
6.5.6.2. Évolution des consommations d'énergie de l'agriculture des Pays de la Loire ..... 170
6.5.6.3. Les émissions de gaz à effet de serre agricoles des Pays de la Loire de 2010 à 2050 ..... 171
6.5.6.4. Des agrosystèmes plus résistants au changement climatique ..... 173
6.6. Discussion et conclusions ..... 174
6.7. Références ..... 176
7. ÉNERGIES RENOUVELABLES ..... 178
7.1. Résumé ..... 178
7.2. Introduction ..... 179
7.2.1. Contexte géographique et physique ..... 179
7.2.2. Contexte socio-économique et politique ..... 179
7.3. Les données et la méthode utilisée ..... 180
7.3.1. Sources de données ..... 180
7.3.2. Méthodologie employée ..... 180
7.3.3. La production d'énergie à partir des énergies renouvelables ..... 181
7.3.3.1. Le gisement solaire direct ..... 181
7.3.3.2. Le gisement éolien ..... 184
7.3.3.3. Le gisement biomasse ..... 190
7.3.3.4. L'hydroélectricité ..... 196
7.3.3.5. Les énergies marines ..... 197
7.3.4. Synthèse des potentiels bruts d'énergies renouvelables ..... 198
7.3.5. La gestion des flux d'énergies produits ..... 199
7.3.5.1. Adéquation entre production et besoins d'énergie et les alternatives possibles ..... 199
7.3.5.2. L'adaptation directe production/consommation ..... 200
7.3.5.3. Les pertes d'énergies ..... 203
7.3.5.4. Sources et flux d'énergie en 2050 ..... 204
7.4. Discussion ..... 207
7.4.1. Le scénario négaWatt 2011 ..... 207
7.4.2. Le Schéma Régional Climat Air Energie (SRCAE) ..... 207
7.5. Conclusions ..... 207
7.6. Références ..... 208
8. INDUSTRIE ..... 209
8.1. Résumé ..... 209

8.2. Introduction ..... 210
8.3. Données et méthode utilisée..... 210
8.3.1. Les sources de données..... 210
8.3.2. Méthodologie employée ..... 211
8.3.2.1. Périmètre de notre étude..... 211
8.3.2.2. Méthode globale ..... 211
8.3.3. Les données de base..... 212
8.3.3.1. Les données disponibles..... 212
8.3.3.2. Données générales sur l'industrie en région Pays de la Loire..... 213
8.3.4. Les gisements d'économies d'énergie..... 214
8.3.4.1. Ajuster le volume de la production industrielle ..... 214
8.3.4.2. Amélioration de l'efficacité sur les opérations transverses..... 216
8.3.4.3. Économies d'énergie sur les process industriels..... 219
8.3.4.4. Économies et substitution d'énergie..... 219
8.3.5. Gisement d'économie d'énergie dans l'industrie du scénario negaWatt..... 220
8.4. Discussion : synthèse et résultats retenus pour notre étude ..... 220
8.4.1. Discussion ..... 220
8.4.2. Notre évaluation..... 221
8.4.3. Calendrier d'évolution par décade..... 221
8.4.4. Répartition entre formes d'énergie chaleur et électrique..... 222
8.5. Références..... 222
9. GESTION DES DECHETS..... 225
9.1. Résumé ..... 225
9.2. Introduction ..... 226
9.3. Méthode et données ..... 227
9.3.1. Sources des données..... 227
9.3.2. Méthode..... 227
9.3.2.1. Périmètre de l'étude ..... 227
9.3.2.2. Méthode globale..... 227
9.3.3. Production actuelle de déchets..... 228
9.3.4. Impacts actuels sur l'énergie..... 231
9.3.4.1. La production énergétique des incinérateurs en Pays de la Loire..... 231
9.3.4.2. Production énergétique à partir de biogaz "de décharge" :..... 232
9.3.4.3. Production énergétique via la méthanisation "contrôlée" ..... 232
9.3.5. Impacts actuels sur le climat..... 233
9.3.6. Prospectives d'évolution de la production de déchets..... 234

9.4. Synthèse des résultats ..... 235
10. SYNTHESE DU SCENARIO VIRAGE ENERGIE-CLIMAT PAYS DE LA LOIRE..... 236
10.1. Résumé..... 236
10.2. Introduction..... 237
10.3. Scénario d'adéquation entre besoins et production d'énergies renouvelables dans les Pays de la Loire de 2010 à 2050..... 237
10.3.1. Adéquation entre besoins et production d'énergies renouvelables dans les Pays de la Loire en 2050..... 237
10.3.2. Evolution des besoins et des production d'énergies renouvelables dans les Pays de la Loire de 2010 à 2050..... 241
10.4. Scénario de réduction des émissions de gaz à effet de serre des Pays de la Loire de 2010 à 2050..... 244
10.4.1. Méthode employée pour l'estimation des émissions de GES..... 244
10.4.2. Résultats..... 245
10.5. Discussion et conclusions..... 246
10.6. Références..... 246
11. NOTRE VIE QUOTIDIENNE EN 2050..... 247
11.1. Introduction..... 247
11.2. Habiter autrement..... 247
11.3. Consommer et produire autrement..... 248
11.4. Recycler, échanger..... 249
11.5. Se déplacer autrement ..... 249
11.6. Produire l'énergie..... 250
12. L'équipe Virage énergie-Climat Pays de la Loire..... 251

# 1. RESUME DU SCENARIO

*VERSION AVRIL 2013*

## *RÉUSSIR LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE ET PRÉSERVER LE CLIMAT DES PAYS DE LA LOIRE*

www.virageenergieclimatpdl.org
contact@virageenergieclimatpdl.org.fr

Étude réalisée avec le soutien financier de :

## 1.1. Présentation de Virage Énergie-Climat Pays de la Loire

Ce document présente le résumé du scénario établi par l'association Virage Énergie Climat Pays de la Loire (VEC) en avril 2013. Construit à l'échelle de la région et avec des exigences de justice sociale et de solidarité, ce scénario citoyen propose des mesures afin de :

- préparer un autre système énergétique basé sur les économies d'énergie et les énergies renouvelables permettant de se passer des énergies classiques (pétrole, gaz, nucléaire , etc), polluantes et dangereuses pour l'environnement,
- réduire fortement toutes nos émissions de gaz à effet de serre, afin de répondre à l'urgence climatique.

Le texte complet du scénario est disponible sur le site de l'association :
http://virageenergieclimatpdl.org

### 1.1.1. Le contexte

Le changement climatique est le résultat de l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre (GES) engendrées par les activités humaines, notamment depuis l'utilisation massive du charbon, du gaz et du pétrole qui émettent du CO2. Selon le Groupement Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC), pour limiter ce dérèglement climatique, il faut une réduction très forte des émissions de GES des pays industrialisés, réduction de l'ordre de 80 % à 90 % en 2050 (par rapport à 1990.

D'un autre côté, l'épuisement des ressources énergétiques se traduit par un accroissement des déséquilibres géopolitiques et la montée de la précarité énergétique. La catastrophe de Fukushima en mars 2011 rappelle que l'énergie nucléaire n'est pas une solution durable. Face à ces contraintes planétaires, il faut préparer une véritable transition énergétique et écologique.

### 1.1.2. Le projet de Virage Énergie Climat Pays de la Loire

Virage Énergie Climat Pays de la Loire (VEC) est une association composée de bénévoles, dont certains ont des compétences personnelles et professionnelles sur l'énergie et le climat. Son projet initial est d'établir un scénario énergie-climat citoyen pour les Pays de la Loire et d'en assurer la diffusion. VEC entend ainsi contribuer à diffuser une culture «énergie/climat» et participer aux différentes formes du débat public sur ces questions. L'association a été créée en septembre 2009, des rapports d'étape ont été publiés en octobre 2010 et 2012. Une subvention de la Région des Pays de la Loire en 2011/2012 nous a permis de finaliser le scénario en avril 2013.

### 1.1.3. Notre méthodologie

Nous prenons en compte une augmentation de la population des Pays de la Loire de 28 % d'ici à 2050 (d'après les projections de l'INSEE).
Nos travaux s'appuient sur les démarches *négaWatt*[2] pour l'énergie et *Afterres2050*[3] pour l'agriculture et la forêt, basées sur les principes suivants :

- raisonner sur les besoins et les usages (alimentaires, énergétiques...) avant d'envisager la production, afin de se fixer les bons objectifs et d'éliminer les gaspillages (sobriété),
- utiliser les appareils et les techniques déjà existantes les plus efficaces dans une approche systémique, visant à générer des dividendes multiples et mettre en place un scénario de non-regret,
- évaluer le potentiel de développement des filières de production durables : énergies renouvelables (ENR), cultures biologique et intégrée, élevage extensif à l'herbe, etc... et le comparer aux besoins.

Le bureau d'études Inddigo nous a épaulé sur les chapitres énergétiques et Solagro a transposé le scénario Afterres2050 aux Pays de la Loire pour alimenter le chapitre agriculture et forêt.

## 1.2. Principaux résultats de notre scénario

Le scénario Virage Énergie-Climat a estimé les besoins en énergie pour le chauffage, les déplacements et l'électricité des Pays de la Loire en 2050, après application des mesures de descente énergétique qu'il préconise. Le potentiel régional de production d'énergie finale renouvelable a également été évalué dans le cadre du scénario, en prenant en compte l'intermittence de certaines énergies renouvelables et les pertes d'énergie.

La comparaison par usage des besoins régionaux avec le potentiel de production d'énergie finale renouvelable montre que tous les besoins énergétiques des Pays de la Loire pourraient être couverts par des énergies renouvelables (ENR), produites sur le territoire régional en 2046. La région deviendrait exportatrice nette d'électricité renouvelable, à partir de 2047, et pourrait notamment contribuer à alimenter d'autres régions fortement consommatrices, mais faiblement productrices d'ENR (par exemple l'Île-de-France).

Ce scénario de transition énergétique régionale n'est applicable qu'à la condition d'économiser en moyenne 56 % de l'énergie qui était consommée en 2010 dans tous les secteurs d'activités (Figure 1).

2 www.negawatt.org
3 http://www.solagro.org/site/393.html

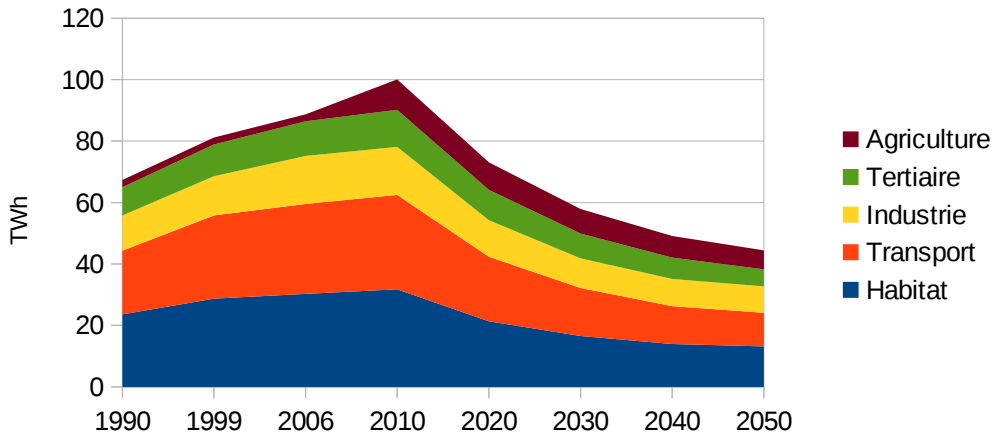



*Figure 1. Evolution des besoins en énergie dans les différents secteurs d'activités des Pays de la Loire entre 1990 et 2050. Les consommations d'énergie de l'agriculture d'Explicit sont sous-évaluées pour 1990, 1999 et 2006. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.*

Le scénario Virage Énergie-Climat prévoit une diminution progressive de l'usage des énergies non renouvelables polluantes (fossiles et fissiles), qui seraient peu à peu remplacées par des énergies renouvelables produites dans la région. Les énergies non renouvelables disparaîtraient du bouquet énergétique régional en 2046, ainsi que toutes les émissions de gaz à effet de serre (GES) d'origine énergétique qu'elles engendraient (Figure 2).

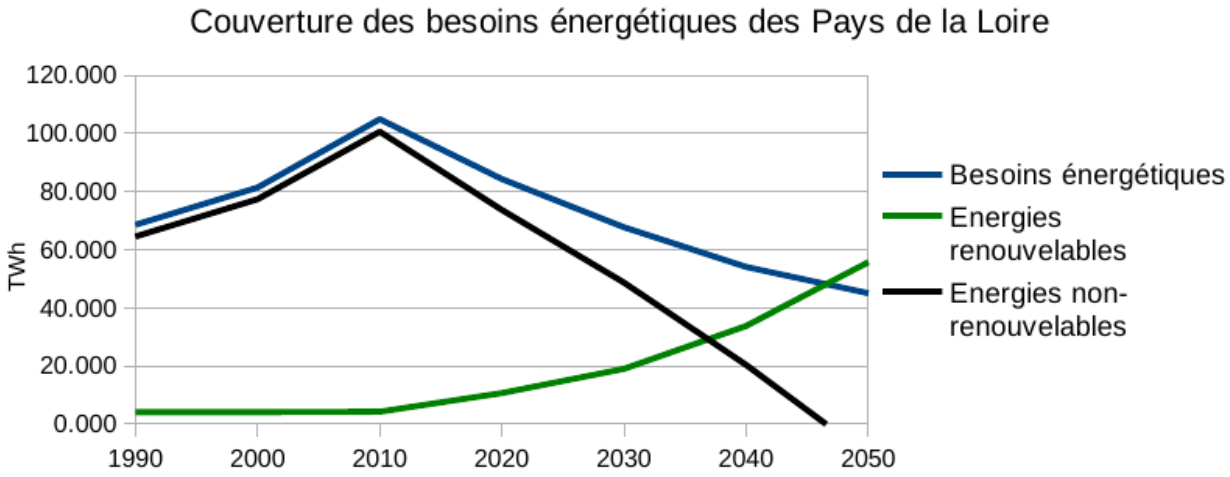



*Figure 2: Évolution du besoin en énergie et de l'apport des ENR entre 2010 et 2050 en Pays de la Loire - Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire*

Les émissions de GES non-énergétiques de l'agriculture et de la forêt diminuent parallèlement de 60 %, avec la mise en place de la transition alimentaire et agricole préconisée par Virage Énergie-Climat. Le système agricole et sylvicole durable qui se met en place, permet d'atteindre l'autosuffisance régionale pour l'alimentation humaine en 2050, et de fournir un tiers de l'énergie et des matériaux et molécules bio-sourcées aux autres secteurs d'activité régionaux.

Le scénario Virage Énergie-Climat aboutit à une réduction globale des émissions de GES des Pays de la Loire de 83 % en 2050. Ceci permet d'aller au-delà de l'obligation légale de diminution de 75 % des émissions de GES en 2050, inscrite dans la loi sur l'énergie de 2005, et de contribuer de façon exemplaire à limiter le dérèglement climatique (Figure 3).

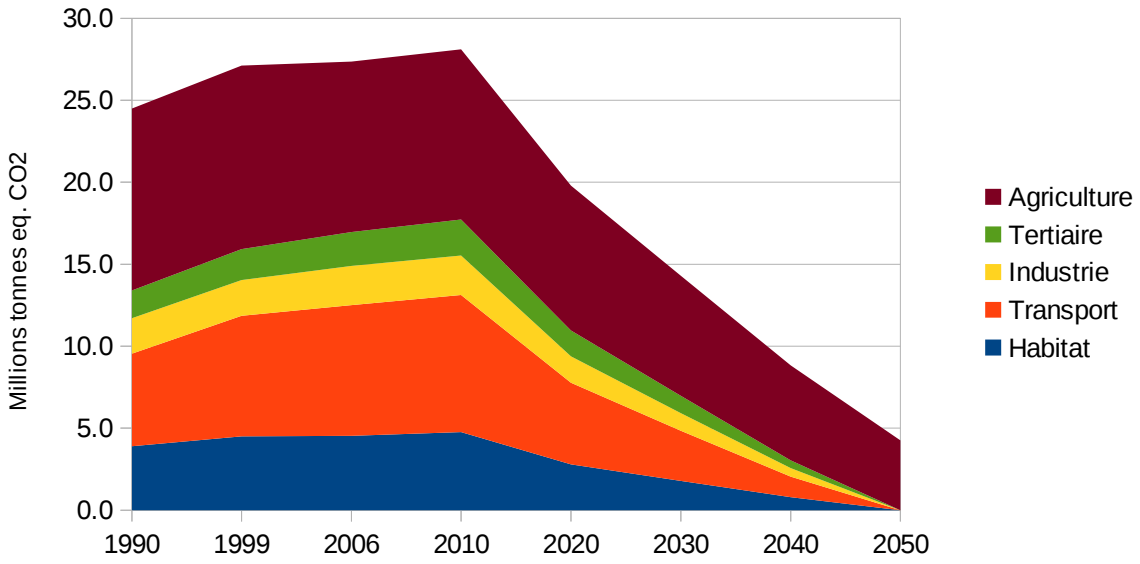



*Figure 3. Scénario d'évolution des émissions de gaz à effet de serre (GES) des Pays de la Loire. Source : Explicit/Virage Énergie-Climat Pays de la Loire.*

Le nouveau système énergétique, agricole et sylvicole préconisé par le scénario Virage Énergie-Climat permet surtout d'assurer une sécurité d'approvisionnement en énergie, nourriture, matériaux et molécules aux Pays de la Loire, tout en relocalisant largement les activités.

Le scénario Virage Énergie-Climat Pays de la Loire est donc un scénario de non-regret, dont les multiples dividendes prépareront les Pays de la Loire à traverser dans de bonnes conditions les chocs énergétiques, climatiques et alimentaires qui s'annoncent.

## 1.3. Transition énergétique et vie quotidienne en Pays de la Loire

Quelle sera notre vie quotidienne en 2050 ? Notre transition repose sur le retour à l'humain, au lien social et au local, basé sur un partage équitable des richesses et du travail.

Habiter autrement

En 2050, tous les logements sont très économes en énergie. Les besoins de chauffage sont réduits à leur strict minimum, car tout le parc ancien (d'avant 2010) a été rénové. L'usage de matériaux d'origine locale s'accompagne d'une faible énergie grise et favorise les emplois dans les territoires au plus proche des habitations. Les métiers du bâtiment (neufs et rénovation) ont été largement redynamisés, en relation avec des coopératives qui regroupent les auto-constructeurs. La mixité des fonctions (résidentiel, activités professionnelles et commerciales) est désormais un critère dans tout programme immobilier, pour permettre aux habitants de réduire leurs déplacements, dans le cadre des « villes des courtes distances ».

Consommer et produire autrement

La recherche des circuits courts est devenue systématique, tant pour les citoyens que pour les entreprises. Ainsi, dans l'assiette, les produits et aliments de types surgelés et très transformés, nécessitant beaucoup d'énergie pour leur fabrication et leur transport, est réduite au profit de produits peu transformés, locaux et issus d'une agriculture biologique et/ou intégrée. Le recyclage de matériaux et le réemploi sont systématiquement recherchés. Les coopératives de quartiers permettent de trier, recycler et réparer avec différents réseaux sociaux et professionnels.

Se déplacer autrement

Nous nous déplaçons moins, mieux, à plusieurs et parfois moins rapidement. Le maillage ferroviaire local a été restructuré. L'évolution de la motorisation a permis de fabriquer des véhicules plus légers et moins puissants laissant une grande place aux voitures électriques pour les déplacements en ville. Le covoiturage est aussi une solution devenue un réflexe pour la majorité des déplacements. La souplesse permise par la diminution du temps de travail permet de mieux ajuster ces covoiturages et les « taxis à la demande » pour les personnes qui habitent en couronne périurbaine. En centre-ville, les réseaux de transport en commun sont amplifiés et corrélés à un aménagement de l'espace public équilibré, laissant une large place aux déplacements à vélo et à pied. Les médecins confirment la baisse des maladies respiratoires dans les grandes villes.

Produire l'énergie

Nous dépendons de moins en moins des énergies fossiles et les dernières centrales nucléaires ont arrêté d'injecter leur électricité vers 2030 sur le réseau public. Les énergies de flux renouvelables (solaire thermique et photovoltaïque et éolien) se sont fortement développées sur la région et les énergies de stock (bois de chauffage, énergie issue de la biomasse, méthanisation) pallient à leur intermittence. Le paysage des campagnes ligériennes gardent leur spécificité locale, mais chaque territoire a défini sa stratégie d'autonomie énergétique. Aussi, si l'adage « *un village : son église, son château d'eau et son éolienne* » est devenu une réalité, on voit de plus en plus de fermes agricoles équipées de panneaux solaires et de méthaniseur.

## 1.4. Économies d'énergie dans l'habitat

Dans les Pays de la Loire, selon l'étude Explicit publiée en 2009, les logements représentent 34 % de la consommation totale d'énergie et 13 % de la totalité des émissions de GES. Ce chapitre présente nos travaux sur les économies d'énergie possibles dans ce secteur, à échéance de 2050. Il prend en compte l'augmentation de la population et du nombre de logements. Nos propositions en termes d'économies d'énergie s'appuient sur les leviers suivants :

- une rénovation énergétique performante de l'habitat existant permettant une division par 3 de la consommation d'énergie. Ce chantier est essentiel, car le parc de logements actuel représentera encore les 2/3 du parc en 2050 et - même après rénovation - pèsera pour les ¾ de la consommation d'énergie dans ce secteur ;
- des constructions neuves de plus en plus économes : à partir de fin 2012, toute nouvelle construction sera un bâtiment basse consommation (BBC). Dès 2020, tous les bâtiments neufs seront à énergie positive (BEPOS) ;
- des équipements très performants : les équipements pour le chauffage, la production d'eau chaude sanitaire, les équipements électroménagers seront de plus en plus économes en énergie ;
- un comportement économe des particuliers : la sobriété dans l'usage des équipements est nécessaire pour atteindre des objectifs optimaux.

En agissant sur ces quatre leviers, la consommation d'énergie (en énergie finale) diminue de 58 %, en comparaison avec le niveau de 2010. Le gain unitaire par logement (réduction de presque 75 %) est en partie absorbé par l'augmentation importante du nombre de logements (près de 50%). Le tableau suivant présente ces évolutions entre 2010 et 2050.

| | 2010 (données Explicit) | 2050 (scénario VEC) | Variation 2010 / 2050 |
|---|---|---|---|
| Population de la région | 3 565 322 | 4 554 312 | + 28% |
| Nombre de logements | 1 529 524 | 2 263 416 | + 48% |
| **Consommation total d' énergie (Mtep)** | **2,76** | **1,16** | **-- 58%** |
| Consommation d'énergie par logement (kWh/ m2.an) | 241 | 66 | -- 73% |

Tableau 1. Logements et énergie, évolution selon notre scénario de 2010 à 2050. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.

## 1.5. Économies d'énergie dans les transports et déplacements

Ce chapitre présente le scénario de Virage Énergie-Climat Pays de la Loire en faveur des économies d'énergie pour les transports et déplacements terrestres, maritimes et aériens des Pays de la Loire.

En 2006, les transports et déplacements représentaient 33 % de l'énergie consommée et 23 % de la totalité des émissions de gaz à effet de serre (GES) de la région des Pays de la Loire. Ce secteur est en forte croissance avec une dépendance au pétrole de 97 %. Les modes routiers sont les plus consommateurs d'énergie et les plus émetteurs de GES.

Nous proposons un scénario de réduction des consommations d'énergie des transports des Pays de la Loire à l'échéance 2050, qui intègre une augmentation de la population de 28%. Nos propositions combinent plusieurs types d'actions, adaptées aux trajets et aux motifs de déplacement :

- diminution de l'usage, notamment pour les déplacements non contraints terrestres et aériens et par l'arrêt des importations maritimes d'hydrocarbures ;
- relocalisation des activités par une amélioration de l'organisation et de l'urbanisme, pour favoriser les économies d'énergie ;
- amélioration de l'efficacité énergétique des modes de transport routier et aérien ;
- report d'une part importante des déplacements vers d'autres modes plus économes en énergie (transports collectifs, déplacements doux, ferroviaires, etc.).

Le scénario de Virage Énergie-Climat Pays de la Loire permet une réduction globale de 66 % des consommations d'énergie du secteur des transports des Pays de la Loire en 2050, par rapport à son niveau de 2010, en prenant en compte l'augmentation de la population. Ramené au niveau de 1990, le gain global est de 49 %.

| Consommation d'énergie pour transports et déplacements | 1990 | 2010 | 2050 avec augmentation population INSEE | |
|---|---|---|---|---|
| Source | Explicit | Explicit actualisé | Projection sans économie d'énergie | Scénario VEC avec économies d'énergie |
| Energie (Mtep) | 1.8 | 2.7 | 3.7 | 0.9 |
| Energie (TWh) | 21 | 31 | 43 | 11 |
| Potentiel d'économies d'énergie du scénario VEC | -49% | -66% | -75% | |

Tableau 2: Consommation d'énergie et évolution selon notre scénario. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.

Ces économies d'énergie permettent une réduction directe des émissions de GES des transports régionaux de 66 %.

Le scénario de Virage Énergie-Climat Pays de la Loire permet en outre de réduire le temps perdu dans les transports par la relocalisation des activités et d'envisager la sortie de notre dépendance aux énergies fossiles pour nos transports et déplacements.

## 1.6. Économies d'énergie dans le secteur tertiaire

Ce chapitre présente les potentiels d'économies d'énergie et de réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) dans le secteur tertiaire en Pays de la Loire. Le secteur tertiaire occupe une surface d'un peu moins de 50 000 milliers de m2, consomme environ 1 Mtep, soit 13 % de la consommation d'énergie et émet 6 % de la totalité des GES.

Notre étude prend en compte la diversité des activités de ce secteur et son développement important. Nos propositions d'économies d'énergie sont proches de celles indiquées dans le chapitre habitat. Elles s'appuient sur :

- une rénovation performante des locaux existants ;
- la construction de nouveaux locaux de plus en plus économes ;
- des équipements consommateurs d'énergie performants et économes ;
- un comportement économe des usagers.

Le potentiel d'économies d'énergie que nous avons identifié représente 50 % de la consommation de 2009,  Ce bon résultat est obtenu malgré une forte augmentation des surfaces dédiées au tertiaire (presque un doublement).

| | 2009 | 2050 (avec les économies d'énergie) |
|---|---|---|
| Consommation d'énergie (Mtep) | 0.98 | 0.49 |
| Consommation d'énergie (TWh) | 11.4 | 5.7 |
| Surface (milliers de m²) | 50 000 | 95 100 |
| **Potentiel d'économie d'énergie par rapport à 2009** | | **50%** |

Tableau 3. Évolution de la consommation d'énergie, dans le secteur tertiaire entre 2009 et 2050 - Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire/

## 1.7. Économies d'énergie dans l'industrie

Ce chapitre présente les potentiels d'économies d'énergie et de réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) dans le secteur de l'industrie en Pays de la Loire. Ce secteur consommait 17 % de l'énergie de la région et émettait 9 % de la totalité des émissions de GES en 2006.
Les données sur les consommations énergétiques de l'industrie sont insuffisantes pour évaluer finement les économies d'énergie possibles dans chaque branche d'activité et pour chaque process industriel.
Les principales mesures d'économies d'énergie sont les suivantes :

- production de biens durables, en privilégiant l'usage à la production de biens ;
- généralisation de l'éco-conception, la facilité de réparation, le recyclage et l'écologie industrielle ;
- recherche d'efficacité énergétique dans les opérations transverses ;
- recherche d'efficacité énergétique dans les process.

Nous évaluons globalement le potentiel d'économies d'énergie dans l'industrie des Pays de la Loire en 2050 à 45 % des consommations d'énergie de 2010.

| | Unités | 2006 | % de la région en 2006 | Scénario VEC 2050 | Économies en 2050 sur 2006 |
|---|---|---|---|---|---|
| Consommation d'énergie | mtep | 1.35 | 17% | 0.75 | -45% |
| | twh | 15.7 | | 8.7 | |
| Émissions de GES | téqCO2 | 3 | 9% | | |

Tableau 4. Consommation d'énergie en 2006 et potentiel d'économie d'énergie en 2050. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.

## 1.8. Gestion des déchets

Les déchets représentent une faible consommation d'énergie, mais plus de 5 % de la totalité des émissions de GES de la région (selon l'étude Explicit de 2006 pour la région). Ces émissions de GES correspondent notamment à la production de méthane par la fermentation des déchets organiques.
Nous prévoyons de tendre vers une société du zéro déchet, dans la mesure où le déchet représente un échec culturel, révélateur d'une société de gaspillage et un échec technique dans l'organisation de la production.
**Ainsi, les émissions de GES dues aux déchets seront proches de 0**, à travers des mesures comme :

- l'éco-conception, le recyclage et le tri pour les déchets de type solide,
- le compostage pour la plus grande part des déchets fermentescibles,
- l'incorporation de la part non compostée des déchets fermentescibles, dans les traitements de méthanisation, en lien avec le traitement de matières d'origine agricole, permettant de produire de l'énergie.

## 1.9. Agriculture et forêt

L'agriculture et la forêt sont des secteurs d'activité singuliers, lorsqu'on les envisage sous l'angle énergétique et climatique, car ils produisent et séquestrent à la fois des gaz à effet de serre, tout en produisant de l'énergie (bois énergie, biogaz et agro-carburants). L'agriculture est le premier secteur émetteur de gaz à effet de serre en France et dans les Pays de la Loire, du fait des importantes émissions agricoles de protoxyde d'azote des cultures, et de méthane de l'élevage. L'agriculture conventionnelle est de plus très dépendante des énergies fossiles pour la fabrication des intrants énergivores (engrais, pesticides, aliments pour le bétail...) sur lesquels repose sa production.

Le volet agricole et forestier du scénario Virage Énergie-Climat s'attache à proposer pour les Pays de la Loire un nouveau système agro-sylvicole moins consommateur d'énergie et moins émetteur de gaz à effet de serre. Il est basé sur le scénario systémique « Afterres2050 », qui propose un système agro-sylvicole fonctionnel et durable pour la France en 2050.
Basé sur une transition alimentaire visant à inverser le rapport entre protéines animales et végétales dans notre alimentation, ainsi qu'à limiter les gaspillages, Afterres2050 vise avant tout à nourrir la population de notre territoire et quelques voisins, tout en fournissant de l'énergie et des matériaux issus de l'agriculture et de la forêt à l'ensemble de la région. Afterres2050 propose un système de culture 45 % agrobiologique, 45% intégré et 10 % raisonné, basé sur la diversification des cultures dans le temps (allongement des rotations et cultures intermédiaires) et dans l'espace (cultures associées, agro-foresterie), permettant ainsi de renforcer la résistance des parcelles aux chocs climatiques en maintenant un couvert végétal permanent, de valoriser la fertilisation naturelle par les légumineuses, et de générer des productions multiples (alimentaires, énergétiques, matériaux,etc.) dans chaque parcelle. La diminution de la consommation de viande permet d'extensifier les élevages et de réduire la taille des cheptels, tout en exploitant les aliments produits localement (élevage bovin à l'herbe, etc.). La généralisation de la méthanisation permet de plus de valoriser énergétiquement les déjections du bétail, les déchets verts et les résidus de récolte, tout en conservant leur pouvoir fertilisant. Cette production de biogaz s'ajoute à l'important potentiel régional de bois énergie issu de la forêt et des bocages.

L'équivalent de 20 % des terres agricoles est alloué à de nouveaux usages afin d'assurer l'autonomie alimentaire de la région, fournir des éco-matériaux, et développer de nouvelles formes d'agro-pastoralisme associant élevage extensif et production d'énergie à partir des fauches de prairies méthanisées.

L'application du scénario Afterres2050 dans les Pays de la Loire génère ainsi des bénéfices multiples : réduction de moitié des émissions de GES agricoles de la région, diminution de la consommation d'énergie de 40 %, 40 % d'engrais chimiques en moins, division par 3 de l'application des pesticides, restauration de la fertilité naturelle des sols et de la biodiversité, ralentissement de l'artificialisation des terres agricoles. Cette transition alimentaire, agricole et énergétique permet d'envisager une région durable, dont les activités seraient largement alimentées par d'importants flux de biomasse agricole et forestière.

## 1.10. Potentiel de production d'énergies renouvelables

La région des Pays de la Loire possède un gisement important de sources d'énergies primaires renouvelables (ENR). Notre scénario passe en revue les différentes sources d'énergies renouvelables disponibles sur le territoire, ainsi que leur potentiel de développement en 2050.
Ne considérant que des techniques de captage éprouvées, nous mettons en évidence un potentiel de production d'énergie renouvelable de plus de 63 TWh dans les Pays de la Loire en 2050 et proposons un scénario d'exploitation de ce potentiel de 2010 à 2050 (Tableau 5).

| Sources primaires | Potentiels d'énergie | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 2010 | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 |
| Solaire thermique | 0,04 TWh | 1,53 TWh | 3,05 TWh | 6,11 TWh | 10,18 TWh |
| Mini hydraulique | 0,02 TWh | 0,03 TWh | 0,03 TWh | 0,03 TWh | 0,03 TWh |
| Total éolien | 0,58 TWh | 4,32 TWh | 8,54 TWh | 14,37 TWh | 22,22 TWh |
| Solaire photovoltaïque | 0,07 TWh | 0,37 TWh | 1,46 TWh | 4,98 TWh | 11,25 TWh |
| Bois-énergie | 3,70 TWh | 4,55 TWh | 5,40 TWh | 6,30 TWh | 7,20 TWh |
| Agrocarburant | 0,00 TWh | 0,00 TWh | 0,04 TWh | 0,23 TWh | 0,50 TWh |
| Total biogaz | 0,30 TWh | 1,10 TWh | 2,60 TWh | 5,70 TWh | 11,80 TWh |
| Résidus agri. (combustion) | 0,00 TWh | 0,00 TWh | 0,10 TWh | 0,20 TWh | 0,30 TWh |
| **Total EnR** | **4,70 TWh** | **11,89 TWh** | **21,23 TWh** | **37,91 TWh** | **63,48 TWh** |

Tableau 5. Scénario de mobilisation du potentiel de production d'énergie renouvelable dans les Pays de la Loire. Source : scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.

Nous proposons également un scénario d'acheminement de l'énergie primaire produite jusqu'aux utilisateurs finaux. Ce scénario décrit les vecteurs énergétiques à mettre en œuvre pour satisfaire 3 usages principaux de l'énergie : le chauffage, la mobilité et l'électricité spécifique, en prenant en compte les pertes d'énergie. La Figure 4 illustre le cheminement de l'énergie primaire produite vers l'énergie finale consommée dans notre scénario. L'énergie électrique d'origine éolienne suit par exemple le «chemin » et les adaptations/transformations suivantes :

- source primaire : l'éolien, source d'énergie primaire, fournit de l'électricité qui constitue un vecteur primaire. Cette production est dépendante des conditions météo, il faut donc pouvoir en stocker une partie et/ou la transformer pour l'adapter aux usages ;
- vecteur primaire direct : cette électricité peut être utilisée directement pour des usages électriques spécifiques (éclairage, moteurs, équipements informatiques, etc.) ou certaines formes de mobilité (véhicules électriques avec batteries) ; ce vecteur primaire devient un vecteur secondaire directement utilisable pour un usage final ;
- vecteur primaire transformé : une partie de cette électricité est utilisée par des électrolyseurs pour produire de l'hydrogène ;
- ce gaz, vecteur primaire, correspond à une forme stockable et transportable d'énergie. Il devient un carburant, vecteur secondaire, qui peut alimenter des piles à hydrogènes pour d'autres véhicules électriques ;
- ce même gaz hydrogène peut être combiné à du gaz carbonique par le procédé de méthanation, produisant du gaz méthane, également stockable. Ce méthane devient aussi un carburant, vecteur secondaire, adapté à un usage de mobilité pour des véhicules à moteur thermique. Un usage final de type chaleur/cuisson est aussi possible.

Ainsi les différentes formes d'énergies primaires sont en partie complémentaires pour couvrir les différents besoins.

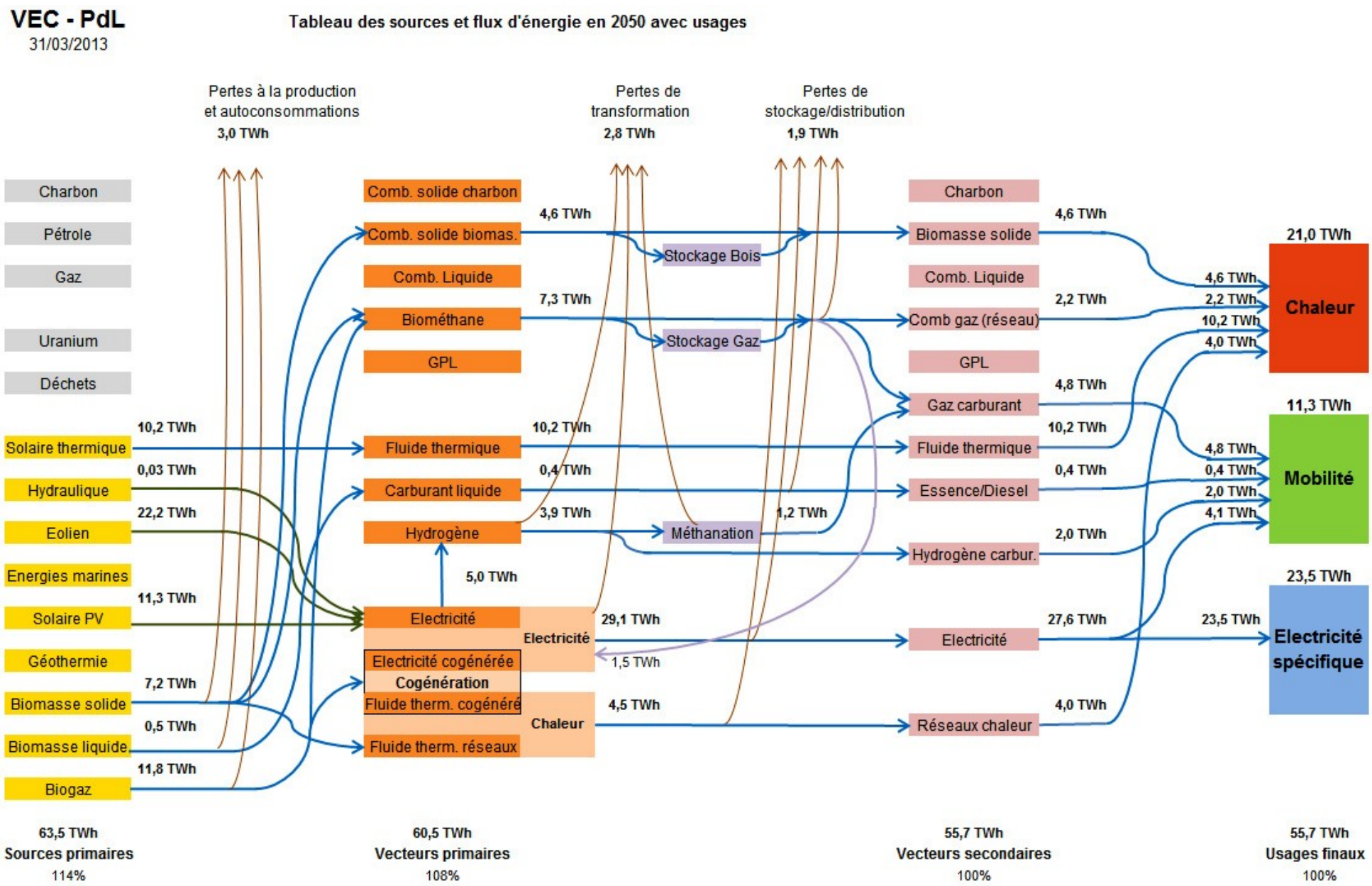



*Figure 4: Schéma des sources et flux d'énergie disponibles en Pays de la Loire en 2050 et mise en correspondance avec trois usages principaux : chaleur / mobilité / électricité spécifique - Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire*

## 1.11. Propositions pour une transition énergétique réussie

L'articulation entre les économies d'énergie et le développement des énergies renouvelables dessine un scénario efficace pour construire un autre avenir énergétique dans notre région. Pour réaliser cette transition, nous prenons en compte les propositions déjà formulées par d'autres associations et réseaux :

**Réseau Action Climat France (RAC-F) :**
7 mesures clés pour engager la France dans la transition énergétique - (élections 2012)
http://www.rac-f.org/IMG/pdf/7_mesures_-_Transition_e_nerge_tique.pdf

12 mesures Climat-Energie pour des régions exemplaire - (élections régionales 2010)
http://www.rac-f.org/DocuFixes/12mesuresregionalesBD.pdf

**Comité de Liaisons des Energies Renouvelables (CLER)**, 10 propositions du CLER pour la transition énergétique
http://www.cler.org/info/IMG/pdf/CLER10propositionstransition-2.pdf

**Energy Cities** : 30 propositions pour la transition énergétique des territoires
http://www.energy-cities.eu/IMG/pdf/CahierPropositions_A4_fr.pdf

**Association négaWatt,** manifeste « pour réussir la transition énergétique »
http://www.negawatt.org/le-manifeste-negawatt-p98.html

# 2. INTRODUCTION

## 2.1. Notre constat

### 2.1.1. Crises globales

Le Groupe Intergouvernemental pour l'Évaluation du Climat (GIEC) représente les scientifiques spécialistes du climat[4]. Le GIEC annonce que climat est en train de se dérégler, du fait de l'augmentation de la concentration des gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère. Cet excès de GES provient essentiellement de la production de dioxyde de carbone (CO2) lors de la combustion des hydrocarbures (pétrole, gaz, charbon), que l'homme utilise depuis la révolution industrielle comme principale source d'énergie.
L'augmentation de la concentration de GES dans l'atmosphère entraîne une augmentation de la température à la surface de la Terre, qui dérègle les cycles climatiques naturels.

Le problème climatique actuel tient en quelques chiffres, simples mais effrayants[5] :

1. Les scientifiques du GIEC affirment d'abord que la température moyenne de la terre ne peut pas augmenter indéfiniment, sous peine d'entraîner des cataclysmes climatiques qui rendraient la planète tout à fait inhabitable pour les humains. La limite d'augmentation de la température moyenne de la planète en 2050 a été fixée assez arbitrairement lors du sommet de Copenhague à +2°C[6].
2. Cette augmentation de température globale correspond à l'émission d'environ 565 milliards de tonnes (gigatonnes) de dioxyde de carbone. Ce « quota carbone », est la quantité maximale de dioxyde de carbone qui peut être relâchée dans l'atmosphère sans entraîner une catastrophe climatique.
3. La température moyenne à la surface de la terre a déjà augmenté de 0.8°C depuis l'ère pré-industrielle. De plus, si nous stoppions toutes nos émissions de gaz à effet de serre demain, les gaz déjà dans l'atmosphère entraîneraient une augmentation supplémentaire de +0.8°C. Quoi qu'il arrive, nous connaîtrons donc une augmentation de température globale de +1.6°C. Cela signifie que nous avons déjà épuisé les ¾ de notre quota carbone.

4 http://www.ipcc.ch/home_languages_main_french.shtml#.UFhldGYS2lM
5 Tiré de : http://www.rollingstone.com/politics/news/global-warmings-terrifying-new-math-20120719
6 A titre de comparaison, une glaciation correspond à une baisse de la température moyenne de la Terre d'environ 6°C en environ 10 000 ans. La Terre est alors une planète très différente de celle que nous connaissons aujourd'hui : les océans sont 100 m plus bas et les glaciers recouvrent le Nord de l'Europe. Les scénarios du GIEC prédisent que la crise climatique actuelle pourrait entraîner une augmentation de la température moyenne de la Terre de 6°C en un siècle. Pouvons nous imaginer (et nous adapter) aux effets d'une glaciation à l'envers qui surviendrait 100 fois plus vite ?

4. Enfin, les réserves d'hydrocarbures (pétrole, gaz et charbon) déclarées par les industriels s'élèvent à 2 795 gigatonnes. Ces réserves représentent 5 fois le quota carbone total, ou 20 fois le quart de quota que nous pourrions encore émettre sans déclencher une catastrophe climatique. L'industrie des hydrocarbures a donc le pouvoir de plonger le monde dans le chaos climatique.
5. L'extraction et la vente des réserves d'hydrocarbures restantes généreraient 27 milliards de milliards de dollars de profits pour les multinationales et pays producteurs d'hydrocarbures. La valeur des réserves d'hydrocarbures restant dans le sol représente ainsi environ 400 000 fois la richesse générée en 1 an sur terre (Produit Intérieur Brut mondial).

A contre courant de ces évidences économiques, les scientifiques du GIEC prédisent que pour limiter la hausse de la température moyenne terrestre en deçà des +2°C fatidiques, il faudrait une réduction des émissions de GES des pays industrialisés de 80 % à 90 % en 2050.

Les vendeurs d'hydrocarbures seront d'autant moins tentés de renoncer à leur manne financière que les hydrocarbures vont devenir de plus rares et donc de plus en plus chers. L'Agence Internationale de l'Énergie a ainsi reconnu que le "pic historique" de la production mondiale de pétrole conventionnel (80 % de tout le brut) a été franchi en 2006, et que cette production n'augmentera plus "jamais"[7]. De plus, les pétroles et gaz « non-conventionnels » (gaz et pétrole de schiste ou profonds) ne sont pas assez abondants et trop coûteux pour se substituer au pétrole conventionnel et enrayer la hausse des prix des hydrocarbures[8]. Nous avons donc atteint le pic du pétrole abondant et bon marché et basculons dans l'ère du début de la fin du pétrole. Si les effets du dérèglement climatique se font surtout sentir actuellement dans les pays du Sud, les effets de la raréfaction et du renchérissement des hydrocarbures vont se faire sentir majoritairement dans les pays du Nord, qui sont, comme le faisait remarquer en 2006 George W. Bush, très largement « accros au pétrole ».

Enfin, les crises climatiques et énergétiques sont concomitantes d'autres crises « globales » résultant elles aussi de la mondialisation économique : une grave crise économique débutée en 2008 et une crise sociale liée au partage des richesses de plus en plus inégal et à la mise en concurrence des travailleurs à l'échelle planétaire qui génère chômage et dumping social.

7 http://www.worldenergyoutlook.org/publications/weo-2010/
8 http://petrole.blog.lemonde.fr/non-conventionnels-et-extremes-gaz-de-schiste-petroles-lourds-arctique-deep-offshore-gtl-ctl-etc/

### 2.1.2. Les enjeux locaux

La publication d'un bilan énergétique et climatique de la région Pays de la Loire commanditée par le Conseil régional, la Préfecture et l'ADEME (Explicit, 2009) a permis de situer la région dans le contexte énergético-climatique global :

- La consommation totale d'énergie finale sur le territoire de la région Pays de la Loire en 2006 a été estimée à 7,8 millions de tonnes équivalent pétrole (Mtep) soit 4,7 % du bilan national, alors que la région concentre 5,5 % de la population française. Les consommations d'énergie de la région ont augmenté de 32 % depuis 1990, soit trois fois plus vite que la population.
- Le bâtiment (habitat et tertiaire) représente près de la moitié des consommations d'énergie du territoire (47 %). Le secteur des transports consomme un tiers de l'énergie totale, l'industrie 17 % et l'agriculture 2,6 % (Figure 5).
- Les hydrocarbures fournissent 67 % de l'énergie de la région (produits pétroliers : 47 %, gaz : 20%), l'électricité 23 % et le bois 8 %. L'électricité importée dans la région est produite à 80 % à partir de combustible nucléaire.
- Seule 1,6 % de l'énergie primaire consommée est produite dans les Pays de la Loire, dont 0.9 % de façon renouvelable (majoritairement sous forme de bois). Les Pays de la Loire sont donc très largement dépendants des pays producteurs d'hydrocarbures (à 67%) et d'uranium (à 18%) pour leur approvisionnement énergétique.

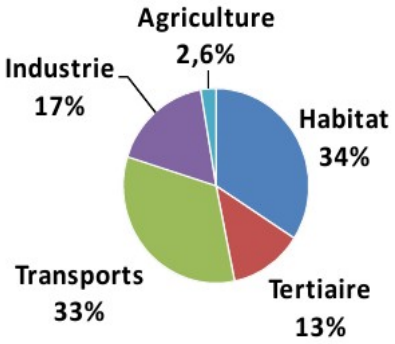



*Figure 5. Consommations d'énergie par secteur d'activité dans les Pays de la Loire en 2006. Consommation totale : 7,8 Mtep. Source : Explicit (2009).*

- Le système énergétique des Pays de la Loire repose donc sur 2 sources principales, les hydrocarbures (67%) et le nucléaire (18%) qui émettent des déchets à longue durée de vie, dont le devenir n'est pas pris en compte par les pouvoirs publics. La région a émis 34 millions de tonnes d'équivalent CO2 en 2006, en augmentation de 11 % par rapport au niveau de 1990. Rapportées à la population, ces émissions correspondaient à 10 tonnes d'équivalent CO2 (eqCO2) par habitant et par an. Un habitant des Pays de la Loire émet donc 6 fois le « quota carbone individuel durable », c'est à dire la quantité de GES que pourrait émettre chaque habitant de la Terre sans provoquer de catastrophe climatique (1,7 tonne d'équivalent CO2/terrien/an[9]).
- Les Pays de la Loire étant la 2ème région agricole française, le premier poste régional d'émissions de GES était en 2006 l'agriculture avec 43 % du total (Figure 6). L'agriculture émet essentiellement des GES non-énergétiques, issus de l'élevage (23%), sous forme de méthane (CH4) et des cultures (18%), sous forme de protoxyde d'azote (N20). Les décharges émettent 5 % des GES régionaux.
- Le dioxyde de carbone (CO2) est le principal déchet de notre système énergétique, notamment du fait des émissions des secteurs des transports et de l'habitat. En 2006, en Pays de la Loire, les transports étaient responsables de 23 % des émissions totales de GES, l'habitat de 13 %, l'industrie de 7 % et le tertiaire de 6% (Figure 6).

9 http://www.manicore.com/documentation/serre/quota_GES.html

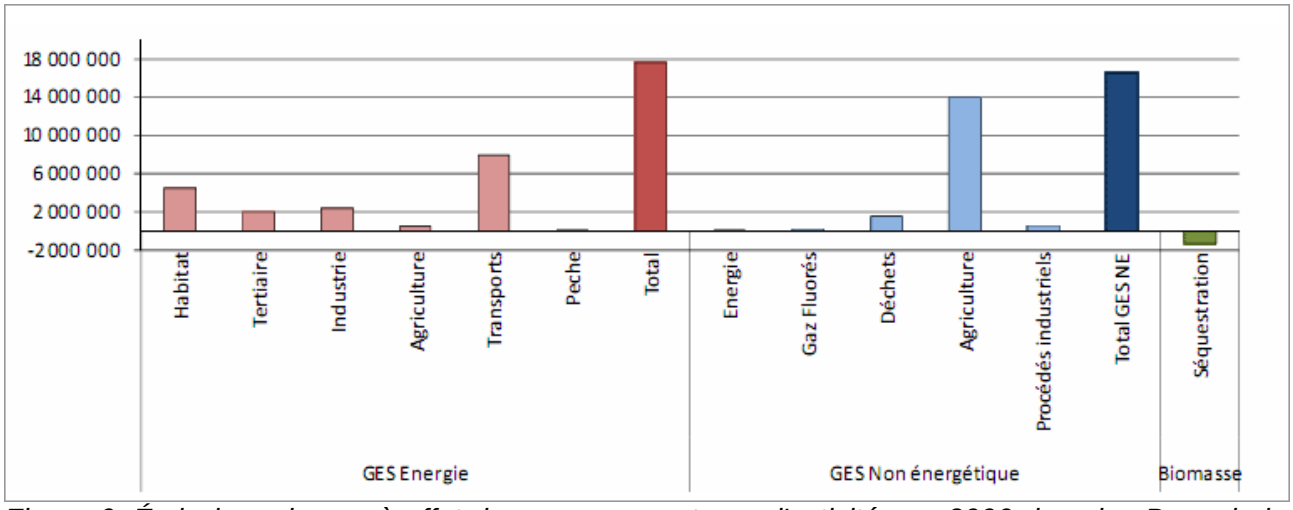



*Figure 6. Émissions de gaz à effet de serre par secteurs d'activités en 2006 dans les Pays de la Loire. Source : Explicit (2009).*

## 2.2. Une réponse locale et citoyenne : le scénario « Virage Énergie-Climat Pays de la Loire »

### 2.2.1. Objectifs

En 2009, l'échec des négociations climatiques aux niveaux international (échec du sommet de Copenhague) et national (faibles ambitions du Grenelle de l'Environnement) a conforté un petit groupe de citoyens dans l'idée que les solutions aux crises énergétiques et climatiques ne pouvaient plus être initiées qu'au niveau local. Nous sommes partis du constat que nous détenions la technologie et la connaissance pour bâtir un futur énergétique et climatique pour notre région, mais qu'il manquait un schéma d'ensemble, car la planification énergétique et climatique institutionnelle était alors complètement inexistante. Inspirés par les scénarios de descente énergétique et de réduction d'émissions de GES négaWatt (pour la France) et Virage Énergie Nord Pas de Calais (pour la région du même nom), l'idée de brosser à grands traits un avenir énergétique et climatique durable pour les Pays de la Loire s'est alors imposée à nous.

L'association Virage Énergie-Climat Pays de la Loire (VEC-PdL) a ainsi été créée en octobre 2009, avec à l'origine le soutien d'associations de la région (Alisée[10], Attac44[11], Sortir du nucléaire 49[12] et Sortir du nucléaire 44[13]). Notre but est de proposer un scénario "énergie climat" citoyen permettant de :

- développer un système énergétique basé sur les énergies renouvelables, permettant de se passer des énergies de stock polluantes : pétrole, gaz, charbon, nucléaire ;

10 Association Alisée : http://www.alisee.org/
11 Attac 44 : http://local.attac.org/attac44/
12 Sortir du nucléaire 49 : http://sdn49.hautetfort.com/
13 Sortir du Nucléaire 44 : http://groupes.sortirdunucleaire.org/Sortir-du-nucleaire-Loire-et

- ramener les émissions de gaz à effet de serre des Pays de la Loire au niveau qui, selon le GIEC, permettrait d'éviter la catastrophe climatique. Ceci implique une réduction de 30 à 40% des émissions de GES régionales en 2020 et de 75 à 90% en 2050 (par rapport à celles de 1990) ;
- faire profiter le plus grand nombre de cette transition énergétique régionale, dans un souci de justice sociale.

Avec l'élaboration de ce scénario, VEC-PdL vise à développer une « expertise citoyenne » sur les questions énergie-climat, issue d'échanges de savoirs entre scénaristes et de formations, éventuellement interne. Le scénario propose de plus une mise en cohérence globale de modes de vie alternatifs déjà existants à petite échelle. En celà, le scénario est conçu comme un medium de communication permettant de diffuser largement une culture "énergie-climat" et de participer au débat public sur ces questions. Notre scénario régional a ainsi vocation à être diffusé largement auprès de la société civile et des élus.

### 2.2.2. Méthode d'élaboration du scénario

Notre scénario s'inspire des deux principaux scénarios énergie-climat citoyens réalisés au niveau français :

- **le scénario négaWatt**[14], de l'association du même nom. Ce scénario permet en 2050 de réduire de 65 % les consommations d'énergie françaises et de ramener les émissions de GES énergétiques[15] d'un(e) français(e) au niveau du « quota carbone individuel durable » (1.7 tonnes/terrien(ne)/an). La démarche négaWatt vise à satisfaire les usages plutôt qu'à produire de l'énergie, en utilisant des technologies éprouvées. Elle est basée sur 3 piliers : en premier lieu les économies d'énergie (sobriété énergétique), puis l'efficacité de la production et de la consommation d'énergie (efficacité énergétique) et enfin le remplacement des énergies de stock polluantes (hydrocarbures et uranium) par des énergies de flux renouvelables et à faible empreinte écologique (éolien, solaire, biomasse, hydraulique, géothermie) ;
- **le scénario Afterres2050**, proposé par l'association Solagro. Afterres2050 est un scénario d'utilisation des terres agricoles françaises, visant à produire de la nourriture, de l'énergie et des matériaux, tout en préservant la fertilité naturelle des sols, l'eau, la biodiversité et le climat. Ce scénario propose un système agricole soutenable pour la France en 2050, qui permettrait d'assurer l'auto-suffisance alimentaire, tout en divisant les émissions de GES agricoles par 2 par rapport au niveau de 1990. Afterres2050 est couplé au scénario négaWatt 2011 pour sa partie énergétique.

14 Association négaWatt : www.negawatt.org
15 Les « émissions de GES énergétiques » sont les émissions de GES issues de la production et de l'utilisation de l'énergie.

Nous avons cherché à transposer ces grands principes à la région des Pays de la Loire. Nous nous sommes appuyés pour cela sur le bilan énergie-GES régional 2006, réalisé en 2009 par le bureau d'étude Explicit et sur la méthode suivante :

**Étape 1 :** pour chacun des grands secteurs économiques consommateurs d'énergie et émetteurs de GES (habitat, transport, industrie, tertiaire, agriculture) :

- évaluation des consommations d'énergie et des émissions de GES du secteur en 2006 et/ou actualisation pour 2010 ;
- recherche des leviers d'actions engendrant des économies d'énergie, en s'appuyant sur les données établies par d'autres réseaux professionnels et/ou associatifs ;
- chiffrage du potentiel d'économies d'énergie et des émissions de GES évitées par les actions d'économie d'énergie. Définition d'un calendrier de mise en œuvre de chacune des actions entre 2010 et 2050 ;
- évaluation des besoins en énergie du secteur par usage (chaleur, motricité, électricité) entre 2010 et 2050.

**Étape 2 :** chiffrage du potentiel de production d'énergie renouvelable des Pays de la Loire et définition d'un scénario de développement des différentes filières entre 2010 et 2050. Choix de méthodes de stockage et des vecteurs de transport de l'énergie, chiffrage des pertes en ligne.

**Étape 3 :** mise en correspondance des besoins totaux en énergie par usage et de la production d'énergies renouvelables par vecteur et usage. On ajuste les correspondances besoins/production pour éviter les déficits de fourniture d'énergie et parvenir à l'autonomie énergétique régionale, en incluant une marge d'erreur. En cas de surplus de production d'énergie, on favorise les énergies stockables et transférables vers d'autres régions.

**Étape 4 :** chiffrage de la réduction globale des émissions de GES des Pays de la Loire, égale à la somme des émissions évitées par les actions d'économie d'énergie et des émissions équivalentes (virtuelles) des nouvelles sources d'énergie.

Les étapes 2 et 3 de la méthode nécessitent de faire des choix que l'on pourrait qualifier « de société » : choix du développement d'une filière, d'un vecteur préférentiel d'énergie, d'un mode de stockage, de transport, etc. D'une manière générale, ces choix ont été arbitrés en fonction des principes suivants, rangés par priorité décroissante :

1. rapprocher la production de la consommation : objectif d'autonomie énergétique ;
2. développer le plus rapidement possible la production d'énergies renouvelables ;
3. assurer la justice sociale (lutte contre la précarité énergétique, développement d'emplois locaux non délocalisables, etc.) ;
4. générer d'autres avantages écologiques (préservation de la biodiversité, limitation de l'étalement urbain, etc.).

A noter que nos travaux et propositions prennent en compte une augmentation de la population de 28 % d'ici à 2050 (d'après les projections de l'INSEE).

La mise en œuvre de cette méthode se veut participative et entend promouvoir les compétences citoyennes et la participation constructive de tous dans les prises de décisions. Des groupes de travail se sont répartis les principaux chapitres du scénario (habitat, agriculture, transport et déplacements, énergies renouvelables, industrie, tertiaire). Ils ont étudié les documents disponibles, élaboré des propositions, chiffrer les résultats en assurant une cohérence globale du scénario.

Nous collaborons également avec des établissements d'enseignement (Universités, lycées techniques, École des Mines et École Centrale de Nantes) dans le cadre de projets tuteurés. Les travaux des étudiants nous ont fourni des éclairages intéressants, dont certaines ont été intégrées dans le scénario.

De plus, une subvention, accordée en 2011 par le Conseil régional des Pays de la Loire, nous a permis d'embaucher des bureaux d'études, afin d'étayer certaines hypothèses et d'identifier des expériences intéressantes. Le bureau d'étude INDDIGO nous a aidé dans la réalisation des chapitres habitat, transport terrestre, tertiaire et énergie renouvelable. L'association SOLAGRO a effectué une régionalisation de son scénario national « Afterres 2050 » à la région Pays de la Loire, qui a fourni la trame agronomique et énergétique au chapitre agricole.

### 2.2.3. Les actions de Virage Énergie-Climat Pays de la Loire

#### *2.2.3.1. Participation aux consultations des collectivités locales sur l'énergie et le climat*

Le scénario Virage Énergie-Climat Pays de Loire se veut une contribution de la société civile aux réflexions engagées au niveau des collectivités locales sur le climat et de l'énergie. VEC-PdL a ainsi participé activement aux ateliers organisés dans le cadre de l'élaboration du schéma régionale du climat, de l'air et de l'énergie des Pays de la Loire (SRCAE) de juillet à décembre 2011. L'association contribue également à l'élaboration de plans climat-énergie territoriaux (PCET de la ville d'Angers, de la région...) et participe aux Assises de l'Energie du Conseil régional depuis l'automne 2012.

Au cours des trois dernières années, VEC-PdL a de plus rencontré de nombreux élus locaux, afin de les sensibiliser et leur présenter l'état d'avancement de ses travaux: Emmanuelle. Bouchaud, Vice-présidente de la commission Environnement et cadre de vie en charge de la politique énergétique territoriale, Jean Pierre Le Scornet, Vice-président du Conseil régional des Pays de la Loire et Président de la Commission Aménagement du territoire et environnement, M. Ronan Dantec, Sénateur, Thierry Le Pesant, Conseiller technique auprès de Jacques Auxiette, Président de Région Pays de la Loire ...

#### *2.2.3.2. Sensibilisation aux enjeux énergétiques et climatiques*

Par son action, VEC-PdL entend sensibiliser la société civile aux enjeux mal connus liés à l'énergie et au climat. Nous avons ainsi organisé de nombreuses réunions publiques d'information (voir liste en annexe), persuadés qu'une bonne compréhension des enjeux énergétiques et climatiques est essentielle pour faciliter à la fois les changements structurels, au niveau politique global et dans les décisions des collectivités, mais également les changements de comportement individuels.

De plus, nous avons créé, avec l'aide du Réseau Action Climat France, le réseau d'échanges « Inter-virage » avec les autres projets de scénarios énergie-climat citoyens existant en France : les « Virage Énergie » Nord-Pas-de-Calais, Île-de-France, Centre, Aquitaine, etc. Ce réseau vise à favoriser les échanges de méthodes, d'outils et d'expériences entre les scénarios Virages et avec négaWatt, ainsi qu'à fédérer les initiatives Virages pour s'exprimer dans le débat public. Inter-virage a ainsi officiellement participé en 2012 au rendez vous « énergie-climat » des collectivités locales : les assises de l'énergie.
(Voir les annexes du chapitre 2 sur notre site Internet pour une présentation plus détaillée des acteurs de la transition énergétique dont nous sommes proches).

#### *2.2.3.3. Élaboration du scénario*

L'association Virage Énergie-Climat Pays de la Loire compte une cinquantaine de membres. Elle regroupe des citoyen(ne)s préoccupé(e)s par l'avenir énergétique et climatique de la région des Pays de la Loire, ayant ou non des compétences dans les thématiques énergie, climat et agriculture. Le travail bénévole, fourni par l'association, s'appuie sur des compétences personnelles et professionnelles, pour partie acquises au sein de l'association. La scénarisation à proprement parler a débuté début 2010, un premier « rapport d'étape » du scénario a été présenté à l'automne de cette même année. A l'automne 2012, l'association a publié un scénario provisoire, intégrant essentiellement le volet énergétique.

La version finale, publiée début avril 2013, prend en compte la totalité des émissions de GES, et notamment celles issues de l'agriculture.

**Unités et conversion**

Nos résultats sont présentés avec les unités suivantes :

- tep (tonnes équivalent pétrole) et Mtep (méga tonnes équivalent pétrole)
- 1 Mtep = 1000000 tep
- TWh (tera watt heure) et GWh (giga watt heure)
- 1 TWh = 1000 GWh

Nous utilisons les facteurs de conversion ci-dessous :

- 1 Mtep = 11,6 TWh
- 1 tep = 11600 kWh

## 2.3. Références

**7 mesures clés pour engager la France dans la transition énergétique – Réseau Action Climat – France (RAC-F) – Janvier 2012**
http://www.rac-f.org/7-mesures-cles-pour-engager-la.html

**12 mesures climat-énergie pour des régions exemplaires – Réseau Action Climat – France (RAC-F) – mars 2010**
http://www.rac-f.org/12-mesures-climat-energie-pour-des.html

**Propositions du CLER pour la transition énergétique**
http://www.cler.org/info/IMG/pdf/CLER10propositionstransition-2.pdf

**Scénario négaWatt**
http://www.negawatt.org/scenario-negawatt-2011-p46.html

# 3. HABITAT

## 3.1. Résumé

Dans les Pays de la Loire, selon l'étude Explicit publiée en 2009, les logements représentent 34 % de la consommation totale d'énergie et 13 % de la totalité des émissions de GES. Ce chapitre présente nos travaux sur les économies d'énergie possibles dans ce secteur, à échéance de 2050. Il prend en compte l'augmentation de la population et du nombre de logements. Nos propositions en termes d'économies d'énergie s'appuient sur les leviers suivants :

- Une rénovation énergétique performante de l'habitat existant permettant une division par 3 de la consommation d'énergie. Ce chantier est essentiel, car le parc de logements actuel représentera encore les 2/3 du parc en 2050 et - même après rénovation - pèsera pour les ¾ de la consommation d'énergie dans ce secteur.
- Des constructions neuves de plus en plus économes : à partir de fin 2012, toute nouvelle construction sera un bâtiment basse consommation (BBC). Dès 2020, tous les bâtiments neufs seront à énergie positive (BEPOS).
- Des équipements très performants : les équipements pour le chauffage, la production d'eau chaude sanitaire, les équipements électroménager seront de plus en plus économes en énergie.
- Un comportement économe des particuliers : la sobriété dans l'usage des équipements est nécessaire pour atteindre des objectifs optimaux.

En agissant sur ces quatre leviers, la consommation d'énergie (en énergie finale) diminue de 58 %, en comparaison avec le niveau de 2010. Le gain unitaire par logement (réduction de presque 75 %) est en partie absorbé par l'augmentation importante du nombre de logements (près de 50%). Le tableau suivant présente ces évolutions entre 2010 et 2050.

| | 2010 (données Explicit) | 2050 (scénario VEC) | Variation 2010 / 2050 |
|---|---|---|---|
| Population de la région | 3 565 322 | 4 554 312 | + 28% |
| Nombre de logements | 1 529 524 | 2 263 416 | + 48% |
| **Consommation total d' énergie (Mtep)** | **2,76** | **1,16** | **-- 58%** |
| Consommation d'énergie par logement (kWh/ m2.an) | 241 | 66 | -- 73% |

Tableau 6. Logements et énergie, évolution selon notre scénario de 2010 à 2050. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.

## 3.2. Introduction

L'habitat, et le secteur du bâtiment en général, est fortement consommateur d'énergie et émetteur de gaz à effet de serre (GES). En France, la consommation d'énergie dans le secteur du bâtiment (logement et tertiaire) représente 43 % de la consommation totale d'énergie et 25 % des émissions de gaz à effet de serre. Le secteur de l'habitat est aussi un secteur, où les évolutions sont très lentes, puisque le renouvellement du parc (construction de logements neufs) n'est que de 1 % par an. Ainsi, agir uniquement sur les normes de construction et les réglementations thermiques ne peut suffire à réduire considérablement les GES et les consommations d'énergie, d'autant que l'application de la réglementation thermique est actuellement peu contrôlée.

Un vaste programme de rénovation du parc existant est donc nécessaire et doit allier des mesures politiques incitatives et des moyens de financement souples, afin de faciliter la mise en œuvre de travaux de rénovation d'envergure par les propriétaires. La valorisation de l'utilisation des énergies renouvelables et locales dans l'habitat (chauffage bois, solaire thermique, matériaux locaux, etc.) est également un levier d'actions important. Enfin, la transition énergétique dans le secteur de l'habitat est fortement conditionnée à l'adoption de comportements et d'habitudes économes en énergie, confortés par des achats responsables.

Ce chapitre présente les propositions chiffrées de Virage Énergie Climat Pays de la Loire pour valoriser le potentiel d'économies d'énergies du secteur de l'habitat des Pays de la Loire.

## 3.3. Les données et la méthode utilisée

### 3.3.1. Sources de données

Nos travaux s'appuient sur trois études principales :

- l'étude Explicit 2009, réalisée pour le compte de l'ADEME et la Région des Pays de la Loire (Explicit 2009)[16], (nous avons actualisé les chiffres de 2006 pour avoir des données en 2010) ;
- les documents de travail de la DREAL, remis à l'automne 2011 pour la préparation du SRCAE ;
- les données INSEE (Institut national de la statistique et des études économiques) pour l'augmentation de la population et l'évolution de la taille des ménages [17].

16 http://ademe-pdll.typepad.fr/files/rapport-bilan-pdl-v4---26-mar-09-2.pdf
17 http://www.insee.fr/fr/themes/tableau.asp?reg_id=99&ref_id=t_0401R
http://www.insee.fr/fr/themes/tableau.asp?reg_id=0&ref_id=AMFd1

### 3.3.2. Méthodologie employée

#### *3.3.2.1. Périmètre de l'étude*

- Nous prenons en compte uniquement la partie logement du secteur bâtiment, au sens habitat ou résidentiel. Un autre chapitre traite du secteur tertiaire. Les résidences secondaires ne sont également pas prises en compte : elles sont peu nombreuses et avec une faible consommation d'énergie car d'un usage saisonnier et surtout estival dans la région.
- Par simplification, notre étude ne différencie pas les logements individuels et les logements collectifs. Nous étudierons les mêmes actions d'économies d'énergie, bien que les modes de décision soient différents pour engager des travaux.
- La production locale d'énergie renouvelable, par exemple la production de chaleur à travers les panneaux solaires thermiques ou d'électricité à partir de panneaux photovoltaïques n'est pas prise en compte ici ; ces productions seront comptées dans le chapitre consacré aux énergies renouvelables. Pour le besoin en eau chaude sanitaire (ECS), nous chiffrons un besoin complet, sans introduire la part qui serait couverte par le solaire thermique.
- Notre étude ne prend pas en compte l'énergie grise des matériaux de construction.
- Notre étude ne prend pas en compte les nouvelles formes d'habitat (eco-quartier, habitat groupé) qui peuvent favoriser d'autres formes d'économies d'énergie (mitoyenneté, locaux mutualisés, équipements en commun, etc.).
- Les relations entre habitat et urbanisme seront abordées dans le **chapitre Transports et Déplacements**.
- Nos calculs sont faits en énergie finale, notée « ef », qui représente l'énergie livrée au consommateur. Nous raisonnons sur le besoin en énergie, après avoir réalisé les économies d'énergie et indépendamment de son origine et de ses vecteurs. La part de l'énergie électrique sera donc comptée pour 1, sauf mention explicite. Si l'on fait référence à la réglementation thermique du bâtiment, le calcul est fait en énergie primaire, notée « ep » ; la part de l'énergie électrique est alors comptée pour 2,58, du fait du faible rendement des centrales nucléaires et de la plupart des centrales thermiques.

#### *3.3.2.2. Méthode globale*

Notre démarche de recherche des économies d'énergie dans l'habitat suivra les étapes suivantes :

- **Étape 1** : Connaître la population de la région et son évolution à 2050.
- **Étape 2** : Connaître le parc actuel de logements et la consommation d'énergie correspondante.
- **Étape 3** : Prévoir l'évolution du parc, d'ici à 2050, en tenant compte de la date de construction des logements.
- **Étape 4** : Présenter les actions d'économies d'énergie, selon les usages et les types de logements.
- **Étape 5** : Chiffrer les prévisions de consommation d'énergie, selon les types de logements et les usages.
- **Étape 6** : Compte tenu du parc de logements en 2050, prévoir la consommation totale d'énergie, d'ici à 2050.

- **Étape 7** : Faire apparaître les économies d'énergie par rapport à la consommation de 2010 et visualiser les évolutions principales (nombre de logements et besoin en énergie).
- **Étape 8** : Indiquer les variations en usage de l'énergie.
- **Étape 9** : Comparer nos résultats avec d'autres scénarios de prospective énergétique.

### 3.3.3. Données de base et projections à 2050

#### *3.3.3.1. Logements et consommation d'énergie en 2006*

L'étude Explicit (publiée en 2009) nous renseigne sur la situation du parc de logements et sa consommation en 2006 : (Tableau 7).

| Quantité | Unités | Valeur en 2006 |
|---|---|---|
| Nombre total de logements | | 1,651,242 |
| Nombre de résidences principales | | 1,456,135 |
| Nombre de résidences secondaires | | 195,000 |
| Quantité totale d'énergie consommée | Mtep | 2.63 |
| Quantité totale d'énergie consommée | TWh | 30.5 |
| Surface moyenne | m2 | 87 |
| Consommation moyenne par logement (énergie finale) | kWh/m2.an | 240 |
| Part de l'énergie consommée par rapport au total sur la région | % | 34 |
| Part des émissions de GES par rapport au total sur la région | % | 13 |

Tableau 7. Principales caractéristiques des logements en Pays de la Loire en 2006(quantités, surface et consommations d'énergie). Source : Explicit (2009)

En 2006, le secteur de l'habitat des Pays de la Loire représentait un total de 1 651 242 logements. La surface moyenne des logements était de 87m2 et la consommation moyenne en énergie finale par logement était de 240 kWh/m2.an. Sur l'ensemble du parc, la part de l'énergie consommée représentait 34 % des consommations totales d'énergie de la région et 70 % de la consommation du secteur du bâtiment.

#### *3.3.3.2. Hypothèses sur l'évolution de la population et du nombre de logements*

A partir de ces données de base (voir les données INSEE et les documents de la DREAL) les hypothèses retenues dans le scénario VEC pour l'évolution de la population et le nombre de logements sont les suivantes :

- augmentation de la population de 28 % et poursuite de la décohabitation ;
- augmentation du nombre de logements de 48 % ;
- faible augmentation de la surface des logements de 21 %.

Les évolutions de la population et du nombre de logements prévues dans le scénario VEC sont présentées dans le Tableau 8.

| | 2010 (données Explicit) | 2050 (scénario VEC) | Variation 2010 / 2050 |
|---|---|---|---|
| Population de la région | 3 565 322 | 4 554 312 | **+ 28%** |
| Nombre de logements | 1 529 524 | 2 263 416 | **+ 48%** |
| Nb moyen personnes /logement | 2,3 | 2,0 | |
| Surface m2 / personne | 37 | 45 | **+ 21%** |

Tableau 8. Prévisions VEC d'augmentation de la population et du nombre de logements d'ici à 2050 en Pays de la Loire. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.

Nous prévoyons une augmentation du nombre de logements plus importante que l'augmentation de la population (+48 % pour le nombre de logements contre une augmentation de la population de 28%). Cet écart permettra une détente sur le marché des logements. La diminution du nombre de personnes par logement, en raison de la poursuite de la décohabitation, s'accompagne d'une augmentation de la surface disponible par personne.

#### *3.3.3.3. Scénario d'évolution du parc de logements d'ici à 2050*

A partir de la connaissance du parc actuel de logements et des dynamiques de construction/dé-construction, nous pouvons prévoir la situation du parc en 2050, avec la répartition des logements, selon leur date de construction.

3.3.3.3.1. Stratégie de construction/déconstruction

Compte tenu des besoins en nouveaux logements, nos prévisions de construction de logements neufs pour 2050 sont les suivantes :

| **dynamique d'évolution du parc de logement** | taux annuel | en quantités constantes chaque année |
|---|---|---|
| dé-construction de l'habitat ancien | 0,14% | 2 039 |
| construction de l'habitat neuf | 1,40% | 20 386 |
| croissance annuel du parc de logement | 1,26% | 18 347 |
| nb logements nouveaux sur 40 ans | 733 892 | |

Tableau 9. Dynamique d'évolution annuelle du parc de logements neufs en Pays de la Loire, d'ici à 2050. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.

En prenant en compte un taux de construction de 1,4 % par an et une dé-construction de 0,14 % , le nombre de logements neufs construits par an est d'environ 20 000 ; ce qui provoquera la construction d' environ 734 000 logements nouveaux dans les 40 ans à venir.

3.3.3.3.2. Évolution du parc jusqu'en 2050

Nos hypothèses pour l'évolution du parc de logements sont les suivantes :

- Les logements construits avant 1974 sont en légère dé-construction ;
- Les logements « intermédiaires » (1975 – 2000) sont stables ;
- Les logements conformes à la réglementation thermique RT2005 sont construits jusqu'à fin 2012 ;
- Les logements BBC sont généralisés à partir de 2013 et jusqu'en 2019 ;
- Les logement BEPOS sont construits à partir de 2020 et jusqu'en 2050.

A partir de ces hypothèses et de la dynamique annuelle (construction / déconstruction) nous pouvons prévoir le nombre et le type de logements par décade entre 2006 et 2050 , présentés dans le Tableau 10 et la Figure 7 ci-dessous.

| **Type de logements selon années de construction** | **nombre de logement en fin de décades** | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2006 | 2010 | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 | **% en 2050** |
| Avant 74 (anciens) | 771 752 | 763 597 | 743 211 | 722 825 | 702 440 | 682 054 | |
| 75 – 2000 ( intermédiaires) | 524 209 | 524 209 | 524 209 | 524 209 | 524 209 | 524 209 | |
| 2001 – 06 (RT2000) | 160 175 | 160 175 | 160 175 | 160 175 | 160 175 | 160 175 | |
| 2006 – 2012 (RT2005) | 0 | 81 544 | 142 701 | 142 701 | 142 701 | 142 701 | |
| **total existants , avant 2012** | 1 456 135 | 1 529 524 | 1 570 296 | 1 549 910 | 1 529 524 | 1 509 138 | **67%** |
| BBC (2013 – 2020) | 0 | 0 | 142 701 | 142 701 | 142 701 | 142 701 | |
| BEPOS (2020 – 2050) | 0 | 0 | 0 | 203 859 | 407 718 | 611 577 | |
| **total neufs économes** | 0 | 0 | 142 701 | 346 560 | 550 419 | 754 278 | **33%** |
| **total logement** | **1 456 135** | **1 529 524** | **1 712 997** | **1 896 470** | **2 079 943** | **2 263 416** | |

Tableau 10. Prévision d'évolution du parc de logements en Pays de la Loire, d'ici à 2050. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.

Le nombre total de logements passe, entre 2006 et 2050, d'environ 1 456 000 à 2 263 000. Les nouveaux logements sont des logements BBC, puis des logements BEPOS. Cependant, la part des logements anciens et actuels (construits avant fin 2012) reste très importante, soit les 2/3 du parc en 2050 ; elle pèsera lourdement dans la consommation d'énergie, même après des travaux importants de rénovation et d'économies d'énergie.

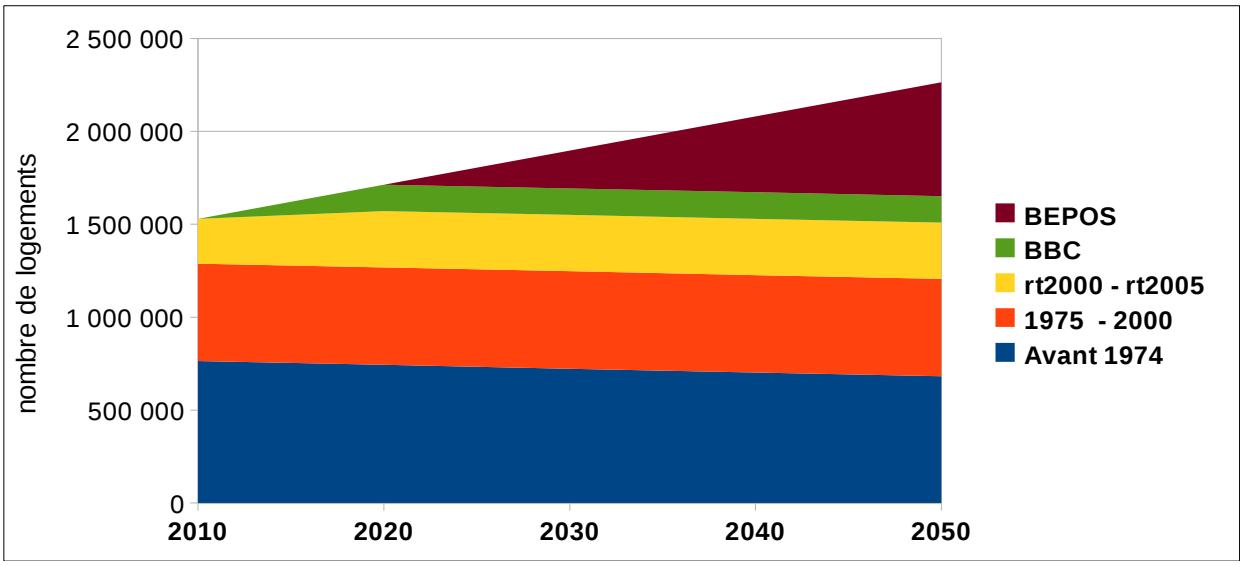



*Figure 7. Évolution du parc de logements d'ici à 2050, selon la date et le type de construction. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.*

On constate une légère diminution des logements d'avant 1974, le maintien des logements entre 1975 et 2005, une petite période « BBC » puis la généralisation des logements « BEPOS ».

3.3.3.3.3. Les types de logements retenus dans notre étude

L'évolution principale, en termes d'économie d'énergie, se fait à partir de la construction des logements individuels de type BBC, en début 2013. Nous considérons donc que tous les logements, construits avant cette date devront subir des travaux de rénovation thermique, ou au moins des améliorations importantes pour les plus récents.

Dans la suite de notre étude, nous prendrons en compte trois types de logements :

- les logements anciens et actuels, construits avant 2013, qui devront être rénovés thermiquement d'ici à 2050. (voir plus loin le paragraphe « Stratégie de rénovation thermique des logements anciens et actuels »),
- les logements type BBC, construits entre 2013 et 2020,
- les logements type BEPOS, construits à partir de 2020.

### 3.3.4. Nos propositions pour les actions d'économie d'énergie

#### *3.3.4.1. Identification des leviers d'économies d'énergie dans l'habitat*

Les leviers d'économies d'énergie sont les suivants :

- rénover thermiquement les logements existants, afin de diminuer fortement leurs besoins de chauffage,
- construire des logements neufs de plus en plus économes, à savoir des logements de type bâtiments basse consommation (BBC) et bâtiments à énergie positive (BEPOS). Ces nouveaux logements répondront aux nouvelles réglementations thermiques (RT 2012 et future RT 2020),
- améliorer les équipements liés aux usages de l'énergie (chauffage, eau chaude sanitaire, appareils électriques, etc.) pour tous les logements, anciens rénovés et neufs économes,
- favoriser un comportement économe des habitants pour atteindre une sobriété et un bon usage des équipements.

Pour présenter ces leviers d'économies d'énergie, nous étudierons :

- chaque usage de l'énergie et les économies possibles,
- et les applications de ces économies possibles dans les logements rénovés et neufs.

**Remarque : La mise en œuvre des actions proposées se fera sur une longue période, jusqu'en 2050, ce qui permet de dépasser les niveaux de performance prévus pour les années 2020.**

#### *3.3.4.2. Les économies d'énergie sur le chauffage*

La réduction du besoin de chauffage s'appuie sur les éléments suivants :

- compacité du bâtiment et bio-climatisme (prise en compte de la végétation et de l'environnement, ouverture des vitrages au sud, protection contre les surchauffes estivales, etc.),
- amélioration de l'enveloppe des logements (isolation de forte épaisseur, traitement des ponts thermiques avec avantage à l'isolation par l'extérieur, etc.),
- vitrages de très bonne qualité, usage de volets et de rideaux,
- étanchéité à l'air performante et ventilation favorisant les économies d'énergie (par exemple de type double flux),
- équipements de chauffage très performants pour un rendement optimum.

**<u>Rénovation des logements existants</u>**

Le besoin de chauffage (en énergie finale) est d'environ 175 kWh/m2.an en moyenne pour le parc actuel. Notre cible, après travaux de rénovation thermique, est de 35 kWh/m2.an, légèrement inférieure à ce que propose l'association Effinergie, pour une rénovation performante de type « BBC rénovation »[18].

18 http://www.effinergie.org/site/Effinergie/BBC-EffinergieRenovation

**Logements économes (BBC et BEPOS)**

Les logements économes intègrent progressivement tous ces facteurs d'économies d'énergie, avec un besoin de chauffage de plus en plus faible :

- pour les logements de type BBC (bâtiments basse consommation), on raisonne sur une moyenne entre 2013 et 2020 et on prend en compte l'évolution du BBC standard vers le « BBC + », proposée par l'association Effinergie, soit un besoin de chauffage de 16 kWh/m$^2$.an[19],
- les logements BEPOS (bâtiments à énergie positive) sont de type « passifs » (c'est à dire sans équipement de chauffage), avec un besoin de chauffage inférieur ou égal à 10 kWh/m$^2$.an.

**Les équipements de chauffage**

Les évolutions déjà constatées de ces équipements (recours aux énergies renouvelables, amélioration des performances) favorisent ces économies d'énergie :

- installation de chauffage solaire, chauffage au bois ou à granulés, chaudière gaz à condensation, PAC (pompe à chaleur) avec coefficient de performance (COP) supérieur à 4. Des couplages sont possibles pour valoriser plusieurs formes d'énergie, par exemple le chauffage solaire avec un appoint par chauffage au bois, PAC et chaudière performante, etc.,
- remplacement progressif des chauffages électriques, à l'occasion des travaux de rénovation et d'aménagements intérieurs,
- ventilation de type « double flux » qui permet des économies d'énergie sur le poste du chauffage,
- système thermodynamique qui favorise les économies sur l'eau chaude sanitaire,
- recours au stockage solaire inter-saisonnier permettant une plus grande part d'énergie solaire pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire, notamment en habitat dense[20],
- automatisation de certains équipements (gestion des ouvertures de volets selon la température et l'ensoleillement, gestion de la consommation électrique selon la capacité de production, etc.),
- Remarque : nous raisonnons ici sur un besoin « brut » de chaleur pour les usages comme le chauffage et l'eau chaude sanitaire. Ce besoin de chaleur sera pris en compte dans le chapitre qui modélise la relation entre les besoins en énergie et l'apport des énergies renouvelables.

#### *3.3.4.3. Les économies d'énergie sur l'eau chaude sanitaire (ECS)*

Le besoin actuel en énergie pour la production d'eau chaude sanitaire est de 26 kWh /m2.an en moyenne.

- La sobriété dans l'usage (une douche plutôt qu'un bain, une douche courte, l'usage de douchette économe, limiteur de débit etc.) permet un gain d'environ 50 % sur le volume d'eau chaude. Le besoin en ECS passe de 26 à 13 kWh /m$^2$.an.
- Comme en 2050, le nombre d'habitant par unité de surface est plus faible (de 21 %), le besoin évolue dans le même sens, soit 10 kWh/m$^2$.an.

19 http://www.effinergie.org/index.php/actualite/726-referentiel-propose-par-effinergie-aux-regions-lancant-leurs-appels-a-projet-bbc-et-bepos

20 *Du soleil dans les réseaux*, La Revue des énergies renouvelables, n° 207 - Janvier 2012 , article pages 78 et 79

#### *3.3.4.4. Les économies d'énergie sur l'électricité spécifique*

L'électricité spécifique concerne tous les usages de l'électricité (en dehors du chauffage et de la production ECS), soit les usages suivants : éclairage, ventilation, circulateurs, électroménager, multimédia, etc. Un foyer consomme en moyenne 2700 kWh par an pour l'ensemble de ces usages.

Pour établir la consommation électrique, d'ici à 2050, nous prenons en compte les 2 évolutions suivantes :

- une faible augmentation du nombre des équipements, soit 50% de plus entre 2010 et 2050. Cette faible augmentation est mise en relation avec une sobriété dans l'équipement des ménages, soit un facteur de 1,5,
- une amélioration de l'efficacité des appareils et un usage dans de bonnes conditions permettent une division de la consommation unitaire de chaque équipement par 2 [21],
- ainsi, nous obtenons un facteur de réduction de 1,5 / 2 = 0,75. Cette réduction s'applique aux différents usages de l'électricité.

Nous prenons en compte la consommation supplémentaire des ventilations de type double flux (VMC2F), pour les logements neufs BBC et BEPOS, usage durant 6 mois de l'année en régime normal et 1,5 mois en sur-ventilation en été (soit 3,1 kWh/m$^2$.an).

Le Tableau 11 présente l'évolution de la consommation d'électricité spécifique entre 2010 et 2050, avec la répartition, selon les types d'usages.

| **Énergie électrique en kWh /m².an (en énergie finale)** | Consommation actuelle | Consommation en 2050 |
|---|---|---|
| Usages comptés dans les réglementations thermiques (éclairage, ventilation, auxiliaires)<br>et ventilation double flux | 6 | 4,5<br><br>3,1 |
| Autres usages (électroménager, multimédia ...) | 21 | 16 |
| Total des usages | 27 | 23.5 |

Tableau 11. Évolution de la consommation d'électricité spécifique entre 2010 et 2050. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.

21 SIDLER Olivier - Comment diviser par 2 sa consommation électrodomestique – Enertech : http://www.enertech.fr/pdf/76/reduire-consommation-electrodomestique.pdf

#### *3.3.4.5. Les économies d'énergie sur la cuisson*

Le besoin actuel en énergie pour la cuisson est de 12 kWh /m².an. en moyenne. Le bon usage des équipements de cuisine (couvercle, cuisson à la vapeur, chauffage du volume d'eau juste nécessaire, etc.) et l'amélioration de certains équipements (isolation des fours, caisse isolante de type « marmite norvégienne ») permettent d'économiser environ 1/3 du besoin d'énergie pour la cuisson. Ainsi, le besoin en énergie pour la cuisson passerait de 12 à 8 kWh/m².an.[22].

De plus, en 2050, le nombre d'habitants par unité de surface est plus faible (de 21 %), le besoin évolue dans le même sens, soit 6,5 kWh/m².an en fin de compte.

#### *3.3.4.6. Un levier d'économies d'énergie supplémentaire : le comportement des habitants*

Le comportement des habitants est un facteur important et déterminant pour atteindre les économies d'énergie escomptées. Il implique notamment :

- le respect des températures de consigne (19 °C le jour, 16 °C la nuit),
- un bon usage de la régulation des appareils de chauffage (horloge et programmation, robinets thermostatiques, etc.),
- une sobriété dans la consommation d'eau chaude sanitaire : douche (courte) plutôt qu'un bain, usage de douchettes économes,
- une sobriété dans l'équipement en appareils fonctionnant à l'énergie électrique (électroménager, multimédia),
- un bon usage de ces appareils.

Des mesures générales seront nécessaires, afin d'accompagner ces comportements économes et éviter l'effet rebond. Ces mesures sont pédagogiques et incitatives :

- établir une taxe énergie climat et un prix de l'énergie qui, après un « quantum » de base, augmente en fonction du volume de consommation,
- diffuser les bonnes pratiques et les gestes simples en faveur des économies d'énergie,
- obliger les fabricants à fournir un mode d'emploi simple, favorisant un usage économe pour les appareils et équipements consommateurs d'énergie,
- imposer le standard de deux arrivées d'eau (froid et chaud) dans les logements pour les appareils de type lave-linge et lave-vaisselle ,pour substituer la production de chaleur locale, efficace et stockable (solaire thermique, bois, etc.) à la résistance électrique actuelle.

A noter : nous n'avons pas proposé de chiffrage particulier pour les économies d'énergie générées par le comportement des habitants. Certaines de ces actions sont déjà intégrées dans nos facteurs généraux d'économies d'énergie, par exemple sur les consommations d'eau chaude sanitaire ou d'électricité spécifique.

22 http://www.eco-sapiens.com/dossier-7-L_energie-de-la-cuisson.html

Un programme d'actions comme *Les familles à énergie positive*[23], repris dans différentes régions, illustre le fait que des économies d'énergie, dépassant parfois les 20 %, sont possibles à court terme et sans investissements. Ces résultats sont obtenus à travers des actions quotidiennes des familles, sous réserve d'une bonne information et d'un accompagnement pédagogique.

### 3.3.5. Prévisions de besoins en énergie à terme par type de logements

Le Tableau 12 reprend les chiffres que nous avons établis précédemment, en passant en revue les actions d'économies d'énergie. Il permet une totalisation selon nos 3 types de logements :

- les logements anciens et actuels soumis à une rénovation performante,
- les futurs logements de type BBC,
- les futurs logements de type BEPOS.

| usage de l'énergie kWh/m2.an | 2010, moyenne actuelle | rénovation type Effinergie | 2050, rénovation VEC | BBC, moyenne 2013-2020 | BEPOS, moyenne 2020-2050 |
|---|---|---|---|---|---|
| | A | B | C | D | E |
| chauffage | 175 | 39 | 35 | 16 | 10 |
| eau chaude sanitaire | 26 | 26 | 11 | 11 | 11 |
| | | | | | |
| électricité RT (ef) lumière, ventilation et auxiliaires | 6 | 6 | 4,5 | 7,6 | 7,6 |
| sous total RT ( ef) | 207 | 71 | 50 | 34 | 28 |
| sous total RT (ep) | 216 | 80 | 57 | 46 | 40 |
| cuisson | 12 | 12 | 6,5 | 6,5 | 6,5 |
| électricité spécifique, autres usages (ef) | 21 | 21 | 16 | 16 | 16 |
| total tous usages (ef) | 240 | 104 | **72** | **56** | **50** |

Tableau 12. Prévisions des besoins en énergie, selon les types de logements, en 2050. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.

- indication (ef) : indique un comptage en énergie finale (électricité comptée pour 1),
- indication (ep) : indique un comptage en énergie primaire (électricité comptée pour 2,58),
- indication RT : fait référence aux usages de l'énergie pris en compte dans les calculs pour les règlementations thermiques (chauffage, ECS, lumière, ventilation et auxiliaires).

**Remarques sur les colonnes et lignes de ce tableau :**

**colonne A :** consommation moyenne actuelle des logements et répartition selon l'étude Explicit (page 42), à savoir : chauffage 71 %, eau chaude sanitaire 11 %, cuisson 5 % et électricité tous usages 13 %.

23 Guide 100 eco-gestes, Familles à énergie positive, www,prioriterre.org - http://centre.familles-a-energie-positive.fr/public/upload/PAYS%20DE%20LA%20LOIRE/Telechargement/quizz100ecogestes2011_pp.pdf

**colonne B :** répartition des usages de l'énergie dans un logement rénové, proche du standard rénovation Effinergie « BBC rénovation », avec un total de 80 kWh ep /m2.an, (dont 39 pour le chauffage).
**colonne C :** selon nos propositions, répartition des usages de l'énergie après rénovation performante pour le parc actuel. On prend en compte pour le chauffage, une valeur un peu inférieure à la cible « rénovation Effinergie » et pour les autres usages, les valeurs de type BEPOS.

**Rappel : notre scénario se situe en 2050, ce qui permet d'optimiser la rénovation (baisse du chauffage) et les équipements et autres usages (prise en compte des valeurs de type BEPOS) pour l'ensemble du parc actuel à améliorer et à rénover.**

**colonne D :** répartition des usages de l'énergie, pour un logement de type « BBC +», en moyenne entre 2013 et 2020, c'est à dire en évolution entre BBC standard et BEPOS,
**colonne E :** répartition des usages de l'énergie, pour un logement de type « BEPOS », avec les consommations minimum pour tous les usages.

Remarque : pour les logements de type BBC et BEPOS, les valeurs indiquées ne tiennent pas compte des apports en énergies renouvelables (notamment du solaire thermique et photovoltaïque) ; en effet ces apports seront comptés dans le chapitre correspondant au potentiel des énergies renouvelables. Ainsi, nos évaluations BBC et BEPOS sont plus fortes que des logements correspondants qui incluraient ces apports locaux d'énergies renouvelables.

**ligne « sous total RT (ep) » :** total des consommations d'énergie prises en compte dans le calcul des réglementations thermiques (souvent utilisées par les professionnels du bâtiment), en énergie primaire.

Les consommations électriques sont décomposées selon les usages :

- comptés dans les réglementations thermiques : lumière, ventilation (y compris VMC2F) et auxiliaires,
- autres usages (ef), consommations électriques non prises en compte dans le calcul des réglementations thermiques (notamment celles correspondant à l'électroménager et au multimédia).

**ligne « total tous usages (ef) » : ce total comprend tous les usages de l'énergie finale , il est notre indicateur principal pour quantifier les besoins en énergie et faire apparaître le gain en économies d'énergie.**

En résumé, ce tableau synthétise les niveaux de consommation d'énergie en 2050, selon les types de logements et le gain correspondant.

| Évolution des consommations d'énergie | Logements actuels (2010) | Logements rénovés | Logements BBC | Logements BEPOS |
|---|---|---|---|---|
| Consommation tous usages kWh/m².an (ef) | 240 | 72 | 56 | 50 |
| Gain sur le niveau de 2010 | | **70%** | **77%** | **79%** |

Tableau 13. Les besoins en énergie, selon les types de logements en 2050 et gain obtenu par rapport à 2010. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.

#### *3.3.5.1. Stratégie de rénovation thermique des logements anciens et actuels*

La rénovation porte sur tous les logements construits avant les logements BBC, c'est à dire construits avant 2012, y compris pour des logements récents, construits après 2000 et dont la consommation d'énergie est en général supérieure à 120 ou 150 kWh ef /m².an.

La rénovation, à réaliser d'ici à 2050, interviendra sous plusieurs formes :

- Pour les logements anciens, favoriser la réalisation de travaux visant la performance énergétique de l'enveloppe des bâtiments. Ces travaux peuvent faire l'objet de plusieurs chantiers consécutifs, si la coordination est optimale et si chacun vise la performance et la qualité globale. Par exemple, l'association suisse Minergie[24] propose des phases organisées avec des « paquets » de travaux performants successifs, afin d'échelonner des travaux cohérents sur plusieurs années.
- Pour les appareils et les équipements, une amélioration progressive et le remplacement des équipements favorisera les économies sur tous les autres usages. En effet, en considérant que les équipements durent entre 10 et 15 ans, il y aura au moins 2 phases de renouvellement complet, d'ici à 2050.
- Pour les logements plus récents (construits après 2000), des travaux d'amélioration thermique peuvent être réalisés à l'occasion d'un ravalement (isolation par l'extérieur, par exemple) et lors de travaux liés à des projets d'extension ou modification des volumes intérieurs et des pièces[25].

L'effort de rénovation prévu aboutira à **70 % d'économies d'énergie**, réparties par période de 10 ans, selon le Tableau 14 :

| Période | de 2010 à 2020 | de 2020 à 2030 | de 2030 à 2040 | de 2040 à 2050 |
|---|---|---|---|---|
| % de l'effort de rénovation | 35% | 18% | 11% | 5% |

Tableau 14. Répartition de l'effort de rénovation entre 2010 et 2050. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.

24 Rénover avec clairvoyance : Les mesures de construction par étapes – Minergie : http://www.minergie.ch/publications_minergie.html

25 SIDLER Olivier - Rénovation à basse consommation d'énergie des logements en france - Projet « RENAISSANCE » Programme européen CONCERTO - Août 2007 : http://www.negawatt.org/telechargement/Docs/Sidler%20Renovation%20final%201107.pdf

La première tranche, entre 2010 et 2020, porte sur le tiers le plus énergivore des logements, soit ceux des niveaux E, F ou G sur l'étiquette du diagnostic de performance énergétique (DPE). Le gain, obtenu suite à ces travaux, est alors très important. Il représente 35 % des économies d'énergie totales. Il concerne un peu plus de 40 000 logements à rénover « thermiquement » par an, ce qui correspond à 2 chantiers de rénovation pour la construction d'un logement neuf.

Sur les décades suivantes, on passe progressivement à des logements plus récents, moins énergivores, ce qui explique la diminution de l'effort global de rénovation.

Le gain de 35 % de notre scénario est proche du calcul de 38 % d'économies d'énergie, annoncé lors du Grenelle de l'environnement. Ce dernier est réalisé en énergie primaire ; il prend en compte une certaine diminution des chauffages électriques et porte sur l'ensemble du secteur du bâtiment, tertiaire y compris.

## 3.4. Résultats

En considérant l'évolution du parc des logements jusqu'en 2050, nous avons chiffré les prévisions de consommation d'énergie de chaque type de logements. Nous pouvons en déduire les consommations d'énergie de 2010 à 2050. Le Tableau 15 et la Figure 8 ci-dessous présentent ces résultats.

| | | 2010 | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| A | **Nb logements** | 1 529 524 | 1 712 997 | 1 896 470 | 2 079 943 | **2 263 416** |
| B | **Consommation énergie (Mtep)** | 2,76 | 1,86 | 1,44 | 1,22 | **1,16** |
| C | **Gain sur niveau 2010** | | 33% | 48% | 56% | **58%** |
| D | **Part des logements actuels dans la consommation totale** | 100% | 97% | 90% | 81% | **74%** |
| E | **Conso / log. (kWh/m2.an)** | 241 | 145 | 97 | 75 | **66** |
| F | **Conso / log., base 100 en 2010** | 100 | 60 | 42 | 33 | **28** |

Tableau 15. Évolution des consommations d'énergie d'ici à 2050. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.

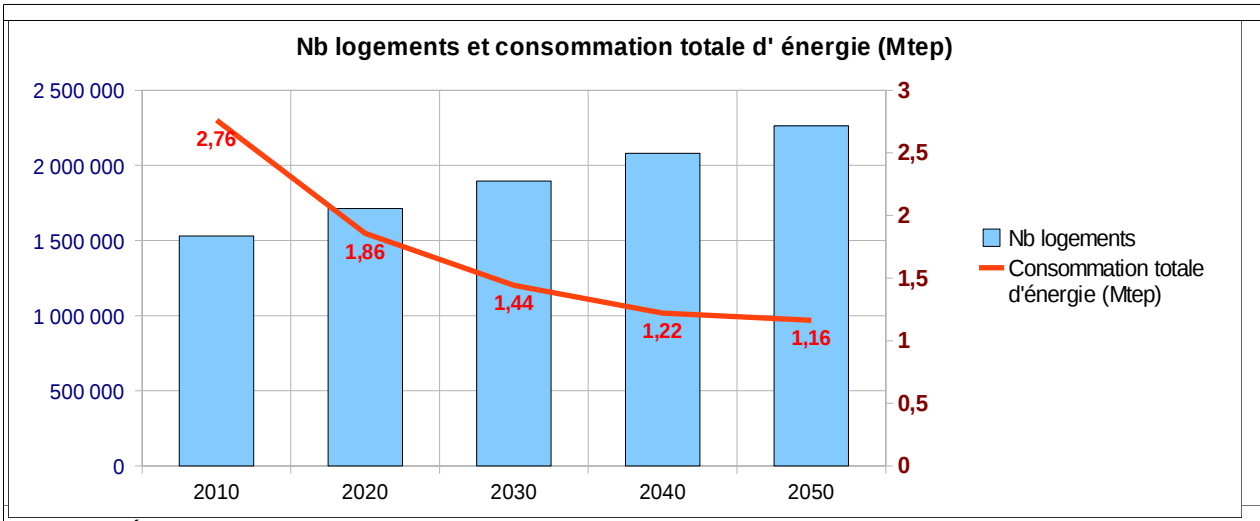



*Figure 8. Évolution du nombre de logements et de la consommation d'énergie de 2010 à 2050. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.*

Le gain en économies d'énergie est de 58 % par rapport à 2010 (ligne C). Les logements existants rénovés 'pèsent' encore 74 % de la consommation totale d'énergie (ligne D). En 2050, la consommation unitaire par logement n'est plus que de 28 % par rapport à celle de 2010 (ligne F).

Par logement, l'effort d'économies d'énergie est très important ; mais il est compensé, en partie, par l'augmentation du nombre de logements.

### 3.4.1. Évolution des usages de l'énergie

L'effort en économie d'énergie (58 %) se traduit principalement par une économie sur les postes du chauffage et de l'eau chaude sanitaire. Il y a une faible augmentation de l'électricité spécifique.

Le Tableau 16 ci-dessous présente cette évolution des usages de l'énergie.

| **Consommation d'énergie selon les usages (Mtep)** | 2010 (actuel) | 2050 (scénario VEC) | **variation 2010 / 2050** |
|---|---|---|---|
| Chauffage | 1,96 | 0,48 | **-75%** |
| ECS | 0,3 | 0,19 | **-39%** |
| Cuisson | 0,14 | 0,12 | **-16%** |
| Total chaleur | **2,4** | **0,78** | **-67%** |
| Électricité spécifique | **0,36** | **0,38** | **5%** |
| Total énergie | **2,76** | **1,16** | **-58%** |

Tableau 16. Évolution des usages de l'énergie dans l'habitat des Pays de la Loire. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.

Le besoin en chaleur est de 0,78 Mtep, celui en électricité est de 0,38 Mtep.

Une partie de ce besoin de chaleur pourra être assurée par des équipements de type pompe à chaleur avec un fort coefficient de performance (COP : rapport entre l'énergie totale fournie et l'énergie électrique consommée). Cela correspondra à un transfert d'un besoin de chaleur vers un besoin en électricité, ce besoin en électricité étant minoré par le coefficient de performance, soit au global une diminution du besoin en énergie. Dans ce chapitre nous ne prenons pas en compte ces possibilités et nous en restons à un besoin « brut » de chaleur.

### 3.4.2. Évolution de la consommation d'énergie de l'habitat des Pays de la Loire entre 1990 et 2050

En intégrant les données Explicit de 1990 et 2000, et nos prévisions d'économies d'énergie de 2010 à 2050, nous pouvons présenter une évolution générale de la consommation d'énergie de l'habitat des Pays de la Loire de 1990 à 2050 (Figure 9).

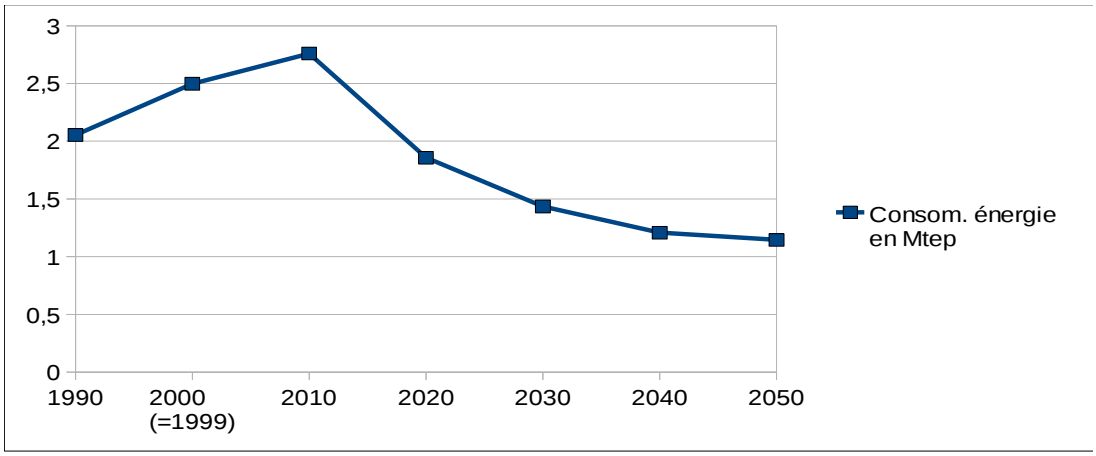



*Figure 9. Évolution générale de 1990 à 2050 de la consommation d'énergie de l'habitat des Pays de la Loire. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.*

L'effort sur la rénovation permet un gain important sur la période 2010 / 2020, ce qui se traduit visuellement par une pente forte ; ensuite la construction de logements très économes (type BEPOS) est « amortie » par le poids des logements anciens rénovés, la pente devient plus faible.

## 3.5. Discussion et comparaison avec d'autres scénarios

### 3.5.1. Le scénario du Grenelle de l'environnement en 2009

Une étude réalisée pour le compte du Commissariat Général du Développement Durable indique que les mesures, annoncées à la suite du Grenelle de l'Environnement, sont insuffisantes pour atteindre les objectifs annoncés (- 38 % en 2020 et le facteur 4 à horizon 2050)[26].

### 3.5.2. Le scénario « volontariste » présenté lors du SRCAE

À l'automne 2011, un scénario « volontariste » a été présenté par la DREAL des Pays de la Loire, lors des réunions de préparation du SRCAE (Schéma Régional  Climat Air Énergie). Voici les principales indications qui portent sur l'ensemble du secteur du bâtiment (logement + tertiaire).

| En énergie finale | Scénario « volontariste » SRCAE (logement + tertiaire) | | Scénario VEC (de 2010 à 2050) (logement) |
|---|---|---|---|
| | De 2009  à 2020 | De 2009 à 2050 | |
| Gain en consommation unitaire | 25% | 48% | 72% |
| Gain en consommation globale, avec l'augmentation du parc | 15% | 19% | 58% |

Tableau 17. Comparaison du scénario VEC (logement) et du scénario volontariste SRCAE (logement + tertiaire).
Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.

Nos travaux font ressortir un potentiel plus important en économie d'énergie que le scénario volontariste présenté lors du SRCAE.

## 3.6. Conclusions

Le scénario de Virage Énergie Climat Pays de la Loire présente et chiffre les économies d'énergies réalisables dans l'habitat des Pays de la Loire. En agissant sur différents leviers d'actions et en prenant en compte l'évolution du parc, les résultats obtenus révèlent un gisement important d'économies d'énergie. Le potentiel d'économies d'énergie mobilisable en 2050 représente ainsi près de 60 % des consommations d'énergie de 2010.

26 Évaluation des mesures du Grenelle de l'Environnement sur le parc de logements – COMMISSARIAT GÉNÉRAL AU DÉVELOPPEMENT DURABLE, n°58, Novembre 2011 : http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/ED58.pdf

Ambitieux mais réaliste, notre scénario rappelle notamment l'importance du chantier de rénovation pour les logements construits avant 2013, c'est à dire avant l'imposition de la norme BBC pour les constructions neuves. Ce chantier de rénovation devra allier performance et isolation de l'enveloppe du bâtiment et amélioration continue des équipements. Des campagnes de sensibilisation devraient aider à favoriser les comportements économes des habitants.

## 3.7. Références

Étude Explicit 2009, Bilan Énergie Climat de la Région Pays de la Loire, étude réalisée pour le compte de l'Ademe et la Region des Pays de la Loire
http://ademe-pdll.typepad.fr/infos/2010/04/journ%C3%A9e-r%C3%A9gionale-energie-et-effet-de-serre-7-avril-2009.html

Données INSEE (augmentation de la population)
http://www.insee.fr/fr/themes/tableau.asp?reg_id=99&ref_id=t_0401R

Données INSEE (évolution des ménages)
http://www.insee.fr/fr/themes/tableau.asp?reg_id=0&ref_id=AMFd1

Effinergie rénovation
http://www.effinergie.org/site/Effinergie/BBC-EffinergieRenovation

Minergie rénovation
http://www.minergie.ch/publications_minergie.html

SIDLER Olivier - Rénovation à basse consommation d'énergie des logements en france - Projet «RENAISSANCE» Programme européen CONCERTO - Août 2007
http://www.negawatt.org/telechargement/Docs/Sidler%20Renovation%20final%201107.pdf

*Du soleil dans les réseaux*, La Revue des énergies renouvelables, n° 207,Janvier 2012, p.78 et 79

SIDLER Olivier - Comment diviser par 2 sa consommation électrodomestique – Enertech
http://www.enertech.fr/pdf/76/reduire-consommation-electrodomestique.pdf

Les ecosapiens
http://www.eco-sapiens.com/dossier-7-L_energie-de-la-cuisson.html

Familles à énergie positive et le Guide 100 eco-gestes
http://centre.familles-a-energie-positive.fr/public/upload/PAYS%20DE%20LA%20LOIRE/Telechargement/quizz100ecogestes2011_pp.pdf

Prioriterre : Centre d'information et de Conseil Énergie, Eau, Consommation
www.prioriterre.org

Évaluation des mesures du Grenelle de l'Environnement sur le parc de logements – COMMISSARIAT GÉNÉRAL AU DÉVELOPPEMENT DURABLE, n°58, Novembre 2011
http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/ED58.pdf

Rénovation énergétique des bâtiments à chauffage collectif - Énergies et Avenir – Mars 2011
http://blog.pages-energie.com/etude-sur-la-renovation-energetique-des-batiments-a-chauffage-collectif-3635.html

Présentation de quelques réalisations sur
http://www.observatoirebbc.org/site/ObservatoireBBC/

Scénario *Habitat facteur 4,* Les cahiers du club d'ingénierie prospective énergie et environnement (CLIP / Iddri / SciencesPO), n°20, Novembre 2010
http://www.iddri.org/Publications/Les-cahiers-du-CLIP/Habitat-Facteur-4

# 4. SECTEUR TERTIAIRE

## 4.1. Résumé

Ce chapitre présente les potentiels d'économies d'énergie et de réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) dans le secteur tertiaire en Pays de la Loire. Le secteur tertiaire occupe une surface d'un peu moins de 50 000 milliers de m², consomme environ 1 Mtep, soit 13 % de la consommation d'énergie et émet 6 % de la totalité des GES.

Notre étude prend en compte la diversité des activités de ce secteur et son développement important. Nos propositions d'économies d'énergie sont proches de celles indiquées dans le chapitre habitat. Elles s'appuient sur :

- une rénovation performante des locaux existants ;
- la construction de nouveaux locaux de plus en plus économes ;
- des équipements consommateurs d'énergie performants et économes ;
- un comportement économe des usagers.

Le potentiel d'économies d'énergie que nous avons identifié représente 50 % de la consommation de 2009,  Ce bon résultat est obtenu malgré une forte augmentation des surfaces dédiées au tertiaire (presque un doublement).

| | 2009 | 2050 (avec les économies d'énergie) |
|---|---|---|
| Consommation d'énergie (Mtep) | 0.98 | 0.49 |
| Consommation d'énergie (TWh) | 11.4 | 5.7 |
| Surface (milliers de m²) | 50 000 | 95 100 |
| **Potentiel d'économie d'énergie par rapport à 2009** | | **50%** |

Tableau 18. Évolution de la consommation d'énergie, dans le secteur tertiaire entre 2009 et 2050 - Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire/

## 4.2. Introduction

Les activités prises en compte dans le secteur tertiaire sont regroupées dans les catégories suivantes :

- les commerces ;
- les bureaux ;
- le transport (gestion des locaux et garages des entreprises ayant une activité de transport) ;
- l'enseignement ;
- la santé ;
  - les activités de sport, loisirs et culture (SLC) ;
  - les activités café, hôtel et restaurant (CAHORE).

A l'image du secteur de l'habitat, un vaste programme de rénovation du parc existant doit être engagé, ainsi qu'un travail de sensibilisation auprès des usagers (salariés, usagers d'équipements privés et publics, etc.). En effet, les postes les plus gourmands en énergie sont le chauffage et l'éclairage. Les réglementations thermiques et les normes de construction seront des leviers importants pour réduire les consommations d'énergie du secteur.

Par ailleurs, c'est un secteur en très forte évolution, dont les surfaces augmenteront d'ici à 2050. Le privé, qui détient et détiendra plus des ¾ du parc en 2050, est un acteur majeur pour réduire la consommation d'énergie.

## 4.3. Les données et la méthode utilisée

### 4.3.1. Sources de données

Nos travaux s'appuient sur deux sources principales :

- l'étude Explicit 2006, Bilan Énergie Climat de la Région Pays de la Loire, réalisée pour le compte de l'ADEME et du Conseil régional des Pays de la Loire[27],
  - les documents de travail, remis lors des réunions de préparation du schéma régional du climat, de l'air et de l'énergie (SRCAE), notamment « préparation de l'atelier bâtiment n° 1 » et « atelier bâtiment, réunion n° 3 », regroupant des données provenant des sources BASEMIS 2008 et CEREN 2007.

Pour ce chapitre, nous prenons en compte l'étude Explicit pour les chiffres de base depuis 1990 et les estimations d'émissions de gaz à effet de serre (GES). A noter que les sources BASEMIS et CEREN donnent des consommations un peu plus fortes que celles indiquées par Explicit.

Comme dans le chapitre habitat, nous raisonnons ici en énergie finale, notée « ef », pour caractériser les consommations d'énergie effectives des consommateurs et mettre en évidence le potentiel d'économies réalisable.

27 http://ademe-pdll.typepad.fr/infos/2010/04/journ%C3%A9e-r%C3%A9gionale-energie-et-effet-de-serre-7-avril-2009.html

### 4.3.2. Méthodologie employée

Dans le secteur tertiaire, la méthode de scénarisation comporte les étapes suivantes :

- **étape 1** : estimer les consommations actuelles par activités principales ;
- **étape 2** : estimer l'évolution des surfaces par activité, d'ici à 2050 ;
- **étape 3** : en déduire le parc existant à rénover et les parc neufs à construire, de type bâtiment basse consommation (BBC) et bâtiment à énergie positive (BEPOS) ;
- **étape 4** : évaluer les consommations d'énergie par activité et par usage pour les parcs à rénover, BBC et BEPOS ;
- **étape 5** : additionner les consommations d'énergie, par période et par usage ;
- **étape 6** : estimer le besoin total en énergie, par période et par forme d'énergie ;
- **étape 7** : présenter l'évolution de 1990 à 2050 ;
- **étape 7** : comparer nos résultats avec d'autres études et scénarios.

### 4.3.3. Les données de base

Nous nous sommes appuyés sur l'étude Explicit qui fournit les données de base (2006) et des éléments d'analyse sur la consommation d'énergie dans le secteur tertiaire. Les deux tableaux ci-dessous montrent que la consommation d'énergie dans ce secteur est en constante augmentation. Ils nous indiquent également que les activités de commerce et les bureaux représentent 44 % des surfaces et des consommations d'énergie. La consommation moyenne d'énergie s'établit à environ 250 kWh d'énergie finale m²/an.

| | 1990 | 1999 | 2006 |
|---|---|---|---|
| Mtep | 0,78 | 0,88 | 0,98 |
| TWh | 9,1 | 10,2 | 11,4 |

Tableau 19 . Consommation d'énergie dans le secteur tertiaire dans les Pays de la Loire entre 1990 et 2006 - Source : étude Explicit 2009

| | m² | % surface | énergie (tep) | % énergie | kWh ef/m²/an |
|---|---|---|---|---|---|
| Commerce | 11 323 890 | 25% | 227 159 | 23,1% | 233,26 |
| Bureaux | 8 928 437 | 19% | 204 659 | 20,8% | 266,54 |
| Education | 7 521 608 | 16% | 92 974 | 9,5% | 143,73 |
| Santé | 6 745 446 | 15% | 140 568 | 14,3% | 242,31 |
| SLC (Sport-Loisirs-Culture) | 5 131 718 | 11% | 126 739 | 12,9% | 287,18 |
| CAHORE | 4 824 158 | 11% | 157 346 | 16,0% | 379,26 |
| Transports | 1 389 017 | 3% | 33 245 | 3,4% | 278,30 |
| *total* | *45 864 274* | *100%* | *982 690* | *100%* | |

Tableau 20. Répartition des activités selon la surface et la consommation d'énergie - source : étude Explicit 2009 (chiffres 2006)

Les deux tableaux suivants présentent la consommation d'énergie par type d'énergie et usage.

| | ktep | % |
|---|---|---|
| Electricité | 383 | 39,0% |
| Gaz naturel | 367 | 37,3% |
| Produits pétroliers | 218 | 22,2% |
| Chaleur | 15 | 1,5% |
| | 983 | 100,0% |

Tableau 21. Consommation d'énergie dans le secteur tertiaire selon le type d'énergie utilisé - Source : étude Explicit 2009 (chiffres 2006)

L'électricité, le gaz naturel et les produits pétroliers sont, dans l'ordre, les trois principales énergies utilisées dans le secteur tertiaire (Tableau 22).

| | ktep | % |
|---|---|---|
| Chauffage | 525 | 53,4% |
| Electricité spécifique | 233 | 23,7% |
| ECS | 101 | 10,3% |
| Cuisson | 66 | 6,7% |
| Climatisation | 19 | 1,9% |
| Autres (Froid,…) | 39 | 4,0% |
| | 983 | 100,0% |

Tableau 22. Consommations d'énergie dans le secteur tertiaire selon les usages - Source : étude Explicit 2009 (chiffres 2006)

Les usages d'énergie pour le chauffage et l'électricité spécifique représentent près de 80 % des consommations (Tableau 23).

Le tableau ci-dessous indique que le privé détenait 78 % du parc tertiaire en 2009. Ces chiffres préfigurent l'importance des acteurs privés dans l'engagement d'actions d'économies d'énergie dans le secteur tertiaire.

| | | |
|---|---|---|
| Parc privé | 39 000 000 | 78% |
| Parc public, état | 2 000 000 | 4% |
| Parc public, collectivites | 9 000 000 | 18% |
| total | 50 000 000 | m2 |

Tableau 23. Répartition des surfaces dédiées à l'activité tertiaire entre public et privé - Source : SRCAE Pays de la Loire 2011 - Atelier 3

### 4.3.4. Évolution des surfaces

Pour étudier l'évolution des surfaces tertiaires entre 2009 et 2050, le scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire prend en compte les données du SRCAE Pays de la Loire.

Le Tableau 24 montre un quasi doublement des surfaces consacrées aux activités tertiaires, principalement pour les surfaces privées. A noter que le chiffre de base de la surface actuelle mentionné ici pour fin 2009 (50 000 000) est un peu supérieur à celui indiqué par Explicit pour 2006 (45 864 274).

| Année de construction | surfaces parc privé (milliers m²) | surfaces parc État (milliers m²) | surfaces parc collectivités (milliers m²) | **TOTAL (m²)** |
|---|---|---|---|---|
| Parc tertiaire à fin 2009 | 39 000 | 2 000 | 9 000 | 50 000 000 |
| Parc construit entre 2010 et 2012 | 3 500 | 15 | 120 | 3 635 000 |
| Parc construit entre 2013 et 2020 | 10 000 | 35 | 230 | 10 265 000 |
| Parc construit entre 2021 et 2050 | 30 000 | 200 | 1 000 | 31 200 000 |
| **Ensemble - parc tertiaire à fin 2050** | 82 500 | 2 250 | 10 350 | **95 100 000** |

Tableau 24. Estimations de l'évolution des surfaces du parc tertiaire d'ici à 2050 - Source : SRCAE Pays de la Loire 2011 - Atelier 3

Dans le tableau suivant, nous proposons une évolution de la répartition des surfaces construites par activités, d'ici à 2050 avec une prise en compte de 3 catégories de locaux tertiaires :

- les locaux construits avant 2013 et à rénover ;
- les locaux de type BBC construits entre 2013 et 2020 ;
- les locaux de type BEPOS construits entre 2021 et 2050.

| | Part | Surface à fin 2009 (m²) | Surface à fin 2012 (m²) | Surface construite entre 2013 et 2020 | Surface construite entre 2021 et 2050 |
|---|---|---|---|---|---|
| Commerce | 25% | 12 345 001 | 13 242 482 | 2 534 429 | 7 703 281 |
| Bureaux | 19% | 9 733 542 | 10 441 171 | 1 998 296 | 6 073 730 |
| Education | 16% | 8 199 855 | 8 795 985 | 1 683 430 | 5 116 710 |
| Santé | 15% | 7 353 704 | 7 888 318 | 1 509 715 | 4 588 711 |
| Sport-Loisirs-Cultur | 11% | 5 594 461 | 6 001 178 | 1 148 543 | 3 490 944 |
| CAHORE | 11% | 5 259 168 | 5 641 509 | 1 079 707 | 3 281 721 |
| Transports | 3% | 1 514 269 | 1 624 356 | 310 879 | 944 904 |
| | 100% | 50 000 000 | 53 635 000 | 10 265 000 | 31 200 000 |
| total à fin 2050 | | | 95 100 000 | | |

Tableau 25: Évolution des surfaces construites et répartition par activité, d'ici à 2050 - Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire

### 4.3.5. Prévisions des consommations d'énergie

Nous présentons ici notre scénario d'évolution des consommations d'énergie par type d'activité, pour les locaux à rénover, BBC et BEPOS. Pour chaque activité, nous prenons en compte de l'usage de l'énergie, pour évaluer le besoin total en énergie. Nous avons ainsi émis les hypothèses suivantes :

- le besoin en eau chaude sanitaire (ECS) est plus important dans le secteur des sports, loisirs et culture (SLC) que dans les bureaux ;
- le besoin en chauffage est plus important pour les activités de santé que pour les commerces ;
- le besoin en informatique/bureautique est plus important pour les activités de santé et bureaux que pour la restauration/hôtellerie (CAHORE).

La démarche générale en faveur des économies d'énergie est proche de celle suivie pour le secteur de l'habitat :

- favoriser une rénovation très performante des locaux existants ;
- prendre en compte les constructions de type BBC à partir de 2012 jusqu'en 2020 ;
- prendre en compte les constructions de type BEPOS à partir de 2020.

Nous avons ainsi supposé que le besoin de chauffage diminuait avec les travaux de rénovation et il devenait négligeable avec les locaux BEPOS. Les autres consommations diminuaient aussi de façon importante, lors des rénovations et étaient minimales pour les BEPOS.

Pour l'évolution des bureaux et des commerces, nous prenons en compte les propositions d'Olivier Sidler du cabinet Enertech, exposées lors des formations « Rénovation et conception de bâtiments à très faible consommation d'énergie ».

Pour le secteur de la santé, des valeurs sont proposées par le Guide technique - Quelles solutions pour les établissements de santé climatisés à moins de 100 kWh/m² ?[28].
Les indications concernant les autres secteurs nous ont été communiquées par le bureau d'études Inddigo de Nantes.

#### *4.3.5.1. Locaux à rénover (construits avant 2013)*

Comme dans le secteur de l'habitat, un vaste programme de rénovation de l'existant doit être engagé, afin de réduire les besoins de chauffage. Le tableau ci-dessous présente des prévisions de consommations de locaux (rénovés ou à rénover). Il distingue les consommations selon les usages et selon le type d'activités (Tableau 26)

28 Guide des solutions pratiques (e-Cahiers du CSTB, Cahier 3622, avril 2008)

| **Rénovation kWh ef/m²/an** | Bureaux | Education | Commerce | Santé | SLC | CAHORE | Transports |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Chauffage | 30,00 | 22,00 | 15,00 | 50,00 | 15,00 | 15,00 | 24,00 |
| Informatique / bureautique | 7,75 | | 0,00 | 12,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| ECS | 1,00 | 8,00 | 7,00 | 9,00 | 29,00 | 15,00 | 0,00 |
| Cuisson | 0,00 | | 0,00 | 5,00 | 0,00 | 10,00 | 0,00 |
| Climatisation | 0,00 | 0,00 | 2,00 | 3,00 | 0,00 | 2,00 | 0,00 |
| Eclairage, auxiliaire chauf., ventil. | 16,00 | 25,00 | 20,00 | 50,00 | 10,00 | 20,00 | 10,00 |
| Autres (Froid,…) | 0,00 | 0,00 | 10,00 | 0,00 | 0,00 | 5,00 | 0,00 |
| **TOTAL** | **54,75** | **55,00** | **54,00** | **129,00** | **54,00** | **67,00** | **34,00** |

Tableau 26: Prévisions de consommations des locaux à rénover - Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire

### *4.3.5.2. Locaux de type BBC (construits entre 2013 et 2020)*

Le tableau ci-dessous présente les consommations des locaux de type BBC et met en évidence des économies notables en matière de chauffage (Tableau 27).

| **RT 2012 kWh ef/m²/an (eq BBC)** | Bureaux | Education | Commerce | Santé | SLC | CAHORE | Transports |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Chauffage | 15,00 | 15,00 | 9,00 | 35,00 | 10,00 | 8,00 | 14,00 |
| Informatique / bureautique | 7,75 | | 0,00 | 12,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| ECS | 1,00 | 8,00 | 7,00 | 9,00 | 29,00 | 15,00 | 0,00 |
| Cuisson | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 5,00 | 0,00 | 10,00 | 0,00 |
| Climatisation | 0,00 | 0,00 | 2,00 | 3,00 | 0,00 | 2,00 | 0,00 |
| Eclairage, auxiliaire chauf., ventil. | 16,00 | 25,00 | 20,00 | 50,00 | 10,00 | 20,00 | 10,00 |
| Autres (Froid,…) | 0,00 | 0,00 | 10,00 | 0,00 | 0,00 | 5,00 | 0,00 |
| **TOTAL** | **39,75** | **48,00** | **48,00** | **114,00** | **49,00** | **60,00** | **24,00** |

Tableau 27: Prévisions de consommations des locaux de type BBC - Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire

### *4.3.5.3. Locaux de type BEPOS (construits de 2021 à 2050)*

Avec la construction de locaux de type BEPOS, les besoins de chauffage sont à nouveau réduits (Tableau 28)

| **RT 2020 kWh EF/m²/an (eq BEPOS)** | Bureaux | Education | Commerce | Santé | SLC | CAHORE | Transports |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Chauffage | 10,00 | 7,00 | 5,00 | 20,00 | 5,00 | 5,00 | 8,00 |
| Informatique / bureautique | 7,75 | | 0,00 | 12,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| ECS | 1,00 | 6,00 | 7,00 | 9,00 | 29,00 | 15,00 | 0,00 |
| Cuisson | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 5,00 | 0,00 | 10,00 | 0,00 |
| Climatisation | 0,00 | 0,00 | 2,00 | 3,00 | 0,00 | 2,00 | 0,00 |
| Eclairage, auxiliaire chauf., ventil. | 16,00 | 22,00 | 20,00 | 50,00 | 10,00 | 20,00 | 10,00 |
| Autres (Froid,…) | 0,00 | 0,00 | 10,00 | 0,00 | 0,00 | 5,00 | 0,00 |
| **TOTAL** | **34,75** | **35,00** | **44,00** | **99,00** | **44,00** | **57,00** | **18,00** |

Tableau 28: Prévisions de consommations des locaux de type BEPOS - Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire

### 4.3.6. Le comportement des usagers

Comme dans le chapitre habitat, nous prenons en compte les effets des comportements économes des usagers. Cette évolution comportementale concerne les personnes travaillant dans les locaux (employés dans les différentes activités) et les usagers des services (par exemple les utilisateurs de salles de sports et les élèves dans les établissements scolaires). L'exemple souvent cité pour un comportement économe est de remplacer la chemisette en plein hiver par des vêtements de saison, permettant ainsi de limiter la température de chauffage à 19°, au lieu de 20 ou 21°, comme c'est le cas aujourd'hui.

## 4.4. Les résultats

Nous prévoyons en 2050 une surface totale construite de locaux tertiaires de 95 100 000 m², contre 50 000 000 m² en 2009. Nous avons établi les prévisions de consommations selon les activités et le type de locaux (les locaux rénovés ou BBC et BEPOS). Nous pouvons en déduire les consommations d'énergie du secteur tertiaire en 2050.

Afin de répartir l'effort de rénovation des locaux d'ici à 2050, nous appliquons un taux de rénovation de 40 % en 2020. Cette valeur est un peu supérieure à celle annoncée par le Grenelle de l'Environnement. Nos actions d'économies d'énergie permettent ainsi une diminution de 50 % de la consommation en 2050, par rapport à 2009.

| *MWh* | 2009 | 2012 | 2020 | 2050 |
|---|---|---|---|---|
| *Taux de rénovation* | 0% | 10% | 40% | 100% |
| Chauffage | 6 101 819 | 6 435 213 | 4 489 274 | 1 737 043 |
| Informatique / bureautique | | 17 558 | 51 161 | 311 318 |
| ECS | 1 176 943 | 1 243 747 | 942 234 | 881 914 |
| Cuisson | 765 584 | 806 725 | 559 358 | 169 963 |
| Climatisation | 217 106 | 229 115 | 166 549 | 108 926 |
| Eclairage, auxiliaire chauf., ventil. | 2 708 111 | 2 846 799 | 2 155 302 | 2 174 972 |
| Autres (Froid,…) | 457 065 | 482 661 | 357 871 | 284 817 |
| **TOTAL** | **11 426 628** | **12 061 818** | **8 721 749** | **5 668 954** |
| **Total (Mtep)** | **0,98** | **1,04** | **0,75** | **0,49** |
| **% de la valeur 2009** | | **106%** | **76%** | **50%** |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| TOTAL CHALEUR | 7 278 762 | 7 678 960 | 5 431 508 | 2 618 958 |
| TOTAL ELECTRICITE SPECIFIQUE | 3 382 282 | 3 576 133 | 2 730 884 | 2 880 033 |
| TOTAL CUISSON | 765 584 | 806 725 | 559 358 | 169 963 |

Tableau 29. Évolution des consommations d'énergie entre 2009 et 2050 - Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.

La figure et le tableau ci-dessous présentent l'évolution globale de la consommation d'énergie dans le secteur tertiaire pour la période 1990 - 2050.

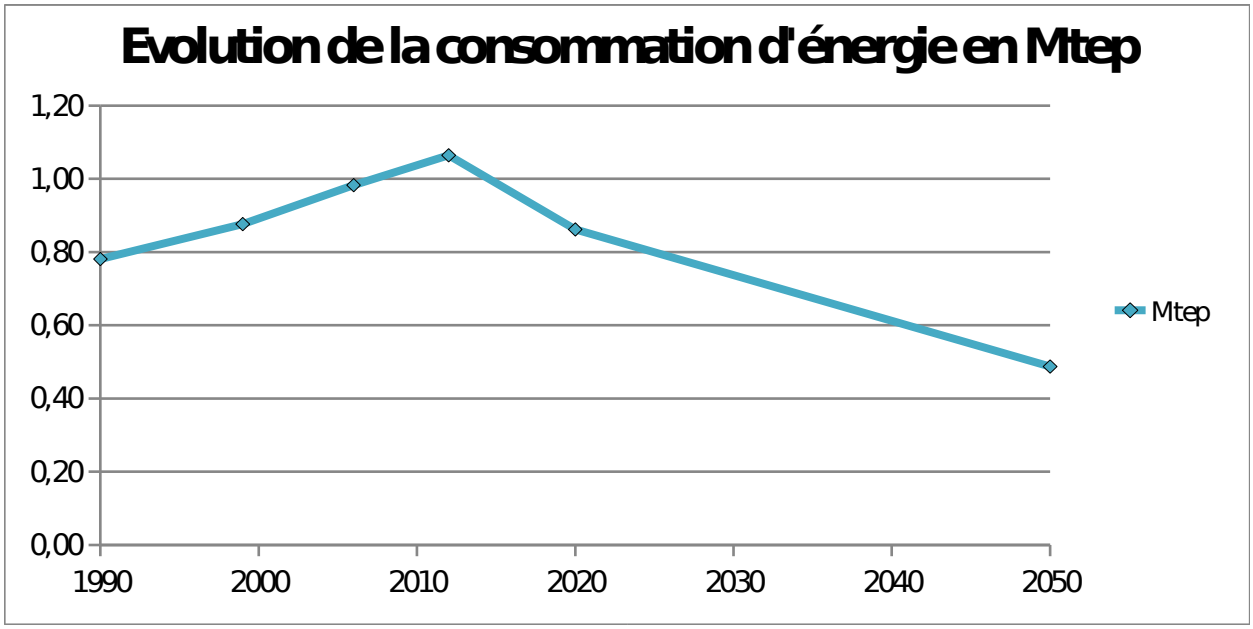



*Figure 10. Évolution de la consommation d'énergie du secteur tertiaire - Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.*

| énergie | 1990 | 1999 | 2006 | 2012 | 2020 | 2050 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Mtep | 0,78 | 0,88 | 0,98 | 1,04 | 0,75 | 0,49 |
| TWh | 9,1 | 10,2 | 11,4 | 12,06 | 8,72 | 5,67 |
| % de 1990 | | 112 | 126 | 133 | 96 | 62 |

Tableau 30. Évolution des consommations d'énergie entre 1990 et 2050 - Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.

Après une augmentation continue entre 1990 et 2012, les consommations d'énergie s'infléchissent à partir de 2012 pour revenir en 2020 à une consommation d'énergie proche de celle de 1999 (0,86 Mtep) (Figure 10).
Le potentiel d'économie d'énergie que nous avons estimé pour le secteur tertiaire en 2050 représente 50% des consommations d'énergie de 2006, soit 38 % des consommations de 1990 (Tableau 30).

## 4.5. Discussion

**SRCAE Pays de la Loire, présentation du scénario « volontariste »**

Les documents présentés pour la préparation du SRCAE présentent un scénario « volontariste » pour l'évolution de la consommation d'énergie (en énergie finale) du secteur tertiaire des Pays de la Loire.

| | Situation actuelle (source Basemis 2008) | Prévision 2020, scénario SRCAE | Prévision 2050, scénario SRCAE |
|---|---|---|---|
| Consommation d'énergie finale (Mtep) pour le tertiaire | 1.1 | 0.95 | 0.85 |
| Pourcentage de gain par rapport à la situation actuelle | | 14% | 23% |

Tableau 31. Scénario d'économie d'énergie « volontariste » du SRCAE pour le secteur tertiaire - Source SRCAE Pays de la Loire 2011

Le potentiel d'économies d'énergie estimé par le SRCAE en 2050 représente moins de 25 % de la consommation actuelle.
Le SRCAE prend en compte un niveau de consommation pour la « situation actuelle » de 1,1 Mtep, correspondant à la source BASEMIS 2008. Ce niveau de consommation est un peu plus fort que celui de l'étude Explicit (0,98 Mtep pour 2006).

## 4.6. Conclusion

Notre scénario reprend les principaux leviers d'économie d'énergie mentionnés dans le chapitre habitat. Il permet une forte réduction des consommations d'énergie des bâtiments, compensée pour partie par l'augmentation à venir des surfaces dédiées aux activités tertiaires.

Comme dans le secteur de l'habitat, l'effort de rénovation est déterminant pour atteindre l'objectif de 50 % d'économies d'énergie. Le comportement des usagers est également important et constitue un gisement d'économies au regard des gaspillages aujourd'hui constatés. Les entreprises ont donc un rôle à jouer pour sensibiliser à la fois leurs salariés, les visiteurs et/ou les usagers.

## 4.7. Références

Étude Explicit 2009, Bilan Énergie Climat de la Région Pays de la Loire, étude réalisée pour le compte de l'ADEME et du Conseil régional des Pays de la Loire
http://ademe-pdll.typepad.fr/infos/2010/04/journ%C3%A9e-r%C3%A9gionale-energie-et-effet-de-serre-7-avril-2009.html

# 5. TRANSPORTS ET DEPLACEMENTS

## 5.1. Résumé

Ce chapitre présente le scénario Virage Énergie-Climat Pays de la Loire en faveur des économies d'énergie pour les transports et déplacements terrestres, maritimes et aériens des Pays de la Loire.

En 2006, les transports et déplacements représentaient 33 % de l'énergie consommée et 23 % de la totalité des émissions de gaz à effet de serre (GES) de la région des Pays de la Loire. Ce secteur est en forte croissance avec une dépendance au pétrole de 97 %. Les modes routiers sont les plus consommateurs d'énergie et les plus émetteurs de GES.

Nous proposons un scénario de réduction des consommations d'énergie des transports des Pays de la Loire à l'échéance 2050, qui intègre une augmentation de la population de 28%. Nos propositions combinent plusieurs types d'actions, adaptées aux trajets et aux motifs de déplacement :

- diminution de l'usage, notamment pour les déplacements non contraints terrestres et aériens et par l'arrêt des importations maritimes d'hydrocarbures ;
- relocalisation des activités par une amélioration de l'organisation et de l'urbanisme, pour favoriser les économies d'énergie ;
- amélioration de l'efficacité énergétique des modes de transport routier et aérien ;
- report d'une part importante des déplacements vers d'autres modes plus économes en énergie (transports collectifs, déplacements doux, ferroviaires, etc.).

Le scénario de Virage Énergie-Climat Pays de la Loire permet une réduction globale de 66 % des consommations d'énergie du secteur des transports des Pays de la Loire en 2050, par rapport à son niveau de 2010, en prenant en compte l'augmentation de la population. Ramené au niveau de 1990, le gain global est de 49 % :

| Consommation d'énergie pour transports et déplacements | 1990 | 2010 | 2050 avec augmentation population INSEE | |
|---|---|---|---|---|
| Source | Explicit | Explicit actualisé | Projection sans économie d'énergie | Scénario VEC avec économies d'énergie |
| Energie (Mtep) | 1.8 | 2.7 | 3.7 | 0.9 |
| Energie (TWh) | 21 | 31 | 43 | 11 |
| Potentiel d'économies d'énergie du scénario VEC | -49% | -66% | -75% | |

Tableau 32: Consommation d'énergie et évolution selon notre scénario. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.

Ces économies d'énergie permettent une réduction directe des émissions de GES des transports régionaux de 66 %. Le scénario de Virage Énergie-Climat Pays de la Loire permet en outre de réduire le temps perdu dans les transports par la relocalisation des activités et d'envisager la sortie de notre dépendance aux énergies fossiles pour nos transports et déplacements.

## 5.2. Introduction

La région Pays de la Loire est économiquement dynamique et possède de grands centres urbains attracteurs (Nantes, Angers, Le Mans, Laval, La Roche/Yon Saint Nazaire, Cholet), qui génèrent un étalement urbain important (voir chapitre agriculture).
Le port de St Nazaire est le 5ème port français et 70 % de son activité est liée au transport de combustibles vers le terminal méthanier.
La façade maritime régionale et les paysages variés de la région attirent également de nombreux touristes (Explicit 2009).
Les Pays de la Loire comptent neuf aéroports et deux aérodromes sur lesquels du trafic est enregistré. L'aéroport de Nantes-Atlantique est de loin la principale infrastructure aéroportuaire de la région. Plus de 95% des voyageurs transportés par avion en Pays de la Loire le sont sur cet aéroport (Explicit, 2009)[29], dont le trafic est en augmentation depuis 1990 (Direction Générale de l'Aviation Civile, 2010)[30].
Tous ces facteurs induisent une augmentation rapide du volume de transports dans les Pays de la Loire, non sans conséquence pour l'environnement et les habitants de la région.

Du fait des différences de nature, de méthodologie d'analyse et de priorité entre les transports terrestres, aériens et maritimes, nous présentons dans ce chapitre nos analyses sur les transports terrestres, aériens et maritimes dans trois parties séparées.

Nous réalisons dans ce chapitre un bilan énergétique et climatique des transports terrestres, aériens et maritimes des Pays de la Loire, puis faisons des propositions chiffrées d'actions visant à faire diminuer leurs consommations d'énergie.

Nous estimons le potentiel total d'économies d'énergie pour les transports de la région en 2050 et évaluons les réductions directes d'émissions de gaz à effet de serre (GES) induites par ces économies d'énergie. Les émissions totales de GES des transports dépendant des sources d'énergie qui les propulsent, le bilan carbone global des transports de notre scénario sera réalisé dans le chapitre « synthèse ».

29 http://ademe-pdll.typepad.fr/files/rapport-bilan-pdl-v4---26-mar-09-2.pdf et http://ademe-pdll.typepad.fr/infos/2010/04/journ%C3%A9e-r%C3%A9gionale-energie-et-effet-de-serre-7-avril-2009.html
30 http://www.developpement-durable.gouv.fr/ IMG/ pdf/ Emissionsn_gazeuses_Document_finalV1-1.pdf

## 5.3. Potentiel d'économies d'énergie pour les transports terrestres des Pays de la Loire

### 5.3.1. Données et méthodes utilisées

#### *5.3.1.1. Les sources de données*

Nos travaux s'appuient essentiellement sur les études suivantes :

- le bilan énergie-climat de la région Pays de la Loire réalisé par Explicit en 2009 pour le compte de l'ADEME, de la préfecture et la Région des Pays de la Loire (Explicit, 2009)[31],
- les documents de travail de la Direction Régionale de l'Environnement de l'Aménagement et du Logement (DREAL), concernant l'atelier Transport et Déplacements, remis à l'automne 2011 pour la préparation du Schéma Régional Climat Air Energie (SRCAE) ;
- le Dossier INSEE Pays de la Loire n° 35 : Les transports et déplacements des habitants des Pays de la Loire, avril 2010 (INSEE Pays de la Loire, 2010a)[32] .

#### *5.3.1.2. Hypothèses*

- Dans le cas des transports terrestres, nous comptabilisons dans cette partie les consommations d'énergie et les émissions de GES réalisées sur le territoire régional (périmètre « cadastral ») ;
- les transports extra-régionaux et internationaux, essentiellement aériens ou maritimes, posent un problème méthodologique, car ils induisent des consommations d'énergie et des émissions de GES réalisées dans les eaux ou l'espace aérien international. Le problème est que ces consommations/émissions ne sont attribuées à aucun territoire si l'on ne comptabilise que les émissions/consommations réalisées dans la région (méthode "cadastrale"). Nous avons donc adopté pour les transports aérien et maritime un périmètre élargi, qui permet de retrouver les consommations d'énergie et/ou les émissions de GES des trafics aérien et maritime mondiaux en sommant les émissions de GES attribuées à chacun des (aéro)ports ;
- notre étude ne reprend pas les arguments généraux concernant les coûts écologiques et sociaux des transports (atteinte à la biodiversité, pollutions et risques pour la santé, bruit, utilisation des espaces, dépendance aux régions pétrolifères, etc.) ;
- notre étude n'aborde pas les substitutions possibles par d'autres carburants ;
- nos travaux portent sur un potentiel d'économies d'énergie, exprimé en pourcentage par rapport à des consommations à une échéance donnée ; nous travaillerons sur des quantités d'énergie sans avoir à passer par des unités intermédiaires de type 'personnes.km' ou 'tonnes.km'.

31 http://ademe-pdll.typepad.fr/files/rapport-bilan-pdl-v4---26-mar-09-2.pdf et http://ademe-pdll.typepad.fr/infos/2010/04/journ%C3%A9e-r%C3%A9gionale-energie-et-effet-de-serre-7-avril-2009.html

32 http://www.insee.fr/fr/themes/document.asp?reg_id=3&ref_id=16065

#### *5.3.1.3. Méthodologie de scénarisation de l'impact énergétique et climatique des transports terrestres*

Dans le domaine des transports et des déplacements terrestres, la méthode de scénarisation comporte les étapes suivantes :

- **étape 1** : bilan des consommations d'énergie des transports et déplacements dans la région ;
- **étape 2** : extrapolation des consommations d'énergie et des émissions de GES en 2010, puis 2050, proportionnellement à l'augmentation de la population régionale ;
- **étape 3** : analyse des déplacements dans la région, et notamment des interactions entre motifs, types de trajets et modes de déplacement ;
- **étape 4** : présentation théorique des actions d'économies d'énergie dans les transports et de la méthode de calcul pour évaluer leur efficacité ;
- **étape 5** : application de ces actions aux déplacements de personnes, avec chiffrage du gain apporté par chacune des actions et calcul du potentiel total d'économies d'énergie ;
- **étape 6** : application des actions d'économies d'énergie aux transports de marchandises ;
- **étape 7**: évaluation du potentiel d'économies d'énergie réalisable sur la totalité des transports et des déplacements terrestres en 2050 et évaluation de la réduction des émissions de GES induite par ces économies d'énergie ;
- **étape 8** : établissement d'un calendrier pour la mise en œuvre d'actions d'économies d'énergie et l'évolution du type de vecteurs énergétiques utilisés par les transports ;
- **étape 9** : comparaison des résultats avec ceux d'autres scénarios de prospective énergétique.

### 5.3.2. Bilans des consommations d'énergie et des émissions de gaz à effet de serre des transports terrestres des Pays de la Loire

#### *5.3.2.1. Les consommations d'énergie et émissions de gaz à effet de serre en 2006*

Le transport est le premier poste de consommation d'énergie et d'émissions de gaz à effet de serre (GES) d'origine énergétique de la région des Pays de la Loire (Explicit 2009). Le secteur est en pleine expansion et ses consommations d'énergie et émissions de GES ont augmenté d'environ 40 % de 1990 à 2006 (Tableau 33). La tendance actuelle est donc très contradictoire avec nos objectifs de réductions de consommations d'énergie et d'émissions de GES.

| données Explicit | 1990 | 1999 | 2006 | variation de 1990 à 2006 | part dans le bilan régional |
|---|---|---|---|---|---|
| Consommation d'énergie (en tep) | 1 809 271 | 2 349 799 | 2 550 363 | 41% | 33% |
| Emissions de GES (t eq CO2) | 5 654 937 | 7 350 321 | 7 973 866 | 41% | 23% |

Tableau 33. Consommations d'énergie et émissions de gaz à effet de serre (GES) du secteur des transports des Pays de la Loire, variations depuis 1990 et part du bilan régional en 2006. Source : Explicit, 2009.

Afin de proposer des mesures d'économie d'énergie adaptées pour les transports, il nous faut détailler la nature des transports terrestres régionaux.

D'après Explicit (2009), les transports routiers de personnes consomment la majorité de l'énergie des transports dans la région Pays de la Loire (70%). Environ la moitié des consommations d'énergie des transports terrestres de la région sont dues aux transports routiers interurbains hors autoroutes. Le transport urbain représente 31 % des consommations d'énergie et le transport autoroutier environ 15 % (Tableau 34).

| Types de transports et déplacements terrestres (pour l'année 2006, source Explicit) | Energie consommée (tep) | % | Dont énergie pour les déplacements de personnes (tep) | Dont énergie pour les transports de marchandises (tep) |
|---|---|---|---|---|
| Interurbain | 1 346 716 | 53% | 942 701 | 404 015 |
| Autoroutes | 353 538 | 14% | 247 477 | 106 061 |
| Urbain | 790 755 | 31% | 553 529 | 237 227 |
| Collectif urbain | 21 796 | 1% | | |
| Ferroviaire | 16 301 | 1% | | |
| Total route hors transports collectifs | 2 491 009 | 98% | 1 743 707 | 747 303 |
| Total | 2 529 106 | 100% | | |

Tableau 34. Consommations d'énergie par types de déplacements terrestres dans les Pays de la Loire en 2006. Source : Explicit, 2009.

L'étude Explicit fournit les consommations d'énergie selon les types de trajets. Du fait de la disparité des consommations d'énergie entre transports terrestres de marchandises et de personnes, nous les traitons séparément.

Le rapport Explicit (2009) distingue 3 catégories de déplacements :

- la catégorie *urbain,* qui concerne les villes de plus de 10 000 habitants ;
- la catégorie *autoroute,* restreinte au territoire de la région ;
- la catégorie *interurbain,* qui regroupe les autres déplacements et transports notamment les mouvements entre la périphérie et le centre des grandes villes, ainsi que les trajets en milieu rural.

Nous reprenons dans notre étude les 3 catégories Explicit, auxquelles nous avons ajouté une catégorie unique pour le transport de marchandises, sans différencier les types de trajets.

#### *5.3.2.2. Projection des consommations d'énergie des transports en 2010 et 2050*

Nous appliquons le taux d'augmentation de la population régionale prévu par l'INSEE[33] aux consommations d'énergie des transports terrestres estimées par l'étude Explicit pour 2006, afin d'évaluer ces paramètres en 2010 et 2050 en l'absence d'actions d'économies d'énergie :

| | Consommation d'énergie en tonnes équivalent pétrole (tep) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Augmentation (%) | Déplacements routiers personnes | Transports routier de marchandises | Total |
| 1990 | | | | 1 809 000 |
| 2006 | | 1 743 706 | 747 303 | 2 550 364 |
| 2010 | +5% | 1 830 892 | 784 668 | 2 677 882 |
| 2050 | +28% | 2 343 541 | 1 004 375 | 3 427 689 |

Tableau 35. Projections en 2010 et 2050 des consommations d'énergie des transports terrestres des Pays de la Loire. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire – Octobre 2012

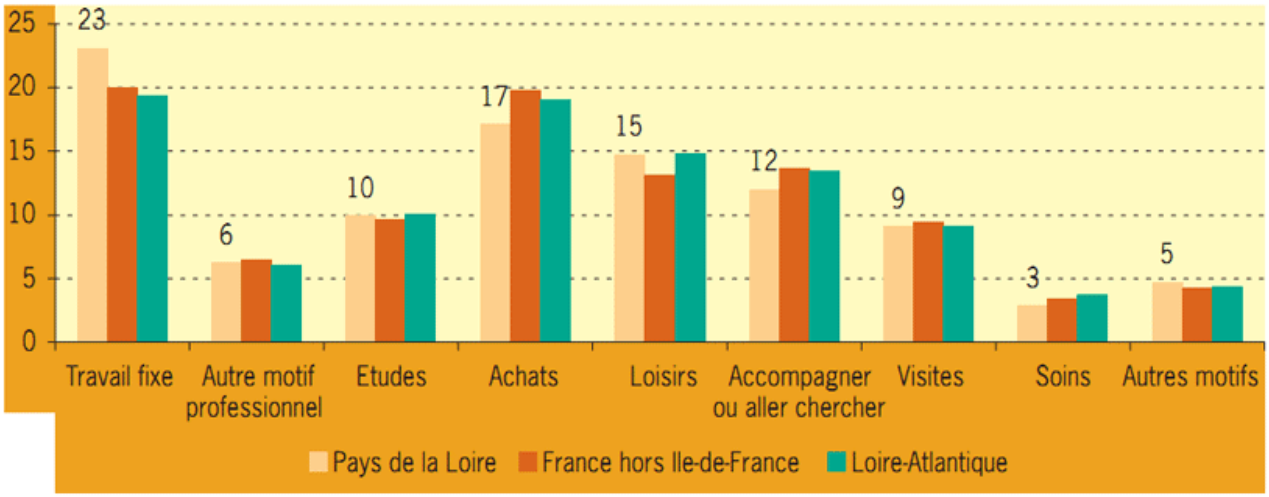
33 http://www.insee.fr/fr/themes/tableau.asp?reg_id=99&ref_id=t_0401R et http://www.insee.fr/fr/themes/tableau.asp?reg_id=0&ref_id=AMFd1

### 5.3.3. Analyse des déplacements de personnes dans la région Pays de la Loire

Les transports routiers de personnes mobilisant la majorité de l'énergie consommée par les transports dans la région Pays de la Loire (70%), nous avons analysé dans le détail les déplacements des personnes réalisés dans la région Pays de la Loire, à partir de l'étude de l'INSEE Pays de la Loire : *Les transports et déplacements des habitants des Pays de la Loire*[34], d'avril 2010. Cette étude permet de caractériser finement les déplacements de personnes au sein des Pays de la Loire en fonction du motif du trajet, de sa nature et du mode de transport.

#### *5.3.3.1. Les motifs de déplacements*

La Figure 11 indique que les déplacements de type professionnel représentent 30 % des déplacements totaux dans les Pays de la Loire.




*Lecture : Dans les Pays de la Loire, les déplacements pour motif professionnel ou études représentent 39% de l'ensemble des déplacements un jour de semaine.*
*Champ : personnes de 6 ans et plus, résidant dans le territoire considéré ; déplacements effectués du lundi au vendredi à l'occasion d'activités situées dans un rayon de 80 km autour du domicile, hors déplacements pour retour au domicile.*

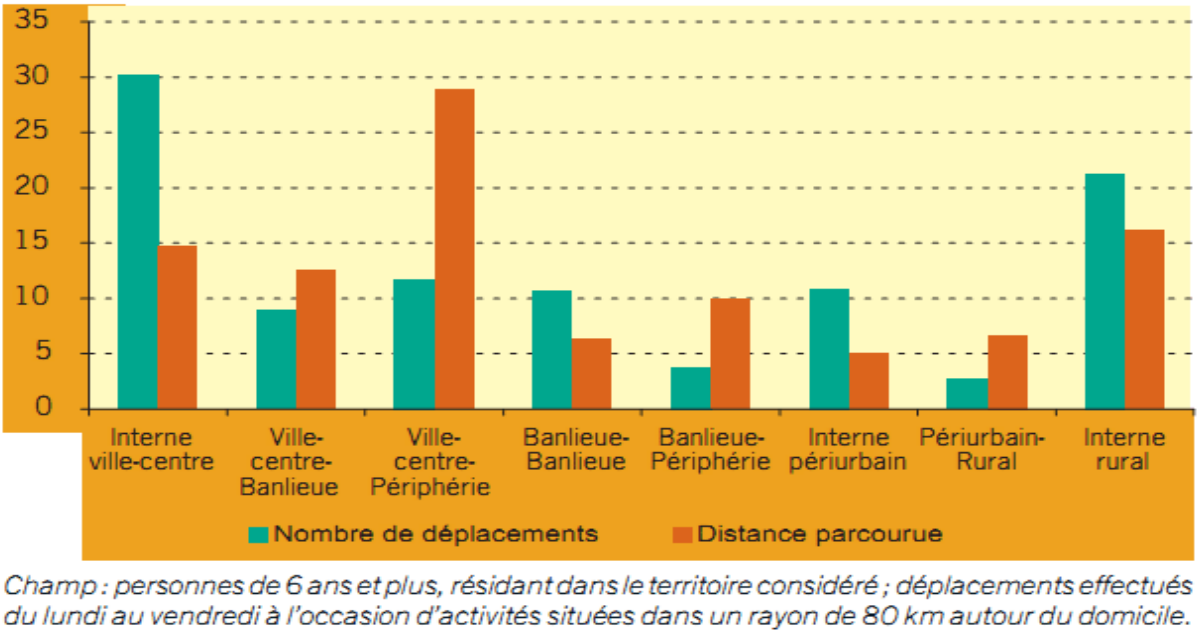
*Figure 11. Répartition des motifs des déplacements locaux un jour de semaine (en %). Source : Insee, SOeS, Inrets – enquête nationale transports et déplacements 2007 – 2008*

Les déplacements professionnels sont caractérisés par des contraintes fortes sur les horaires et le lieu. La majorité des déplacements (70 %) des Pays de la Loire sont donc non-professionnels. Les autres motifs de déplacement, qui sont de 70 %, peuvent présenter des contraintes moins fortes. Une partie de ces déplacements pourra donc être réduite et/ou se faire avec un autre mode de déplacement.

34 http://www.insee.fr/fr/themes/document.asp?reg_id=3&ref_id=16065

#### *5.3.3.2. Les types de trajets*

La figure ci-dessous présente la décomposition des transports des Pays de la Loire par types de trajet.




*Champ : personnes de 6 ans et plus, résidant dans le territoire considéré ; déplacements effectués du lundi au vendredi à l'occasion d'activités situées dans un rayon de 80 km autour du domicile.*

*Figure 12. Répartition des déplacements selon le type de trajet dans les Pays de la Loire (en %).Source : Insee, SOeS, Inrets – enquête nationale transports et déplacements 2007 – 2008*

Les déplacements à l'intérieur des centres villes sont les plus nombreux dans les Pays de la Loire, suivis des déplacements en milieu rural. Les déplacements entre centre et périphérie urbaine dominent en termes de distances parcourues, suivies par les déplacements ruraux.

On peut sur cette base envisager le développement des transports en commun dans les zones à forte densité de population (villes, proximité des axes ferroviaires) et de nouvelles formes de transport collectif, tels que les mini-bus à la demande, le covoiturage en dynamique, ou le rabattement vers des points d'accès au transport collectif dans les zones moins densément peuplées (périphérie des grandes villes, milieu rural).

#### *5.3.3.3. Modes et motifs de déplacement*

La figure ci-dessous présente la répartition des moyens de transport utilisés, en fonction du motif du déplacement.

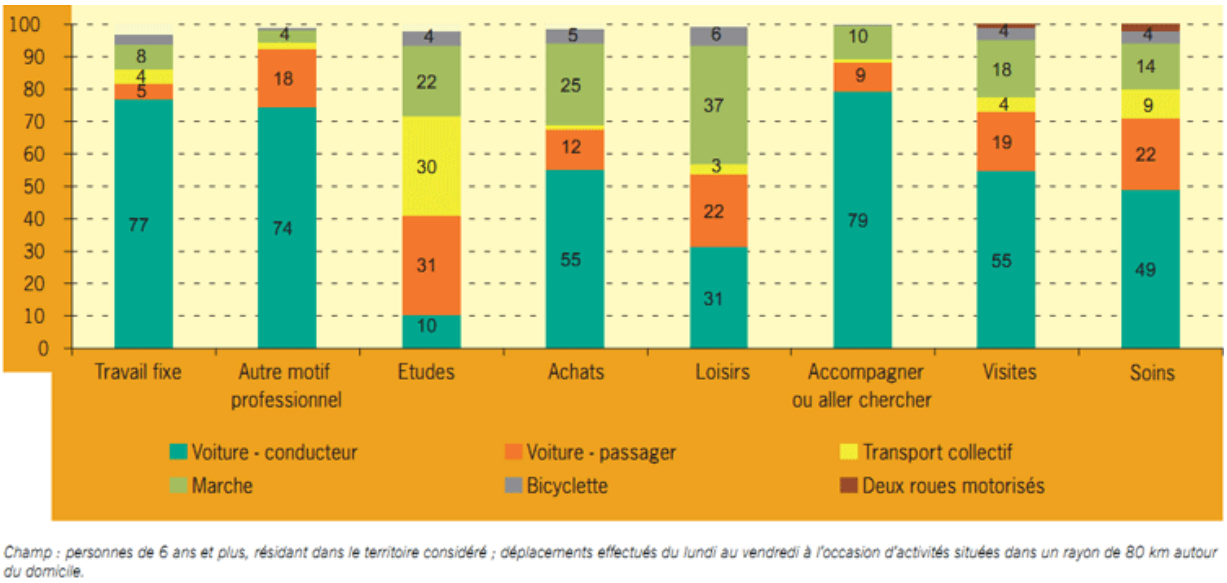


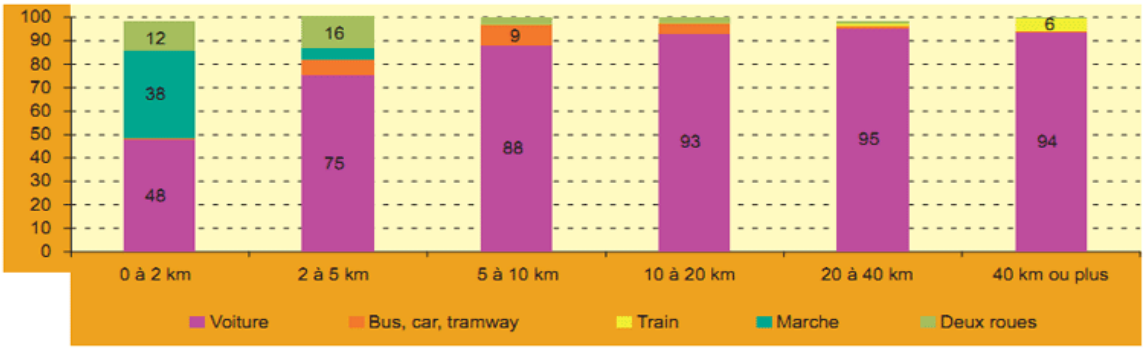

*Figure 13. Répartition des modes de transport en fonction des motifs de déplacement dans les Pays de la Loire (en %). Source : Insee, SOeS, Inrets – enquête nationale transports et déplacements 2007 – 2008*

La voiture est le moyen de transport très majoritairement utilisé pour tous les motifs de déplacements, sauf les études et les loisirs. Elle est particulièrement présente dans les déplacements professionnels et l'accompagnement de personnes. Nous proposerons des actions d'économie en relation avec ces situations. La marche rivalise avec la voiture pour les loisirs.

Les transports collectifs ne sont utilisés que de façon significative, et en combinaison avec la marche, que pendant les études.
La bicyclette est très minoritaire pour tous les motifs de déplacement. Nous proposerons des actions d'économie en relation avec ces situations.

#### *5.3.3.4. Modes de déplacements et distance domicile-travail*

La figure ci-dessous présente la répartition des modes de transport en fonction de la distance entre le domicile et le lieu de travail.




*Champ : personnes en emploi ayant un lieu de travail fixe hors de leur domicile, résidant dans le territoire considéré.*

*Figure 14. Modes de transport utilisés en fonction de la distance domicile-travail dans les Pays de la Loire (en %). Source : Insee, SOeS, Inrets – enquête nationale transports et déplacements 2007 – 2008*

La voiture domine encore une fois tous les moyens de transport empruntés, même dans le cas de très courts trajets entre domicile et travail. Près de la moitié des déplacements domicile-travail de moins de 2 km se font en voiture, ainsi qu'une grande partie des déplacements courts (jusqu'à 10 km). Certains de ces déplacements pourraient certainement être effectués avec des modes doux, à vélo ou à vélo à assistance électrique (VAE).

### 5.3.4. Comment calculer l'effet des économies d'énergie dans les transports ?

#### *5.3.4.1. Qu'est ce qu'un déplacement ?*

Sur la base de l'étude INSEE Pays de la Loire (2010), nous définissons un déplacement comme une combinaison de 3 facteurs :

- le motif : pourquoi ?
- le trajet : d'où à où ?
- le mode : comment ?

Idéalement, une étude fine des déplacements devrait être établie à partir d'un tableau mettant en relation les motifs et les types de trajets. On attribuerait ensuite à chaque cellule issue de ce croisement des indications chiffrées sur le déplacement correspondant : mode principal, répartition et distance. On pourrait proposer ensuite pour chaque cellule du tableau des actions d'amélioration et de changement de mode adaptés à chaque situation (voir le tableau ci-dessous pour un exemple).

| Trajets / Motifs | Interne ville-centre | Ville-centre-banlieue | Banlieue-banlieue | Periurbain-rural | Interne rural | ... |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Professionnel | | | | | | |
| Etude | | | | | | |
| Accompagnement | | *Actions d'économies d'énergie pour ce trajet/motif* **...** | | | | |
| ... | | | | | | |

Tableau 36. Exemple de tableau permettant de croiser les types de trajet et leurs motifs

Nous n'avons pas eu accès aux données nous permettant de construire un tel tableau dans le cadre de notre étude. Nous tiendrons cependant compte dans nos propositions des trois facteurs définissant un déplacement : type, motif et mode, pour proposer des actions d'économies d'énergie adaptées.

#### *5.3.4.2. Méthode d'estimation des économies d'énergie réalisables dans les transports*

**Calculer la quantité d'énergie pour les déplacements de personnes**

La quantité d'énergie pour les déplacements de personnes est directement liée aux facteurs suivants :

- **P** : nombre P de personnes qui se déplacent (et indication de fréquence)
- **K** : le nombre de km de chaque déplacement
- **E** : efficacité énergétique du mode de transport utilisé pour le déplacement, soit la quantité d'énergie pour déplacer une personne sur 1 km.

**Une formule générale serait : Q = quantité d'énergie nécessaire = P x K x E**

Sur la base de cette formule générale, nous avons défini une méthode d'identification et de quantification des économies d'énergie des transports :

- **étape 1** : diminuer globalement les déplacements (moins de personnes se déplacent et/ou elles se déplacent moins loin), tout en gardant le mode voiture ;
- **étape 2** : selon le type de trajets, proposer de changer de mode de déplacement, en diminuant la part de la voiture au profit d'autres modes de déplacements plus économes en énergie ;
- **étape 3** : pour la partie des déplacements restant en voiture, améliorer l'efficacité de la voiture ;
- **étape 4** : pour les déplacements reportés sur d'autres modes, évaluer l'efficacité de ces autres modes de déplacements.

Pour chaque action, il s'agit alors d'évaluer le gain et les économies obtenus. L'efficacité de l'action d'économie d'énergie est alors exprimée comme la part d'énergie économisée par rapport à la situation de départ, exprimée en pourcentage (%). Le gain d'énergie total est obtenu en cumulant les actions d'économies d'énergie élémentaires (voir exemple présenté ci-dessous).

| **Enchaînement d'actions d'économies d'énergie et calcul du potentiel total** | Nb de personnes se déplaçant en voiture | Nb de personnes se déplaçant en train | Nb de km parcourus | Consommation d'énergie/ km voiture (L/km) | Consommation d'énergie/jour voiture | Consommation d'énergie/km train (L/km) | Consommation d'énergie/jour train | Consommation d'énergie journalière totale | % d'économies d'énergie |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A / Situation de départ | 100 | 0 | 40 | 7 | 280 | 2.3 | 0 | **280** | **0%** |
| B / moins de personnes de déplacent | **-10%** | | | | | | | | |
| | **90** | 0 | 40 | 7 | 252 | 2.3 | 0 | **252** | **10%** |
| C / et parcourent moins de km | | | **-20%** | | | | | | |
| | 90 | 0 | **32** | 7 | 202 | 2.3 | 0 | **202** | **28%** |
| D / Transfert de 50% des déplacements vers le train | **45** | **45** | 32 | 7 | 101 | 2.3 | 33 | **134** | **52%** |
| E / amélioration de l'efficacité, voiture plus économe de 25% | | | | **-25%** | | | | | |
| | 45 | 45 | 32 | **5.25** | 76 | 2.3 | 33 | **109** | **61%** |
| **F / Potentiel d'économies d'énergie** | | | | | | | | **171** | **61%** |

Tableau 37. Exemple de calcul du gain total d'actions d'économies d'énergie appliquées aux transports. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.

*<u>Situation de départ</u> : 100 personnes se déplacent tous les jours sur des distances de 40 km avec des voitures qui consomment en moyenne 7 l/100 km.*

*A/ situation initiale, quantité d'énergie Q = 100 x40 x 7/100 = 280 litres*

*B/ 10 % de personnes n'ont plus besoin de se déplacer. Alors, Q = 252 litres*

*C/ les déplacements sont plus courts de 20%. Alors, Q = 202 litres*

*D/ la moitié des déplacements effectués en voiture se reportent sur le train. Le train est très économe (1/3 de la voiture). Alors, la quantité d'énergie pour le train est Qt = 34*

*E/ les déplacements en voiture se font avec des voitures plus économes de 25%. Alors, la quantité d'énergie pour la voiture Qv = 76*

*F/ quantité d'énergie pour ces déplacements = Qv + Qt = 76 + 34 = 110, soit 39 % de la consommation d'énergie initiale. Le potentiel d'économies d'énergie est ici de 61 %*

*C'est la conjonction de plusieurs actions élémentaires qui permet ce gain important.*

A noter que le transport de marchandises se prête à un calcul analogue, en remplaçant le nombre de personnes en déplacement par un volume de marchandises transportées.

### 5.3.5. Propositions d'actions d'économie d'énergie pour les déplacements de personnes

#### *5.3.5.1. Réduire le nombre de déplacements*

##### 5.3.5.1.1. Déplacements d'ordre professionnel

Nous avons vu que les **déplacements d'ordre professionnel** représentaient 30 % de déplacements terrestres totaux. Pour permettre une réduction notable de ce type de déplacements, nous pouvons :

- remplacer une partie des rencontres professionnelles par des visioconférences, des rencontres téléphoniques, espacer ce type de rencontre ;
- opter pour la semaine de travail de 4 jours ;
- favoriser le travail à domicile ou à distance, par exemple, un jour/semaine travaillé dans un pôle mutualisé offrant des services adaptés et proche de l'habitat ;
- inciter la mise en place de Plans de Déplacements Entreprise (PDE).Si le besoin de déplacement professionnel est réduit de 10 % par une combinaison de ces différentes actions, le gain serait de 3 % sur la totalité des déplacements terrestres.

##### 5.3.5.1.2. Déplacements de type "accompagnement",

Pour permettre une réduction notable du nombre de **déplacements de type "accompagnement"**, nous proposons de :

- développer des circuits de type "pedibus" et "vélobus" qui permettent aux enfants d'aller à l'école sans besoin d'accompagnement en voiture ;
- rapprocher des activités, afin de diminuer le besoin d'accompagnement ;
- inciter la mise en place de Plans de Déplacements Établissement Scolaire (PDES).

Les accompagnements représentent 12 % des déplacements en voiture. Si ce besoin de déplacement est réduit de 25 %, le gain serait de 3 % pour les trajets interurbains et urbains.

Ces actions s'appuient sur des mesures de type organisationnel et sont réalisables à court terme.

**Ils l'ont fait !**

A Jacou, zone périurbaine de Montpellier, le collège Mendès-France est facilement accessible à vélo, grâce à un réseau de douze kilomètres de pistes cyclables éclairées et à un parking offrant 225 places, dont 105 couvertes, pour bicyclettes. Ce dispositif permet à 50 % des élèves de venir au collège sans se faire déposer en voiture par leurs familles.

Pour en savoir plus : Opération ADEME : Se déplacer autrement, on est tous gagnants!

5.3.5.1.3. Réduction des déplacements des autres activités

Les activités comme les achats, la culture, les loisirs, les visites représentent encore près de la moitié des déplacements. Pour permettre une réduction notable de ce type de déplacements, nous proposons de :

- privilégier les activités de proximité qui demandent moins de déplacement ;
- organiser un déplacement unique pour réaliser plusieurs activités ;
- pratiquer l'auto-partage, qui se traduit souvent par une diminution d'usage du véhicule et une réduction du nombre de km.

Nos propositions de regroupement et de diminution de ces autres déplacements concernent toutes les catégories de trajets. Nous proposons de diminuer de 8 % le nombre de trajets en milieu urbain (en raison d'une offre plus importante d'activités de proximité), de 5 % en interurbain et de 2 % seulement sur autoroute.

Ces actions sont de type comportemental, réalisables à court terme.

#### *5.3.5.2. Réduire les distances parcourues : rapprocher l'habitat et les activités*

Un habitant d'un pôle urbain émet deux fois moins de CO2 que la moyenne, pour se rendre à son lieu de travail ou d'études (INSEE, 2011). Nous devons donc penser et construire **la ville des courtes distances**[35], de manière à privilégier les déplacements effectués par les modes actifs ou en transports en commun. Ce raisonnement est valable pour les centres villes, déjà souvent denses, mais aussi pour les zones périphériques et les bourgs ruraux qui, disposent tous d'outils de planification à travers le Plan Local d'Urbanisme (PLU).
Pour permettre une réduction notable, nous proposons de :

- lutter contre l'étalement urbain et densifier les villes ;
- maintenir ou regrouper des activités (emplois, achats, services, etc.) proches de l'habitat, même en zone de faible densité, pour assurer un rééquilibrage des territoires ;
- regrouper les services d'aide à la personne en un lieu unique, associé éventuellement à un service de covoiturage ou de navette.

Ces actions seront efficaces pour les trajets effectués actuellement en zone peu dense (interurbain et autoroute). En envisageant ces actions sur le long terme, le gain peut être estimé à 20 % en interurbain, 10 % pour la catégorie autoroute et 5 % pour la catégorie urbain.

Ces actions s'appuient sur des mesures de type urbanistique et aménagement du territoire. Elles sont réalisables entre moyen et long terme.

35 Étalement urbain et changements climatiques : état des lieux et propositions du Réseau Action Climat France (RAC-F) http://www.rac-f.org/IMG/pdf/Etalement%20urbain%20et%20changements%20climatiquespdf.pdf

**Ils l'ont fait !**

Une étude sur les déplacements de ménages ayant déménagé d'une zone périphérique vers la ville de Tours, indique une réduction de l'usage de la voiture de 38 %.

http://www.fnaut.asso.fr/images/docs/communiques/11habitat.pdf

#### *5.3.5.3. Remplacer la voiture par d'autres modes de déplacement*

Après avoir réduit le volume des déplacements effectués en voiture, nous faisons des hypothèses de report d'une partie des déplacements restants vers d'autres modes de déplacement, plus économes en énergie. Voici nos hypothèses pour 2050 :

| **Pour 100 déplacements actuels en voiture, proposition de report vers les autres modes ...** | Interurbain | Autoroutes | Urbain |
|---|---|---|---|
| Maintien de la voiture | 40 | 40 | 30 |
| Passage à un mode doux (pied, vélo, VAE) | 10 | 0 | 32 |
| Covoiturage | 20 | 18 | 10 |
| Taxi à la demande, minibus | 12 | 17 | 8 |
| Transport en commun (train , tram, bus, autocar) | 18 | 25 | 20 |

Tableau 38. Hypothèses de report des déplacements actuels en voiture, selon les trajets. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire – Octobre 2012

**Exemple de calcul de la nouvelle part modale d'un mode de transport :** si la part modale de la voiture en ville est actuellement proche de 60 % et si on prévoit un nouveau coefficient de 30 % en urbain, on passera alors à 60% x 30% = 18 % de nouvelle part modale de la voiture en ville.

Nous détaillons ci-dessous les choix de reports modaux selon les trajets. L'efficacité recherchée à terme pour chaque mode de déplacement sera analysé dans le paragraphe suivant.

L'usage de la voiture diminue beaucoup en urbain et devient inférieur à 50 % pour les autres trajets. Le plan de déplacement urbain proposé par Nantes Métropole prévoit déjà en 2030 une part modale « voiture conducteur » réduite à 23 % pour l'intérieur du périphérique, proche de notre catégorie « urbain ». Notre proposition (équivalente à 18 %) représente ainsi une prolongation à l'échéance 2050 d'une telle tendance.

Le mode doux gagne beaucoup en urbain (à Copenhague déjà près de 40 % des déplacements se font à vélo), il reste intermédiaire en interurbain, où le Vélo à Assistance Électrique (VAE) peut se développer sur des distances proches de 10 km, mais n'est pas adaptable à l'autoroute.

Covoiturage, taxi à la demande, minibus : ces nouvelles formes de transport collectif sont adaptables à différents types de trajets, mais ne remplaceront pas ou peu les Transports Collectifs (TC) classiques en urbain et interurbain.
Les transports collectifs (tram, train, bus, autocar) augmentent fortement, pour tous les types des trajets, du fait du développement d'infrastructures nouvelles (voir par exemple les propositions de la FNAUT pour le développement de l'étoile ferroviaire autour de Nantes) et de la réouverture de lignes de Trains Express Régionaux (TER).
Le rabattement permet à une personne de faire une petite partie d'un trajet en voiture (ou à vélo) pour accéder à un point de départ de transport collectif, avec lequel sera effectué ensuite la majeure partie du trajet. Des équipements (parking, abribus, etc.) favorisent l'usage de ce mode collectif. Cette action n'est pas directement chiffrée, car elle est plutôt une mesure, qui favorisera le changement vers d'autres modes de déplacement. De nombreuses expériences ont déjà été menées en France[36].

En ce qui concerne la mobilité non contrainte, et notamment la mobilité de loisirs et touristique, les principales actions en faveur du changement de comportement sont très liées à la diffusion de l'information sur les offres alternatives, mises en place par les collectivités et les secteurs touristiques[37]. Une tarification attractive devrait également inciter au changement.

**Ils l'ont fait !**

La ville de Lund en Suède (90 000 habitants) poursuit depuis quarante ans le même objectif : aménager la voirie, les transports et le foncier de façon à rendre accessibles toutes les activités et tous les emplois à pied, en vélo ou en transport public performant et attractif.

Afin d'encourager un changement de comportement, des actions de marketing individualisé ont été déployées, parallèlement à une politique promotionnelle, offrant aux automobilistes des facilités d'accès aux autres modes de transport (abonnements à prix réduit). Une fois l'habitude prise, peu sont revenus à la voiture.

Bilan : 30 % des habitants sont des cyclistes quotidiens, deux voyageurs sur dix vont prendre le train à vélo, les emplois sont accessibles sans voiture, les piétons, même à mobilité réduite, se déplacent en sécurité et les villes voisines sont reliées par train ou autocar tout au long de la journée.

36 L'agglomération de Rennes a mis en place des solutions de stationnement sécurisé pour les vélos aux terminus des lignes de bus, pour favoriser l'usage des transports collectifs urbains et réduire le temps d'accès aux arrêts de bus à pied.

37 Les grands sites de France ont consacré leurs 12èmes Rencontres à "L'écomobilité dans les Grands Sites" : http://www.grandsitedefrance.com/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=19&Itemid=49&lang=fr
L'inventaire des mobilités douces, réalisé par France Nature Environnement, CIPRA-France et Mountain Wilderness, recense de nombreuses expériences pour se rendre ou se déplacer en montagne en France autrement qu'avec sa voiture. Pour plus d'information : http://www.mountainwilderness.fr/index.php?option=com_content&task=view&id=2330

#### *5.3.5.4. Améliorer l'efficacité énergétique des déplacements en voiture*

L'amélioration de l'efficacité concerne le véhicule, en tant que tel et les conditions de son usage.

##### 5.3.5.4.1. Améliorer la technologie des véhicules

L'amélioration technique des véhicules implique le développement d'une motorisation plus efficace, une conception de véhicules plus légers et une réduction de la puissance. Ces nouveaux véhicules seront mieux adaptés à l'urbain et l'interurbain. Les exemples présentés ci-dessous montrent que les indicateurs et les retours d'expériences en la matière sont bons :

- le scénario SESP 170 (Axenne-TML-Ecofys, 2007)[38], dans une « hypothèse volontariste », indique un gain possible de 35 %. En intégrant les facteurs de légèreté et de réduction de puissance, nous évaluons un gain possible de 40 %, sur tous les types de trajets.
- une réduction rapide des émissions de CO2 (baisse de plus de 15 % sur les voitures neuves de 2007 à 2009[39]), a été observée suite à la mesure réglementaire « bonus malus ». Cela montre que des objectifs ambitieux sont atteignables par les constructeurs ;
- l'optimisation des flottes de véhicules des entreprises et des collectivités intervient sur les émissions de polluants grâce, d'une part, à une meilleure adéquation entre les besoins de déplacements professionnels et les véhicules à disposition et d'autre part, sur la carburation des véhicules avec la possibilité de se doter d'un parc de véhicules peu polluants. Les gains attendus peuvent aller de 10 à 30 % de réduction des émissions de CO2 et des coûts de carburants liés[40].

Ces actions s'appuient sur des mesures de type technique et réglementaire, avec un délai de réalisation de 1 an (pour l'optimisation des flottes de véhicules) à 20 ans (pour le remplacement du parc de véhicules par de nouveaux modèles).

##### 5.3.5.4.2. Limiter la vitesse

Une réduction de la vitesse maximale de 10 à 20 %[41], selon le type de routes, engendre une diminution de la consommation d'environ 15 % sur grandes routes et autoroutes. Cette diminution est moindre sur les autres trajets. Des mesures, comme le bridage des moteurs, peuvent être envisagées en ce sens.

Ces actions s'appuient sur des mesures de type réglementaire et sont immédiatement applicables.

38 Scénario SESP 170 : Scénario de forte réduction des émissions de gaz à effet de serre dans les transports et les bâtiments à l'horizon 2050, - été 2008 : http://temis.documentation.equipement.gouv.fr/documents/temis/NS/NS_170_1.pdf

39 http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/110619_PNAEE.pdf (voir page 46)

40 http://www.r-co2.com/Optimisation-Parc-Vehicules--FRANCAIS

41 Les différentes études en la matière ne sont pas unanimes, mais il est constaté que la réduction de la vitesse réglementaire sur les voies rapides (où la limite de vitesse est supérieure à 90 km/h) permet de réduire jusqu'à 20% les émissions de CO2.
(source : http://www.atmopaca.org/files/et/101025_AtmoPACA_Impact_reduction_vitesse_ozone.pdf)

5.3.5.4.3. Opter pour une conduite économe

La conduite économe ou éco-conduite est efficace en urbain et interurbain, là où la circulation est moins fluide et demande donc plus de souplesse. En la matière, différentes études indiquent également un potentiel important d'économies d'énergie :

- le scénario SESP 170, dans une « hypothèse volontariste », indique un gain possible de 10 % ;
- le guide de formation à l'éco-conduite, édité par l'ADEME[42], indique un gain de 15 % en carburant ;
- nous prenons en compte une valeur plus faible (7%) pour les trajets de type autoroute.

Ces actions s'appuient sur des mesures de type comportemental, avec un délai d'application de 1 à 5 ans.

#### *5.3.5.5. Efficacité énergétique des autres modes de déplacement*

5.3.5.5.1. Piéton, vélo, VAE

La consommation électrique d'un VAE représente environ 1,5 % de l'énergie nécessaire à une voiture. Nous négligeons donc cette consommation résiduelle et considérons que le passage de la voiture au mode actif (piéton, vélo, VAE) est efficace à 100 %.

5.3.5.5.2. Covoiturage

Le covoiturage permet de multiplier environ par 2 le nombre de personnes par voiture dont on a, par ailleurs, amélioré l'efficacité énergétique. Nous évaluons le gain d'efficacité énergétique du covoiturage à 66 %.

**Ils l'ont fait !**

La politique incitative du Grand Lyon a permis de constater une augmentation de 3 à 15 % du nombre de covoiturageurs sur deux zones analysées, 9 mois après la mise en service du site internet (source : www.covoiturage-grandlyon.com).

Le Parc d'Activités Plaine de l'Ain a mené une action volontariste qui a permis d'augmenter très fortement la pratique du covoiturage des salariés du site et d'atteindre environ 20 %.

5.3.5.5.3. Taxi à la demande, minibus

Ces nouvelles formes de mobilité vont se développer dans les zones peu denses. Elles permettent une mobilité adaptée à des personnes, qui se trouvent parfois exclues des autres modes de transport. Nous évaluons une efficacité à 60 %, soit un peu inférieure au covoiturage[43].

42 ADEME, Le guide de l'Eco-conduite, Janvier 2010 http://www2.ademe.fr/servlet/getDoc?sort=1&cid=96&m=3&id=66885&ref=12441&nocache=yes&p1=111

43 ADEME - Se déplacer autrement - http://www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow?sort=-1&cid=96&m=3&catid=13628

5.3.5.5.4. Transport en commun

Pour l'efficacité du transport en commun, nous nous basons sur les chiffres clés de l'ADEME[44]. Par exemple, le tram est très efficace en milieu urbain, le TER est moyennement efficace sur les moyennes distances. A l'inverse, le car et le train sont efficaces sur les moyennes et longues distances. Nous évaluons l'efficacité moyenne des différents transports collectifs à 66 %.

#### *5.3.5.6. Estimation du potentiel d'économie d'énergie pour les déplacements terrestres de personnes*

Nous avons proposé des actions d'économies d'énergie, en tenant compte de nos trois types de trajets. Nous pouvons maintenant appliquer ces actions et estimer les économies d'énergie correspondantes.
Le Tableau 39 présente l'enchaînement des actions et l'estimation du potentiel d'économies d'énergie dans les transports terrestres de personnes des Pays de la Loire selon les types de déplacement.

44 Énergie et climat, Chiffres clés - Édition 2010 : http://www.ademe.fr/internet/Flash/chiffres-cles-energie-climat-2010/catalogue/appli.htm (graphiques D25 à D31)

| | | | Trajets interurbain | Écon. Énergie | | Trajets autoroutes | Écon. Énergie | | Trajets urbains | Écon. Énergie |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | Consommation d'énergie en 2006 (tep) | | **942 701** | | | **247 477** | | | **553 529** | |
| B | Augmentation des déplacements 2006-2010 | 5% | **989 836** | | 5% | **259 851** | | 5% | **581 205** | |
| C | Augmentation des déplacements 2010-2050 | 28% | **1 266 990** | | 28% | **332 609** | | 28% | **743 943** | |
| D | **1. Moins de personnes se déplacent et/ou elles parcourent moins de km** | | | | | | | | | |
| E | Diminution du besoin d'accompagnement | | 1 228 980 | -3% | | 322 631 | -3% | | 721 625 | -3% |
| F | Diminution des déplacements professionnels | | 1 192 111 | -3% | | 312 952 | -3% | | 699 976 | -3% |
| G | Diminution des autres déplacements | | 1 096 742 | -8% | | 287 916 | -8% | | 629 978 | -10% |
| H | Rapprochement habitat / activités | | 877 394 | -20% | | 316 707 | -10% | | 598 479 | -5% |
| I | *Nb personnes.km en voiture à répartir selon mode* | *Répart. modale* | 877 394 | | *Répart. modale* | 316 707 | | *Répart. modale* | 598 479 | |
| J | **2. Amélioration de l'efficacité des déplacements en voiture** | ***40%*** | 350 957 | | ***40%*** | 126 683 | | ***30%*** | 179 544 | |
| K | Amélioration moteur, véhicule moins puissant et plus léger | | 210 574 | -40% | | 177 356 | -40% | | 107 726 | -40% |
| L | Réduction vitesse | | 189 517 | -10% | | 150 753 | -15% | | 103 417 | -4% |
| M | Conduite économe | | 170 565 | -10% | | 140 200 | -7% | | 93 076 | -10% |
| | **3. Report des déplacements en voiture vers un mode plus économe** | ***60%*** | 526 436 | | ***60%*** | 190 024 | | ***70%*** | 418 936 | |
| N | Passage vers mode actif (pied , vélo, VAE) | ***10%*** | **0** | -100% | ***0%*** | **0** | -100% | ***32%*** | **0** | -100% |
| O | Covoiturage | ***20%*** | **59 663** | -66% | ***18%*** | **19 382** | -66% | ***10%*** | **20 348** | -66% |
| P | Taxi à la demande, minibus | ***12%*** | **42 115** | -60% | ***17%*** | **21 536** | -60% | ***8%*** | **19 151** | -60% |
| Q | Passage sur transport collectif | ***18%*** | **53 696** | -66% | ***25%*** | **26 920** | -66% | ***20%*** | **40 697** | -66% |
| L | **4. Besoins d'énergie en 2050 par trajet et économies par rapport à 2006** | | **326 040** | **-65%** | | **208 039** | **-16%** | | **173 272** | **-69%** |
| M | **Besoin total en énergie en 2050 après économies d'énergie (tep)** | | **707 350** | | | | | | | |
| N | **Besoin d'énergie total 2006 (tep) et potentiel d'économies d'énergie en 2050 (%)** | | **1 743 707** | | | | | **-59%** | | |
| O | **Besoin d'énergie total 2010 (tep) et potentiel d'économies d'énergie en 2050 (%)** | | **1 830 892** | | | | | **-61%** | | |
| P | **Besoin d'énergie total 2050 sans économies d'énergie (tep) et potentiel d'économies d'énergie (%)** | | **2 343 542** | | | | | **-70%** | | |

Tableau 39: Estimation du potentiel d'économies d'énergie dans le transport terrestre de personnes des Pays de la Loire en fonction des types de trajets. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.

**Comment lire ce tableau ?**

Nous prenons comme exemple la colonne concernant les déplacements « personnes interurbain » :

- Ligne A, B, C : ligne A, indication de la consommation d'énergie en 2006, suivie de l'actualisation pour 2010 (ligne B), puis de la projection en 2050 (ligne C) avec l'augmentation de la population.
- Ligne E : la diminution du besoin d'accompagnement permet 3 % d'économie sur le niveau précédent, soit 1 266 990 tep - 3 % = 1 228 980 tep.
- Lignes F, G et H : on enchaîne 3 autres actions d'économie d'énergie avec calcul sur le niveau immédiatement précédent (par ex : action sur le rapprochement de l'habitat (ligne H) : 1 096 742 tep - 20 % = 877 394 tep.
- Ligne J : 40% de l'énergie (équivalente à un nombre de personnes.km) est attribuée aux déplacements en voiture, soit 350 957 tep, et l'énergie restante est affectée aux lignes N,O,P et Q avec les pourcentages correspondants.

- Ligne K, L et M : on enchaîne 3 actions d'amélioration de l'efficacité de la voiture,
  par exemple Ligne L : 210 574 tep - 10 % = 189 517 tep
- Ligne O : le covoiturage reçoit 20% de la quantité 877 394 tep, et l'économie d'énergie est de 66 %, on obtient en résultat : 877 394 tep * 20 % * 34 % = 59 663 tep.
- Ligne L : cumul des énergies restantes pour les différents modes : 326 040 tep = 170 565 tep + 0 tep + 59 663 tep + 42 115 tep  + 53 696 tep.
- Ligne M : cumul pour les 3 trajets
- Ligne N, O et P : comparaison de la consommation d'énergie des transports terrestres de personnes du scénario VEC en 2050 avec les consommations des années 2006 et 2010 et la projection en 2050 sans actions d'économies d'énergie.

**Les actions d'économie d'énergie que nous préconisons pour le secteur du transport terrestre de personnes permettent d'économiser 67 % de l'énergie consommée en 2010** (Tableau 39). Le potentiel d'économie d'énergie est le plus élevé pour les trajets urbains (69%) et interurbains (65%) où l'offre de transports en commun est plus importante, et plus faible mais néanmoins encore très significative pour les trajets sur autoroutes (58%).

La composition du gisement de négaWatts des déplacements de personnes des Pays de la Loire est résumée dans la figure ci-dessous :

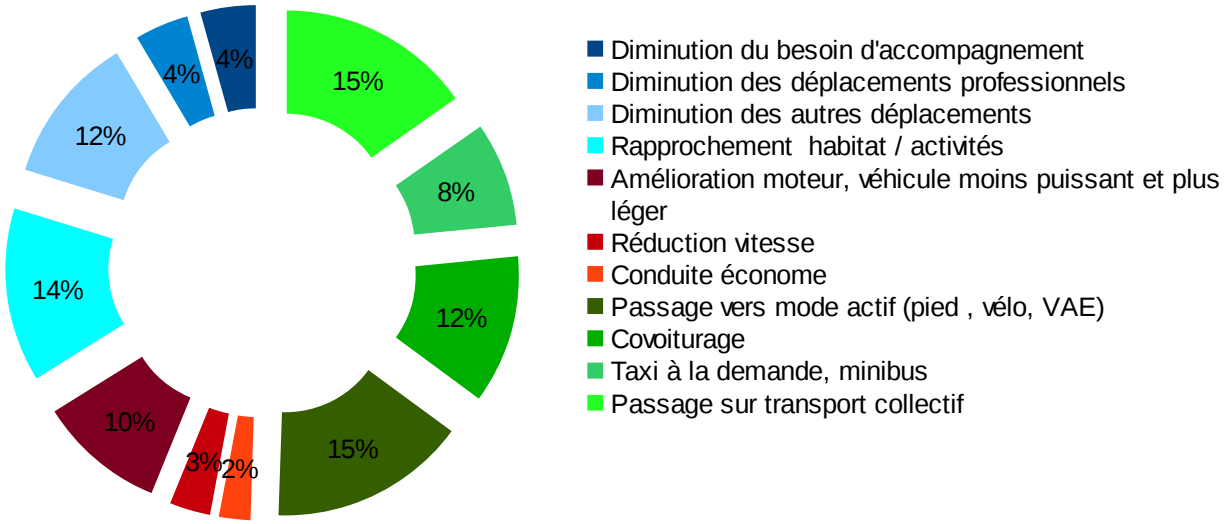



*Figure 15. Composition du gisement de négaWatts des déplacements de personnes des Pays de la Loire. Les actions de sobriété sont en bleu, les actions d'efficacité énergétique des déplacements en voiture en rouge et les reports vers des modes de transport plus économes en vert. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.*

La diminution des autres déplacements et le rapprochement habitat/activités sont les actions de sobriété prépondérantes (plus de 10 % des négaWatts chacune). Le report vers des modes de transport plus économes est l'action d'efficacité qui présente le potentiel d'économies d'énergie le plus important (44 % du gisement de négaWatts).

### 5.3.6. Économies d'énergie pour le transport des marchandises

La méthode que nous avons utilisée pour estimer le potentiel d'économies d'énergie pour le transport des marchandises dans la région des Pays de la Loire est proche de celle mise en œuvre précédemment pour les économies d'énergie pour le déplacement des personnes :

- **étape 1** : proposer des actions de réduction du tonnage et des distances parcourues par les marchandises transportées ;
- **étape 2** : transférer des marchandises de la route vers le rail et estimer le gain d'efficacité énergétique obtenu ;
- **étape 3** : améliorer l'efficacité du transport routier restant ;
- **étape 4**: estimer le potentiel d'économies d'énergie résultant de ces actions.

#### *5.3.6.1. Propositions pour la réduction du tonnage des marchandises et des distances parcourues*

Entre 1970 et 2003, le trafic routier de marchandises en France a été multiplié par presque 3, avec une forte diminution de la part fluviale et ferroviaire[45]. Une étude de l'ADEME a cependant montré que les marges de manœuvre pour réduire les volumes de marchandises transportées étaient très importantes[46]. Nous reprenons plusieurs des pistes évoquées dans nos propositions d'actions de réduction de la quantité de marchandises transportées :

- inciter à la fabrication près des lieux d'usage et de consommation de produits non alimentaires ayant une durée de vie plus longue et étant faciles à réparer ;
- aider au développement des circuits courts de distribution de biens alimentaires, tels que les Associations pour le Maintien d'une Agriculture Paysanne (AMAP), les épiceries locavores etc... ;
- inciter les consommateurs à la sobriété, au ré-emploi de produits de seconde main (troc, ressourceries[47]), à la mutualisation des produits d'usage peu fréquent (coopératives d'usagers et mutualisation d'équipements) et à ne plus utiliser de produits jetables (consignes, vaisselle réutilisable) ;
- rapprocher au maximum les activités des usagers, en réimplantant des commerces et des services dans les cités dortoirs et les zones rurales et en encourageant la création de monnaies complémentaires locales, qui stimulent globalement les échanges de produits locaux.

Ces actions sont efficaces de 5 à 15 % pour chacune[48]. Nous avons évalué que leur combinaison entraînerait une réduction globale d'environ 35 % du volume transporté.

45 Mobilité et Transport en Ile-de-France, État des lieux, IV-6-1 - http://www.stif.info/IMG/pdf/6.modes_alternatifs.pdf
46 Transporter moins : c'est possible ? Bien sûr ! C'est même évident si on y réfléchit un peu ? http://www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow?sort=-1&cid=96&m=3&catid=13630
47 Exemple d'Ecorev, une ressourcerie alimentée par les déchetteries de la métropole nantaise, ce qui lui permet de revendre à très bas prix et de valoriser artistiquement des produits de seconde main.
48 Transporter moins : c'est possible ? Bien sûr ! C'est même évident si on y réfléchit un peu ? http://www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow?sort=-1&cid=96&m=3&catid=13630

#### *5.3.6.2. Report de 50 % du trafic de marchandises de la route vers le rail*

Les expériences de **ferroutage** (chargement d'un camion complet sur un train : tracteur + remorque + chauffeur) sont largement développées en Allemagne et en Suisse. Le ferroutage présente l'avantage de combiner la souplesse du transport par camion sur les distances inférieures à 200 km et l'efficacité supérieure du transport ferroviaire sur les longues distances.
La combinaison camion/tramway peut même s'envisager en milieu urbain (cf. encadré ci-après).

Nous proposons donc de transférer 50 % des marchandises restant à transporter par route après les actions de réduction des échanges vers le transport ferroviaire, sous ces différentes formes (ferroutage, container etc.). Le transport ferroviaire permet d'économiser environ deux tiers (66%) de l'énergie qui aurait été nécessaire pour transporter les mêmes marchandises par la route[49].

**Ils s'apprêtent à le faire !**

Des projets, tels que le CargoTram de Dresde (Allemagne) ou de Zürick (Suisse), laissent entrevoir des perspectives intéressantes de report de trafic des camions vers le ferroviaire, notamment sur les courtes distances et en milieu urbain. Le principe repose sur l'insertion d'un tram fret sur les infrastructures de tramway existantes dans les grandes villes, en dehors des heures de pointe. Si ce type de projet semble relativement complexe à mettre en œuvre, la ville de Paris y réfléchit sérieusement et expérimente le tram-fret[50].

#### *5.3.6.3. Amélioration de l'efficacité énergétique du transport par camion*

L'ADEME a détaillé et chiffré l'efficacité de nombreuses actions permettant d'améliorer l'efficacité du transport par camions dans le cadre du programme « *Objectif CO2, les transporteurs s'engagent »*[51] . Les actions majeures, que nous proposons de mettre en œuvre, et qui sont chiffrées dans le cadre du programme du programme « *Objectif CO2, les transporteurs s'engagent »* sont :

- l'amélioration de la logistique en assurant un meilleur remplissage des camions, une optimisation des trajets et une optimisation du ratio volume/poids. Cette mesure d'efficacité pourrait permettre d'économiser 25% de l'énergie dépensée lors d'un trajet ;
- l'optimisation du transport sur le « dernier kilomètre », par l'amélioration des circuits de distribution en ville, l'utilisation des réseaux de transport en commun, la mutualisation avec des véhicules adaptés, le dépôt des colis à proximité. Cette mesure d'efficacité pourrait permettre d'économiser 5% de l'énergie dépensée, lors d'un trajet ;
- l'économie d'énergie sur la motorisation et l'aérodynamisme. Cette mesure d'efficacité pourrait permettre d'économiser 20% de l'énergie dépensée lors d'un trajet d'après l'ADEME et le scénario SESP 170 ;

49 http://www.ademe.fr/internet/Flash/chiffres-cles-energie-climat-2010/catalogue/appli.htm (graphique D32)
50 http://www.innovcity.fr/2011/11/16/livraisons-marchandises-paris-experimente-tram-fret/
51 Fiches actions ADEME : Objectif CO2, les transporteurs s'engagent - mars 2011 - http://www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow?sort=-1&cid=96&m=3&catid=22274

- la limitation de la vitesse. Cette mesure d'efficacité pourrait permettre d'économiser 5% de l'énergie dépensée lors d'un trajet ;
- la formation à la conduite économe. Cette mesure d'efficacité pourrait permettre d'économiser de 10 % (ADEME) à 15% (scénario SESP 170) de l'énergie dépensée lors d'un trajet.

#### *5.3.6.4. Estimation du potentiel global d'économies d'énergie pour le transport de marchandises*

| | Evolution population | Transport de marchandises | Potentiel unitaire d'économies d'énergie | Réduction par rapport au tendanciel |
|---|---|---|---|---|
| Consommation d'énergie en 2006 (tep) | | **747 303** | | |
| Consommation d'énergie actualisée en 2010 | 5% | 784 668 | | |
| Consommation d'énergie actualisée en 2050 | 28% | 1 004 375 | | 100 % |
| **A / réduction du tonnage et des distances** | | | | |
| Produits de durée de vie plus longue | | 903 937 | -10% | -10% |
| Facilité de réparation locale | | 813 544 | -10% | -9% |
| sobriété des consommateurs | | 772 866 | -5% | -4% |
| Relocalisation des activités | | 695 580 | -10% | -8% |
| **Total des actions de réduction de tonnage et distances** | | | | **-31%** |
| ***Répartition des transports restant selon mode*** | *Nouvelle répartition modale* | *695 580* | | |
| **B / Amélioration de l'efficacité énergétique des camions** | 50% | 347 790 | | |
| Amélioration de la logistique, meilleur remplissage | | 260 842 | -25% | -9% |
| Optimisation du « dernier km » | | 247 800 | -5% | -1% |
| Économie sur moteur et aérodynamisme | | 198 240 | -20% | -5% |
| Limitation de la vitesse | | 188 328 | -5% | -1% |
| Conduite économe | | **169 495** | -10% | -2% |
| **Total des actions d'efficacité énergétique des transports en camion** | | | | **-18%** |
| **C / Report sur le transport ferroviaire** | 50% | **118 249** | -66% | **-23%** |
| **D / Consommation (tep) et potentiel d'économie d'énergie en 2050 (ref. 2010)** | | **287 744** | **-63%** | |
| **D / Consommation (tep) et potentiel d'économie d'énergie en 2050 (ref. 2050)** | | | **-71%** | |

Tableau 40. Estimation du potentiel d'économies d'énergie pour le transport terrestre de marchandises dans les Pays de la Loire en fonction des types de trajets. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.

Le Tableau 40 présente une estimation du potentiel d'économies d'énergie pour le transport terrestre de marchandises dans les Pays de la Loire, en fonction des types de trajets.
La diminution du volume de marchandises transportées permet de réduire la facture énergétique de 31 % par rapport au scénario tendanciel. Le report de la moitié des transports restants vers le rail, plus efficace énergétiquement, permet une économie supplémentaire de 23 %.
L'amélioration de l'efficacité des camions permet une économie d'énergie supplémentaire de 18 %.
La composition du gisement de négaWatts du transport de marchandises terrestre des Pays de la Loire est résumé dans la Figure 16.

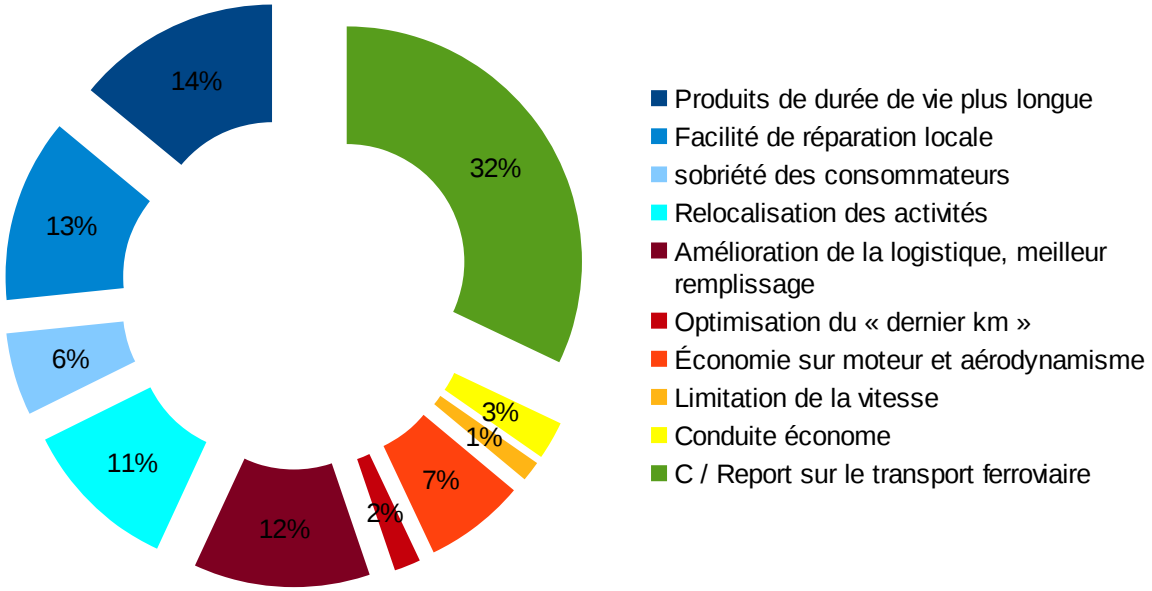



*Figure 16. Composition du gisement de négaWatts du transport de marchandises des Pays de la Loire. Les actions de sobriété sont en bleu, les actions d'efficacité énergétique des camions en rouge/jaune et le report vers le rail en vert. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.*

La mise en œuvre des actions proposées dans notre scénario permettrait de réduire de 63 % la quantité d'énergie consommée pour le transport de marchandises dans les Pays de la Loire en 2050, par rapport au niveau de 2010 (71 % par rapport au scénario tendanciel).

### 5.3.7. Consommation d'énergie des transports terrestres dans les Pays de la Loire en 2050

#### *5.3.7.1. Potentiel global d'économies d'énergie pour le transport terrestre dans les Pays de Loire en 2050*

Le Tableau 41 présente notre estimation du potentiel d'économies d'énergie pour le transport terrestre de marchandises et de personnes dans les Pays de la Loire en 2050.

| | | Consommation d'énergie en tonnes équivalent pétrole (tep) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Évolution de la population (%) | Déplacements routiers de personnes | Transports routier de marchandises | Total |
| A | 1990 | | | | 1 809 000 |
| B | 2006 | | 1 743 706 | 747 303 | 2 550 364 |
| C | 2010 | +5% | 1 830 892 | 784 668 | 2 677 882 |
| D | 2050 | +28% | 2 343 541 | 1 004 375 | 3 427 689 |
| E | 2050, avec économie d'énergie | | 603 977 | 287 744 | 971 494 |
| | | | | | |
| F | Potentiel d'économies d'énergie (ref.1990) | | | | -46% |
| G | Potentiel d'économies d'énergie (ref. 2010) | | -67% | -63% | -64% |
| H | Potentiel d'économies d'énergie (ref. 2050) | | -74% | -71% | -72% |

Tableau 41. Estimation du potentiel d'économies d'énergie pour le transport terrestre de marchandises et de personnes dans les Pays de la Loire en 2050. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.

*A / Consommation d'énergie des transports et déplacements (T&D) en 1990 (Explicit, 2009) ;*

*B/ Consommation d'énergie des T&D en 2006 (Explicit, 2009) ;*

*C / Mise à niveau entre 2006 et 2010 : augmentation de 5 % sur toutes les valeurs ;*

*D / Augmentation de la population entre 2010 et 2050 : +28 % sur toutes les valeurs ;*

*E/ Bilan en 2050, après nos actions d'économies d'énergie ;*

*F / Potentiel d'conomie d'énergie pour l'ensemble des T&D par rapport à 1990 ;*

*G/ Potentiel d'économie d'énergie pour l'ensemble des T&D par rapport à 2010 ;*

*H/ Potentiel d'économie d'énergie pour l'ensemble des T&D par rapport au scénario tendanciel démographique en 2050.*

En 2050, en tenant compte de l'augmentation de la population, le potentiel d'économies d'énergie pour les transports et déplacements terrestres de la région des Pays de la Loire représente 64 % de la consommation énergétique actuelle, soit 46% des consommations des transports régionaux terrestres de 1990 (Tableau 42).

| | 1990 | 2010 | 2050, avec augmentation de la population | |
|---|---|---|---|---|
| Source | Explicit | Explicit actualisé | Projection sans économie d'énergie | **Scénario VEC avec économie d'énergie** |
| Consommation d'énergie des transports et déplacement terrestres en Mtep | 1.8 | 2.7 | 3.4 | **1.0** |
| Consommation d'énergie des transports et déplacement terrestres en TWh | 21 | 31 | 40 | **11** |
| **Potentiel d'économie d'énergie du scénario VEC** | **-46%** | **-64%** | **-72%** | |

Tableau 42: Synthèse du potentiel d'économies d'énergie dans le secteur des transports et déplacements terrestres des Pays de la Loire. Source : scénario Virage Énergie-Climat Pays de la Loire.

Les actions d'économie d'énergie proposées par notre scénario permettent donc en 2050 une forte réduction des consommations énergétiques liées aux transports terrestres.

Le simple fait de ne pas consommer ces négaWatts en 2050 permettraient de diminuer par 2 les émissions de GES des transports terrestres de la région.

#### *5.3.7.2. Calendrier de mise en œuvre des actions d'économies d'énergie dans le secteur des transports des Pays de la Loire*

Dans la présentation des actions d'économies d'énergie, nous avons indiqué le type de décisions à prendre pour susciter les différents changements (comportemental, organisationnel, urbanistique, etc.), ainsi qu'un délai de mise en œuvre. Il ressort de l'analyse des délais des différentes mesures que de nombreuses actions peuvent être réalisées à court ou moyen terme, c'est à dire d'ici à 10 ou 20 ans.

Nous prévoyons donc que la moitié du potentiel d'économies d'énergie des transports terrestres pourrait être réalisée dès la première décade (2010-2020) de mise en application de notre scénario (Tableau 43, Figure 17).

| Année | Consommation d'énergie des transports (Mtep) | Evolution par rapport à 1990 | Evolution par rapport à 2010 |
|---|---|---|---|
| 1990 | 1.81 | | |
| 2000 | 2.35 | 30% | |
| 2010 | 2.68 | 48% | |
| 2020 | 1.82 | 1% | -32% |
| 2030 | 1.36 | -25% | -49% |
| 2040 | 1.07 | -41% | -60% |
| 2050 | 0.97 | -46% | -64% |

Tableau 43. Prévisions de l'évolution de la consommation d'énergie du secteur des transports et évolution par rapport à 1990 et 2010 dans le scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire. Source : données 1990 et 2000 : Explicit (2009), 2010-2050 : Virage Énergie Climat.

Dans le cadre de notre scénario, environ 25% du potentiel d'économies d'énergie serait réalisé lors de la seconde décade (2020-2030), lorsque les mesures, dont la réalisation est plus longue (urbanisme et aménagement du territoire, densification des réseaux de transports collectif, etc.), commenceront à porter leurs fruits. Les économies d'énergie réalisables après 2030 seraient beaucoup plus faibles (Tableau 43, Figure 17).

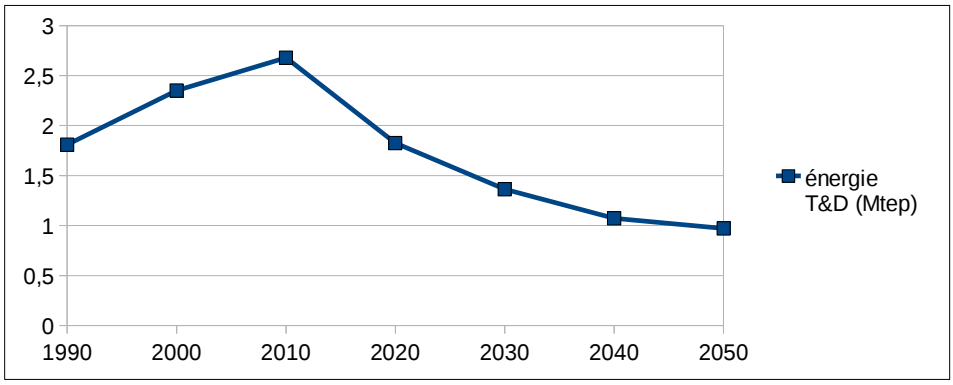



*Figure 17. Prévisions de l'évolution de la consommation d'énergie du secteur des transports et déplacements (T&D) dans le scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.*

### 5.3.8. Comparaison avec le volet 'transport' du Schéma Régional Climat Air Énergie Pays de la Loire

Notre association a participé aux réunions de préparation du Schéma Régional Climat Air Énergie (SRCAE), à l'automne 2011. Des informations ont été communiquées lors de ces réunions, qui permettent une comparaison sommaire des scénarios "transport" formulés pour les Pays de la Loire.

**S'agissant du déplacement des personnes**, le "scénario volontariste" du SRCAE est basé sur les hypothèses suivantes :

- diminution très forte de la voiture pour les déplacements courts, avec passage à des modes de transport doux ;
- amélioration du coefficient d'occupation par covoiturage (2,75 passagers par voitures en 2050) ;
- 30% des trajets longues distances par voie ferroviaire en 2030 ;
- amélioration de l'efficacité énergétique des transports de 30% ;
- aménagement des formes urbaines induisant de diminution des distances parcourues de 10 %.

Le scénario volontariste présenté lors des réunions du SRCAE aboutit, en cumulant certaines de ces hypothèses, à un potentiel d'économies d'énergie pour les transports de personnes d'environ 50% en 2050.

Ce résultat est relativement proche du potentiel d'économies d'énergie estimé dans le cadre de notre scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire pour les transports : 66% (ref. 2010).

**Dans le cas du transport de marchandises**, les hypothèses avancées pour préparer la construction du "scénario volontariste" SRCAE sont :

- amélioration de l'efficacité énergétique : hypothèse basse (+ 10 %), hypothèse très haute (+ 50 %) en 2050 ;
- réduction des distances parcourues de 10 % en 2050.

Le scénario volontariste présenté lors des réunions du SRCAE aboutit, en cumulant ces hypothèses, à un potentiel d'économies d'énergie pour les transports de marchandises d'environ 30% en 2050 Ce potentiel SRCAE est près de deux fois inférieur au potentiel que nous avons évalué dans notre scénario (63% ref. 2010).

Il faut cependant noter que les détails méthodologiques et les hypothèses de travail du scénario SRCAE n'ont pas été communiqués au public. Il est donc difficile d'expliquer avec certitude les différences de résultats observés.

## 5.4. Potentiel d'économies d'énergie pour le transport aérien des Pays de la Loire

### 5.4.1. Contexte du transport aérien dans les Pays de la Loire

Les Pays de la Loire comptent neuf aéroports et deux aérodromes, sur lesquels du trafic est enregistré. L'aéroport de Nantes-Atlantique constitue, de loin, la principale infrastructure aéroportuaire de la région. Plus de 95% des voyageurs transportés par avion en Pays de la Loire utilisent cet aéroport (Explicit, 2009)

Les données publiées par la Direction Générale de l'Aviation Civile (DGAC) en 2010 indiquent que le transport aérien de passagers de Nantes-Atlantique est en forte augmentation. Le fret aérien reste très inférieur à celui des passagers. Le nombre de passagers fréquentant l'aéroport de Nantes-Atlantique a ainsi presque triplé en 20 ans (Figure 18).

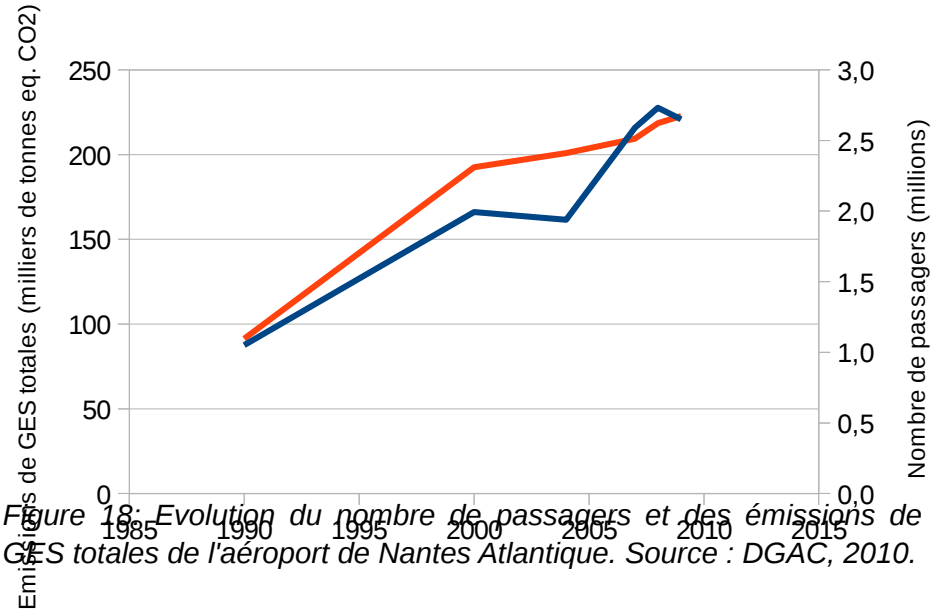



*Figure 18: Evolution du nombre de passagers et des émissions de GES totales de l'aéroport de Nantes Atlantique. Source : DGAC, 2010.*

Il est prévu de transférer les activités de Nantes Atlantique sur un nouvel aéroport qui serait construit à Notre Dame des Landes, à 30 kilomètres au Nord de Nantes.

Il faut noter que les consommations d'énergie du transport aérien estimées par Explicit (2009) sont à notre sens sous-estimés d'un facteur 9 environ. Les émissions totales de GES attribuables à l'aéroport de Nantes, calculées par la DGAC, sont un indicateur beaucoup plus fiable de l'impact climatique d'un aéroport (voir document détaillé en ligne). Ces estimations d'émissions de GES totales sont présentées sur la . Le transport aérien régional aurait donc des impacts climatique et énergétique qui se situeraient plus au niveau de ceux des autoroutes que de ceux du transport collectif urbain.

### 5.4.2. Méthode utilisée

#### *5.4.2.1. Hypothèses*

Nous avons adopté pour le transport aérien un périmètre élargi, qui permet de retrouver les consommations d'énergie et/ou les émissions de GES du trafic aérien mondial en sommant les émissions de GES attribuées à chacun des aéroports (cf. annexe 1 du chapitre transport sur notre site pour des détails sur le périmètre des inventaires d'émissions de GES par aéroports).

L'autre spécificité du transport aérien est d'utiliser un carburant à très haute intensité énergétique (c.a.d. qui produit une très forte énergie par unité de volume), le kérosène, lequel ne peut actuellement être produit en grandes quantités qu'en raffinant très fortement du pétrole.
Le remplacement du pétrole par des agro-carburants pour produire du kérosène nécessiterait l'utilisation d'énormes surfaces de terres agricoles, mettant le transport aérien en compétition directe avec la production de nourriture des Pays du Sud, où poussent les plantes les plus prometteuses pour la production d'agrocarburants aériens. Le conseil scientifique de l'Agence Européenne de l'Environnement a, notamment, signalé la dangerosité du développement des agrocarburants en termes de sécurité alimentaire (European Environment Agency, 2011).
Nous considérons donc que le transport aérien régional ne pourra pas être propulsé par des énergies renouvelables non polluantes. Il nécessitera d'importer du pétrole pour produire du kérosène et contribuera donc toujours au dérèglement du climat en émettant des gaz à effet de serre d'origine fossile. On pourra donc déduire directement les émissions de GES du transport aérien des consommations d'énergies du secteur, que nous supposerons satisfaites par des hydrocarbures d'origine fossile.

Les émissions de GES du trafic aérien de Nantes-Atlantique représentent 95 % des émissions de GES régionales du transport aérien en 2006 (Explicit, 2009), ainsi que l'essentiel des consommations d'énergie de l'aviation. Nous avons donc assimilé les consommations d'énergie et les émissions de GES du trafic aérien régional à celles de l'aéroport de Nantes (Nantes-Atlantique ou notre Dame des Landes). Nous n'avons donc modélisé que l'évolution des consommations d'énergie et les émissions de GES de l'aéroport de Nantes et les avons utilisées pour approximer celles de la région. Nous avons de plus considéré que l'impact énergétique et climatique d'un aéroport étaient essentiellement dû au trafic aérien et négligé les émissions induites par le fonctionnement des installations aéroportuaires.

#### *5.4.2.2. Méthode de scénarisation*

La méthode que nous avons utilisée permet d'estimer directement les consommations d'énergie et les émissions de GES du transport aérien des Pays de la Loire. Elle est basée sur des prévisions d'évolution du trafic passagers de l'aéroport de Nantes.
Des projections officielles de ce nombre de passagers étant disponibles, nous les avons utilisées pour produire un scénario de "laisser-faire", que nous avons comparé à notre scénario "VEC" de sobriété énergétique.
Notre méthode de scénarisation comporte 5 étapes :

- **étape 1** : estimation du nombre de passagers fréquentant l'aéroport de Nantes par décades jusqu'en 2050 pour le scénario de laisser-faire, d'après les projections officielles. Ces hypothèses officielles de croissance du trafic aérien dans la région sont : +5.9 % entre 2005 et 2015, +2.9 % entre 2015 et 2025 et +2.1 % entre 2015 et 2025 (Projet d'aéroport du grand Ouest - Notre Dame des Landes 2006) ;
- **étape 2** : définition d'objectifs de réduction des consommations de kérosène de l'aéroport de Nantes pour notre scénario de sobriété énergétique. Nous avons choisi d'appliquer au transport aérien les mêmes objectifs d'économie d'énergie que celles évaluées pour le transport terrestre : +1% en 2020 et -46% en 2050 (ref. 1990) ;
- **étape 3** : calcul des quantités de kérosène "consommées" et des GES émis en moyenne par passager et par vol jusqu'en 2050. Les calculs ont été réalisés à partir des statistiques de consommation de kérosène et d'émissions de GES des aéroports disponibles.(voir l'annexe document détaillé en ligne pour les détails des calculs). Les émissions de GES en altitude ont été multipliées par 2, afin de tenir compte du forçage radiatif supplémentaire induit par les rejets gazeux des avions en haute altitude en phase croisière[52] ;
- **étape 4** : estimation des consommations d'énergie et des émissions de GES du scénario de laisser faire en multipliant le nombre de passagers par les consommations d'énergie et les émissions de GES moyennes ;
- **étape 5**: estimation du nombre de passagers énergétiquement et climatiquement soutenable pour l'aéroport de Nantes, en divisant nos objectifs de consommation d'énergie en 2050 par la consommation moyenne d'un passager.

### 5.4.3. Résultats

La Figure 19 présente les résultats des scénarios de consommation de kérosène de l'aéroport de Nantes. Les tendances observées sur ce graphique pour la consommation de kérosène sont les mêmes pour le trafic de passagers et les émissions de GES.

52 https://fr.wikipedia.org/wiki/Tra%C3%AEn%C3%A9e_de_condensation

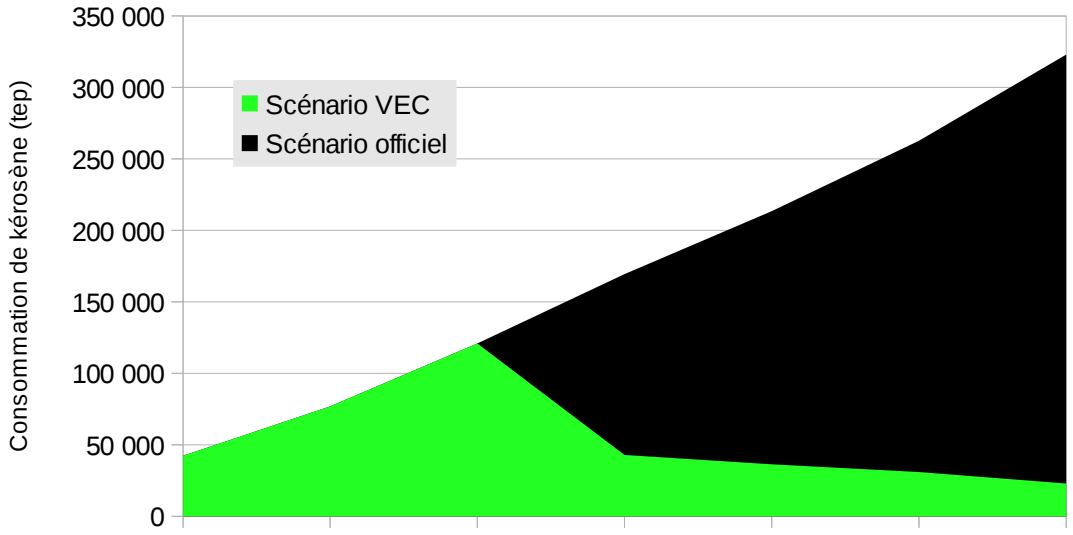



*Figure 19: Scénarios de consommation de kérosène de l'aéroport de Nantes. Source : Virage Énergie-Climat Pays de la Loire.*

Le scénario de laisser faire officiel entraîne un triplement des consommations de kérosène de l'aéroport de Nantes en 2050. Le scénario VEC qui prend en compte une forte réduction du trafic aérien se traduit par une forte diminution des consommations de kérosène de 2010 à 2020, puis une stabilisation à un niveau légèrement inférieur la moitié des consommations de 2010. La différence entre les deux courbes (en noir) illustre le gisement d'économies d'énergie dans le transport aérien (négaWatts).

Les paragraphes suivants présentent les résultats des deux scénarios de façon détaillée.

#### *5.4.3.1. Scénario de laisser-faire pour le transport aérien*

Le Tableau 44 présente les estimations du trafic passager, des consommations de kérosène et des émissions de GES du scénario de "laisser-faire" officiel.

| Année | Nb passagers observé DGAC | ITA scénario 2 (officiel) 2004 | Estimation des consommations de kérosène (tep) | Emissions moyennes par passager et trajet au départ de Nantes (kg eqCO2) | Emissions de CO2 attribuables à l'aéroport de Nantes (teqCO2) | Emissions de CO2 du transport aérien, par rapport à celles de 1990, scénario VEC | Contribution du transport aérien au total des émissions de GES régionales (ref 1990) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1990 | 1 036 000 | | 42 395 | | 182 800 | 100% | 1% |
| 2000 | 1 879 000 | | 76 891 | | 385 000 | 211% | 1% |
| 2010 | 2 954 000 | *2 735 774* | 120 882 | 172 | 469 869 | 257% | 2% |
| 2020 | | *4 141 630* | 169 481 | 164 | 680 263 | 372% | 2% |
| 2030 | | *5 214 667* | 213 391 | 157 | 817 399 | 447% | 3% |
| 2040 | | *6 419 246* | 262 684 | 149 | 958 072 | 524% | 3% |
| 2050 | | *7 890 000* | 322 869 | 142 | 1 118 408 | 612% | 4% |

Tableau 44. Prévisions de la fréquentation, des consommations d'énergie et des émissions de GES imputables à l'aéroport de Nantes jusqu'en 2050 pour le scénario de laisser faire. Source : Virage Énergie-Climat Pays de la Loire.

Dans le cas du scénario de laisser faire, les émissions de CO2 du trafic aérien imputables à l'aéroport de Nantes sont multipliées par 6 en 60 ans, du fait de la forte augmentation du nombre de passagers. Elles atteignent 1 million de tonnes d'équivalent CO2 en 2050.
L'augmentation des émissions du trafic aérien du scénario de laisser faire contribue négativement à l'effort de réduction des émissions de GES régionales, en entraînant des surplus d'émissions de 2 % en 2020 et de 4 % en 2050, par rapport aux émissions de GES totales des Pays de la Loire de 1990.

#### *5.4.3.2. Scénario de sobriété énergétique dans le transport aérien*

Avec les mêmes hypothèses de consommations de kérosène et d'émissions de CO2 moyennes par passager que le scénario de laisser-faire, le scénario proposé par Virage Energie-Climat entraîne une réduction des émissions de GES imputables à l'aéroport de Nantes de -20% en 2020 et -46% en 2050 (Tableau 45).

| Année | Nb passagers observé DGAC | Nb. passagers prédit | Estimations des consommations de kérosène (tep) | Émissions moyennes par passager et trajet au départ de Nantes (kg eqCO2) | Émissions de CO2 attribuables à l'aéroport de Nantes (teqCO2) | Evolution de la consommation d'énergie du transport aérien, ref 1990 | Emissions de CO2 du transport aérien, par rapport au total des émissions de GES régional de 1990 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1990 | 1 036 000 | | 42 395 | | 91 400 | 100% | |
| 2000 | 1 879 000 | | 76 891 | | 192 500 | 81% | 1% |
| 2010 | 2 954 000 | | 120 882 | 172 | 234 935 | 185% | 1% |
| 2020 | | *1 046 360* | 42 818 | 164 | 171 865 | 1% | 1% |
| 2030 | | *889 406* | 36 396 | 157 | 139 414 | -14% | 0% |
| 2040 | | *755 995* | 30 936 | 149 | 112 832 | -27% | 0% |
| 2050 | | *559 440* | 22 893 | 142 | 79 301 | -46% | 0% |

Tableau 45. Evolution de la fréquentation, des consommations d'énergie et des émissions de GES du trafic aérien attribuable à l'aéroport de Nantes. Source : scénario Virage Énergie Climat.

Cette réduction d'émission est rendue possible par une baisse de la fréquentation de l'aéroport de Nantes, dont le nombre de passagers passe d'environ 3 millions en 2010 à environ 600 000 en 2050 (division du trafic par environ 5). Cette diminution du trafic aérien se traduit par une annulation de la contribution du transport aérien à l'augmentation des émissions de GES régionales dès 2030 (ref. 1990).

### 5.4.4. Discussion et conclusions

Le choix du périmètre est déterminant dans l'inventaire des émissions de GES aériens. La DGAC estime à 37 800 tonnes eq.CO2 les émissions de GES de l'aéroport de Nantes en 2008 avec la méthode LTO. Avec la méthode LTO+50 % des émissions en croisière, l'estimation DGAC passe à 218 600 tonnes eq.CO2 pour le même aéroport et la même année. Enfin, le cabinet Futur Facteur 4 estime à 800 000 tonnes eq.CO2 les émissions de GES de tous les déplacements aériens des habitants des Pays de la Loire en 2008, à partir de l'enquête transport de l'INSEE (INSEE Pays de la Loire, 2010b).

Avec la méthode LTO, les émissions de GES de la phase « croisière » du vol disparaissent complètement du total. Nous n'avons donc pas utilisé cette méthode car elle ne permet pas de retrouver les émissions totales du trafic aérien, en sommant les émissions attribuées à chaque aéroport. Attribuer toutes les émissions de GES des déplacements aériens des habitants des Pays de la Loire à la région comme dans la méthode Futur Facteur 4 ne nous paraît pas non plus pertinent car cela revient à ne pas comptabiliser dans le bilan de GES aériens régional les émissions des habitants d'autres zones qui viennent dans les Pays de Loire en avion. A notre sens, si la région bénéficie des retombées économiques d'un aéroport situé sur son territoire, elle doit en contrepartie assumer les émissions de GES de tous les voyageurs qui le fréquente, ligériens ou non.

La méthode Futur Facteur 4 ne permet pas non plus actuellement de retrouver le total des émissions de GES mondiales du transport aérien en sommant les émissions attribuées à chaque territoire, puisque des enquêtes transport ne sont pas réalisées dans tous les territoires. Elle repose en outre sur des données d'enquêtes qui ne sont réalisées que tous les 10 ans environ, ce qui ne permet pas de suivre l'évolution du trafic aérien avec précision[53].

Nous avons donc utilisé la méthode alternative de la DGAC, qui inclut les émissions de la phase LTO plus 50% des émissions en croisière. Cette méthode a le triple avantage de pouvoir être appliquée chaque année à partir des données de trafic enregistrées, d'éviter les doubles comptage, et de conserver les émissions totales de GES du trafic aérien. Elle est équivalente à la méthode préconisée officiellement aux États Unis pour attribuer des émissions de GES à un aéroport (Groupe de Recherche sur les Transports de l'Académie des Science des États Unis [54] : Transportation Research Board, 2009).

Les prévisions officielles de fréquentation de l'aéroport de Nantes ont été réalisées en 2004 pour le projet d'aéroport du Grand Ouest, dans une conjoncture économique très différente d'aujourd'hui. Elles se basaient notamment sur des hypothèses de croissance économique soutenue (au moins 2 % par an) et sur un prix du pétrole faible (60$ le baril en 2025). D'après l'INSEE, la croissance économique et le prix du pétrole moyens ayant été respectivement de 0.96 % et 80$/baril sur la période 2005-2011. Ces hypothèses économiques apparaissent rétrospectivement peu réalistes. Les compagnies aériennes commencent notamment à voir leur rentabilité fortement entamée par l'augmentation du prix du pétrole (cf. encadré et [55],[56],[57]).

La fréquentation de l'aéroport de Nantes pourrait donc être moindre que prévue officiellement. Une croissance du nombre de passagers moins forte que prévue contribuerait à limiter les émissions de GES du trafic aérien dans la région.

Les améliorations de l'efficacité énergétique des avions fréquentant l'aéroport de Nantes se traduisent par une diminution modérée des émissions de GES moyennes d'un passager sur un trajet (-17% de 2010 à 2050). La consommation moyenne de kérosène par passager est de même restée stable entre 2000 à 2011.

L'effet de l'amélioration de l'efficacité énergétique des appareils sur les consommations d'énergie et les émissions de GES moyennes par passager est en effet contrebalancée par l'augmentation concomitante des distances parcourues par les passagers (« effet rebond »).

53 http://www.insee.fr/fr/methodes/default.asp?page=sources/ope-enq-transports-deplac-2007.htm

54 http://144.171.11.107/Main/Public/Blurbs/160829.aspx

55 http://www.lefigaro.fr/conjoncture/2011/03/02/04016-20110302ARTFIG00472-le-petrole-va-plomber-le-transport-aerien-en-2011.php

56 http://www.liberation.fr/economie/2012/05/04/le-kerosene-plombe-les-comptes-d-air-france-klm_816368

57 http://www.lesechos.fr/entreprises-secteurs/energie-environnement/dossier/0201977067999/0201977796392-le-transport-aerien-sous-la-pression-du-prix-du-petrole-307288.php

La proportion des vols moyens et de longs courriers, dont les émissions totales de GES sont plus importantes que celles des courts-courriers, a ainsi augmenté de 29% de 2000 à 2009 à Nantes-Atlantique (Direction Générale de l'Aviation Civile 2010). Nous avons supposé que cette tendance allait se maintenir à l'avenir, puisque, d'après le projet d'aéroport du Grand Ouest (2006) : « le trafic international intracommunautaire constitue déjà, et constituera de plus en plus, le moteur de la croissance des aéroports régionaux. ».

Les réductions de fréquentation de l'aéroport de Nantes affichées dans les scénarios VEC et GIEC sont importantes. Elles restent cependant dans la fourchette des réductions potentielles de trafic aérien envisagées par les constructeurs d'avions eux-mêmes (cf. scénario « Down-to-Earth », (ONERA, 2011).

On peut ,de plus, anticiper que la réduction de l'usage de l'avion sera plus acceptable socialement que la réduction de l'usage des transports routiers, car les transports aériens ne sont empruntés que par une minorité de français(es). Des enquêtes ont ainsi montré que seul un français sur cinq prenait l'avion (Direction Générale de l'Aviation Civile, 2007). De même, en 2006, les voyages en avion n'intervenaient que dans 7% des séjours touristiques, tandis que 75% des séjours se faisaient en voiture (Direction des Etudes Economiques et de l'Evaluation Environnementale, 2008).
De plus, au niveau français, les voyages en avion satisfont des besoins qui sont beaucoup moins essentiels que ceux satisfaits par les voitures ou les camions, ce qui facilitera d'autant leur diminution. L'enquête de la Direction Générale de l'Aviation Civile (2007) a ainsi montré que, sur les 18 % de français(e)s qui prenaient l'avion, 83% le faisait pour des motifs de loisirs et seulement 17% pour des motifs professionnels.

La France étant la première destination touristique mondiale, la minorité de français(es) prenant l'avion pour le plaisir devrait pouvoir se rabattre aisément sur des destinations de vacances accessibles par la route ou le rail. De plus, du fait du développement des nouvelles technologies de l'information, le petit nombre de voyages d'affaires réalisés en avion pourra être remplacé par des téléconférences. La relocalisation des activités des habitants des Pays de la Loire résultant de la diminution de leurs voyages aériens lointains aura enfin certainement des conséquences économiques positives pour la région.
Le nombre de visiteurs étrangers arrivant en avion diminuera, mais 83% de nos visiteurs étrangers étant européens (Direction Générale de la compétitivité, de l'Industrie et des Services, 2012), la majorité des touristes étrangers visitant la France pourra certainement continuer à se rendre dans notre pays par la route ou le rail.

## 5.5. Potentiel d'économies d'énergie pour le transport maritime des Pays de la Loire

### 5.5.1. Contexte du transport maritime des Pays de la Loire

En Pays de la Loire, en 2008, le trafic maritime était assuré à 97% par le Grand Port Maritime Nantes Saint-Nazaire (GPMNSN). Le reste était réalisé par les ports vendéens des Sables d'Olonne et de Port Joinville (Ile d'Yeu)[58].
Pour la suite de l'étude, nous ne considérerons que le GPMNSN.

En 2009, le GPMNSN était le quatrième Grand Port Maritime de France par le tonnage, après Marseille, Le Havre, Dunkerque, et représentait 11% du trafic national (29 752 369 tonnes de trafic extérieur en 2009)[59].
En 2008, 70% du trafic du GPMNSN était généré par les entrées, 22% par les sorties et 8% par le trafic intérieur[60].
En moyenne sur 2008 à 2011 et par ordre décroissant, les produits énergétiques suivants : pétrole, gaz naturel, charbon et produits raffinés, ont représenté 72% des entrées.
Le GPMNSN est donc un port fortement caractérisé par l'importation énergétique.
Mais les trafics conteneurisés et rouliers se sont développés ces dernières années, ainsi que certains trafics spécifiques (éléments d'éoliennes).
Par ailleurs, alimentation du bétail et oléagineux (plutôt importés), céréales (plutôt exportées) et engrais (plutôt importés) ont constitué, en moyenne de 2008 à 2011, 11% du trafic extérieur du GPMNSN.
Le GPMNSN comprend 5 sites dans lesquels le trafic total se répartit ainsi en 2011 selon la DREAL[61] : Saint Nazaire (2%), Montoir (42%), Donges (44%), Cordemais (5%) et Nantes (8%).
L'annexe au rapport relatif au « Plan Climat Énergie Départemental de la Loire-Atlantique millésime 2012 » indique que le mode maritime représente 86% des tonnes par kilomètres à l'origine ou à destination de ce département, mais seulement 27% des consommations d'énergie du fret. En tonnes par kilomètres, le maillon maritime du fret est donc plus efficace que le maillon routier.

58 Inventaire énergétique et des émissions polluantes issues des transports en Pays de la Loire (DREAL Pays de la Loire, septembre 2011), http://webissimo.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Inventaire_energetique_cle7ca989.pdf

59 Etude énergétique et environnementale du passage portuaire, rapport final (Direction Générale des Infrastructures des Transports et de la Mer (DGITM), 26 novembre 2010), http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Rapport_final_Passage_Portuaire-2.pdf

60 Trafic annuel du port de Nantes Saint-Nazaire pour le trafic extérieur, http://www.nantes.port.fr/lautorite-portuaire/statistiques/, et inventaire DREAL pour le trafic total

61 Les flux maritimes et fluviaux en 2011 (DREAL Pays de la Loire, septembre 2012), http://www.pays-de-la-loire.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/AC_No_54_-_Mer_fleuve_2011.pdf

### 5.5.2. Méthode de scénarisation

#### *5.5.2.1. Périmètre*

Avec la même logique que celle employée pour le transport aérien, l'étude Explicit n'a considéré que les consommations d'énergie situées dans la limite des eaux territoriales. Nous n'avons pas utilisé cette méthode car elle ne permet pas de retrouver les émissions totales du trafic maritime, en additionnant les consommations et émissions attribuées à chaque port.

#### *5.5.2.2. Sources de données*

Les consommations d'énergie du transport maritime des Pays de la Loire en 2006 ont été estimées à 244 000 tep à partir de documents édités par la Direction Générale des Infrastructures des Transports et de la Mer (DGITM) sur les impacts environnementaux du trafic maritime (Ministère du Développement durable, 2009)[62]et du passage portuaire (Ministère du Développement durable, 2010)[63].

#### *5.5.2.3. Analyse des consommations d'énergie et émissions de GES du transport maritime des Pays de la Loire*

- **Étape 1 : estimation de la consommation de carburant du GPMNSN**. Nous avons utilisé les livraisons de carburant aux soutes maritimes françaises et étrangères pour la France métropolitaine en 2009 et estimé la part du GPMNSN à proportion de la consommation d'énergie de la partie maritime du passage portuaire du GPMNSN, rapportée à la consommation d'énergie de la partie maritime du passage portuaire dans les 7 Grands Ports Maritimes français en 2009.
- **Étape 2** : **estimation des consommations de carburants pour les principaux types de trafic**. Le trafic intérieur de 2009 est fourni par l'étude de la DREAL « Les flux maritimes et fluviaux en 2009 »[64]. La consommation d'énergie est estimée grâce aux émissions de CO2 par tonne kilomètre[65], converties en grammes équivalent pétrole avec le ratio obtenu dans la partie maritime de l'étude passage portuaire (p32). Faute d'informations précises sur la taille des navires, nous avons supposé une équiprobabilité de la taille du navire par tonne transportée. Nous avons toutefois exclu les porte-conteneurs de plus de 6 000 EVP (Equivalent Vingt Pieds (6,06m))[66]. Nous avons caractérisé certains trafics (trafic de sable entrant, trafic roulier, trafic intérieur) par la consommation d'énergie par tonne kilomètre du navire et le nombre de kilomètres estimé :

62 http://www.developpement-durable.gouv.fr/Etude-de-l-efficacite-energetique.html
63 http://www.developpement-durable.gouv.fr/ETUDE-ENERGETIQUE-ET,20686.html
64 Les flux maritimes et fluviaux en 2009 (DREAL Pays de la Loire, septembre 2010), http://www.pays-de-la-loire.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/AC_No_6_-_Mer_fleuve_2009_cle2779f9.pdf. Attention, quand, dans ce type de document, il est question de trafic total, le trafic intérieur est compté deux fois(départ et arrivée).
65 Etude de l'efficacité énergétique et environnementale du transport maritime (DGITM, janvier 2009), http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/spipdgmt/pdf/Etude_DGITM_cle619d42.pdf
66 Rapport annuel 2011, p31 (GPMNSN), http://www.nantes.port.fr/uploads/rapports/fr/index.htm

- du large de l'embouchure de la Loire à Cheviré pour le sable de mer entrant ;
- d'une moyenne de Montoir à Vigo ou Gijon (estimée à 700 km), et divisée par deux (pour prendre en compte la livraison en carburant aux ports de destination), pour approcher le trafic roulier ;
- de Montoir multivrac à Cordemais pour le charbon livré à Cordemais ;
- de Donges à Cordemais pour du fioul livré à Cordemais (mais qui est sans rapport avec la quantité de fioul nécessaire aux deux tranches fioul de Cordemais qui sont alimentées majoritairement par oléoduc depuis Donges) ;
- de Montoir multimodal à Cheviré pour des conteneurs ;
- de Cheviré à Montoir multimodal pour des tronçons d'avion.

- **Étape 3** : **estimation des consommations de carburants pour les autres types de trafic**. Faute d'informations précises sur les distances, le reste de la consommation d'énergie se partage entre les autres trafics à proportion de la consommation d'énergie par tonne kilomètre, multipliée par le tonnage, avec donc une hypothèse d'équidistance entre deux livraisons de carburant aux soutes, et sans l'effet « prix du carburant » qui détermine sans doute différemment l'approvisionnement en carburant au niveau continental ou mondial pour certains trafics et/ou certaines destinations par rapport à l'hypothèse retenue ici.
- **Étape 4 : définition du scénario tendanciel 2050 pour le transport maritime des Pays de la Loire.** Le scénario tendanciel 2050 a été obtenu en prolongeant tendanciellement le trafic du GPMNSN selon l'augmentation démographique prévue par l'INSEE pour la France (+11%). Le GPMNSN ayant principalement vocation à accueillir les hydrocarbures qui vont alimenter le reste de la France, il nous a semblé plus probable que son activité suive la croissance démographique française, plutôt que la croissance démographique régionale utilisée dans le reste du scénario pour définir les scénarios tendanciels des autres secteurs.
- **Étape 5 : hypothèses de gains d'efficacité énergétique et d'évolution du trafic.** Des hypothèses de sobriété et d'efficacité énergétique ont été formulées pour chacun des types de trafic du GPMNSN et appliquées au scénario tendanciel 2050, afin de définir le scénario VEC de sobriété énergétique du transport maritime des Pays de la Loire. Les importations d'hydrocarbures ont été diminuées proportionnellement au développement des énergies renouvelables produites dans la région, jusqu'à s'annuler en 2040.

### 5.5.3. Résultats

#### *5.5.3.1. Consommations d'énergie et émissions de GES du transport maritime des Pays de la Loire en 2009*

Nous avons utilisé les livraisons de carburant aux soutes maritimes françaises et étrangères :2 490 000 tep pour la France métropolitaine en 2009. Nous avons estimé la part du GPMNSN à 243 919 tep, à proportion de la consommation d'énergie de la partie maritime du passage portuaire du GPMNSN (30 658 tep), rapportée à la consommation d'énergie de la partie maritime du passage portuaire dans les 7 Grands Ports Maritimes français (312 971 tep) en 2009.
Les consommations d'énergie par grands types de trafics sont présentées dans le document détaillé téléchargeable sur notre site.

### *5.5.3.2. Scénario de sobriété énergétique du transport maritime des Pays de la Loire en 2050*

Des améliorations de l'efficacité énergétique du transport maritime, de type cargo à voile[67], sont prévues dans le scénario. L'évolution de la facture énergétique des transports maritimes est cependant beaucoup plus déterminée par :

- la relocalisation de la production d'énergie et de la production de biens manufacturés ;
- la plus longue durée de vie et la meilleure réparabilité des biens ainsi que la sobriété énergétiques des consommateurs ;
- l'évolution de l'agriculture vers plus d'autonomie et d'économie.

| | base | TOTAL | |
|---|---|---|---|
| Trafic annuel 2009 (t) | | 31 695 982 | |
| Distance moyenne (km) | | | |
| Profil moyen (g CO2/t.km) « réservoir à la roue » | | 25 | |
| Consommation d'énergie par tonne transportée (gep/t/km) | | 8 | |
| Consommation d'énergie, base 100 en 2009 (tep) | 100 | 243 919 | |
| Actualisation 2010 | 24% | 302 911 | |
| Avec augmentation de la population de 2010 à 2050 (F), selon type de trafic | 10% | 328 070 | |
| | | | Économies d'énergie |
| **A. Réduction du tonnage et des distances** | | | |
| Produits de durée de vie plus longue | | 316 066 | -4% |
| Facilité de réparation locale | | 305 262 | -3% |
| Sobriété des consommateurs | | 190 881 | -35% |
| Relocalisation des activités | | 89 785 | -31% |
| **Répartition des transports restant selon mode** | Coef répart. | 89 785 | |
| **B. Navires avec amélioration efficacité** | 100% | 89 785 | |
| Amélioration de la logistique, meilleur remplissage des navires | | 70 333 | -6% |
| Recours au vent, économie sur moteur et carénage | | 35 321 | -11% |
| **C. Report éventuel de ou sur autre transport** | 0% | 0 | |
| **D. Consom. restante et gain par rapport à situation de départ** | | **35 013** | -88% |
| **D. Consom. restante et gain par rapport à 2050 tendaciel** | | | -89% |

Tableau 46. Scénario de sobriété énergétique du transport maritime des Pays de la Loire en 2050. La colonne « économies d'énergie » présente les réductions de consommation énergétique induites par les différentes actions, par rapport aux consommations 2050 du scénario tendanciel. Source : scénario Virage Énergie-Climat Pays de la Loire.

Les résultats du scénario de sobriété énergétique du transport maritime des Pays de la Loire en 2050 sont présentés dans le Tableau 46.

67 http://www.techno-science.net/?onglet=news&news=5730, http://www.b9energy.com/B9Shipping/tabid/4036/language/en-US/Default.aspx

Le potentiel d'économie d'énergie est très important : environ 90% des consommations tendancielles estimées pour 2050. Ce potentiel repose essentiellement sur des actions de sobriété des consommateurs (-35%) et sur la relocalisation des activités (-31%). Ceci est du à la vocation de terminal d'hydrocarbures du GPMNSN. En effet, le trafic et la consommation d'énergie du port va nécessairement fortement diminuer du fait de l'application des mesures de sobriété énergétique et de production locale d'énergie renouvelable préconisées dans le scénario Virage Énergie-Climat Pays de la Loire (Figure 20).

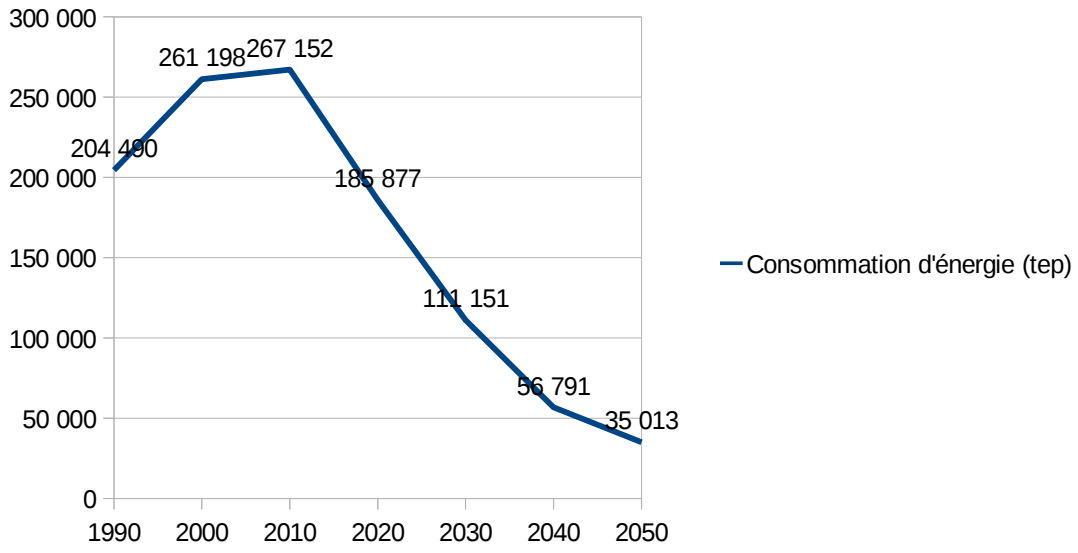



*Figure 20. Evolution des consommations d'énergie du transport maritime des Pays de la Loire. Source : scénario Virage Énergie-Climat Pays de la Loire*

### 5.5.4. Conclusion

La baisse de la consommation d'énergie du transport maritime des Pays de la Loire prévue dans le scénario Virage Énergie-Climat Pays de la Loire est amplifiée par la vocation actuelle essentielle du Grand Port Maritime Nantes Saint Nazaire : l'approvisionnement en énergies fossiles.
Les mesures du scénario VEC vont en effet aboutir en 2040 à l'arrêt des importations d'hydrocarbures et à une forte diminution de celles d'intrants agricoles dans la région et donc à une diminution très forte des consommations énergétiques du transport maritime à destination des Pays de la Loire.
Nous envisageons également une réduction forte des importations de biens manufacturés provenant actuellement essentiellement de Chine. Cette baisse devrait être pour partie compensée dans notre scénario par les actions de sobriété entreprises dans les autres secteurs d'activité, qui feront baisser la demande régionale de produits manufacturés. La relocalisation des activités, et des productions, évoquées dans ce chapitre et dans le chapitre agriculture devraient permettre dans un second temps de palier à la diminution des marchandises importées par voie maritime.

## 5.6. Potentiels de réduction des consommations d'énergie et des d'émissions de GES afférentes pour les transports des Pays de la Loire

La Figure 21 présente l'évolution des consommations d'énergie des transports des Pays de la Loire prévue dans le cadre de l'application du scénario Virage Énergie-Climat Pays de la Loire.

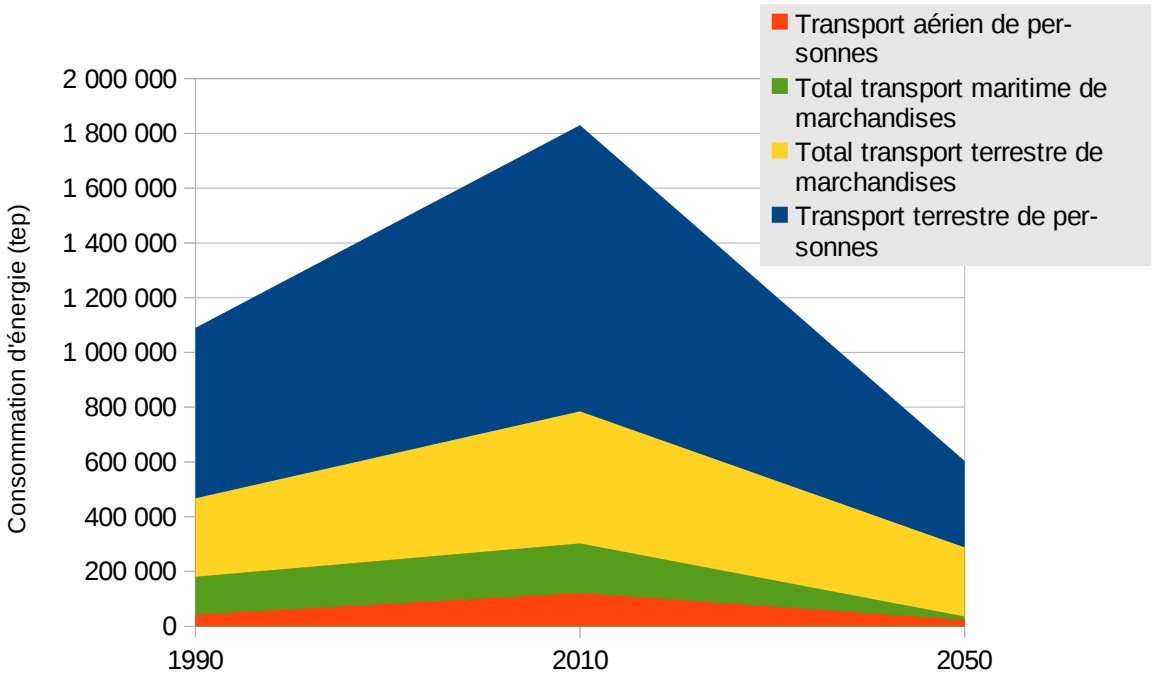



*Figure 21. Évolution des consommations d'énergie des transports des Pays de la Loire 1990-2050. Source : scénario Virage Énergie-Climat Pays de la Loire.*

Les consommations d'énergie du secteur des transports sont globalement divisés par 3 dans le cadre de notre scénario, par rapport à leur niveau de 2010. Le gisement de négaWatts est donc très important dans ce secteur.

#### *5.6.1.1. Évolution de la nature des besoins en énergie des transports des Pays de la Loire*

Dans notre scénario, le total du besoin en énergie pour les transports des Pays de la Loire est de 0,95 Mtep en 2050. Nous avons évalué dans le tableau suivant la répartition entre les besoins de type thermique et ceux de type électrique dans ce besoin d'énergie global.

| | Consommation d'énergie en 2050 (tep) | Besoin en énergie thermique mobilité (%) | Besoin en énergie électrique mobilité (%) | Besoin en énergie thermique mobilité (tep) | Besoin en énergie électrique mobilité (tep) |
|---|---|---|---|---|---|
| Voitures | 312 802 | 66% | 34% | 206 449 | 106 353 |
| Covoiturage | 95 869 | 50% | 50% | 47 935 | 47 935 |
| Taxi, minibus | 78 887 | 50% | 50% | 39 443 | 39 443 |
| Transports collectifs terrestres | 116 419 | 50% | 50% | 58 209 | 58 209 |
| Transport aérien | 22 893 | 100% | 0% | 22 893 | 0 |
| Sous total déplacements de personnes | 626 870 | | | 374 930 | 251 940 |
| Camions | 169 495 | 90% | 10% | 152 546 | 16 950 |
| Transport de marchandises ferroviaire | 118 249 | 0 | 100% | 0 | 118 249 |
| Transport maritime de marchandises | 35 013 | 100% | 0% | 35 013 | 0 |
| Sous total transport de marchandises | 322 757 | | | 187 559 | 135 199 |
| **Total transports et déplacements** | **949 627** | | | **562 488** | **387 139** |

Tableau 47. Nature des besoins en énergie des transports des Pays de la Loire en 2050. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.

Du fait du développement important des transports en commun, notamment ferroviaires, et des voitures électriques, le besoin en électricité des transports des Pays de la Loire (0,39 Mtep) est en 2050 du même ordre de grandeur que le besoin en énergie thermique (0,62 Mtep pour alimenter les moteurs).

Nous préciserons dans le chapitre "synthèse" avec quelles énergies nous prévoyons de satisfaire la consommation résiduelle d'énergie des transports. Nous évaluerons ensuite les émissions de GES induites par le transport dans le scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire, en fonction du contenu carbone du bouquet énergétique qui les propulserons.

| Type de transport | Consommation d'énergie 1990 (tep) | Consommation d'énergie 2010 (tep) | Consommation d'énergie 2050 (tep) | Évolution grâce aux économies d'énergie (ref. 2010) | Contribution à l'évolution du total de la région (ref. 2010) |
|---|---|---|---|---|---|
| *Transport terrestre de personnes* | | *1 830 892* | *603 977* | *-67%* | *-13%* |
| *Transport aérien de personnes* | *42 395* | *120 882* | *22 893* | *-81%* | *-1%* |
| Total transport de personnes | | 1 951 774 | 626 870 | -68% | -14% |
| Total transport terrestre de marchandises | | 784 668 | 287 744 | -63% | -5% |
| Total transport maritime de marchandises | | 302 911 | 35 013 | -88% | -3% |
| **Total transport** | **1 809 271** | **3 039 352** | **949 935** | **-69%** | **-23%** |

Tableau 48. Estimations du potentiel d'économies d'énergie pour les transports des Pays de la Loire 1990-2050. Sources : 1990 : Explicit&VEC ; 2010 : Explicit actualisé&VEC ; 2050 : scénario Virage Énergie Climat.

Le Tableau 48 présente un récapitulatif des consommations d'énergie et émissions de GES des transports terrestres, aériens et maritimes des Pays de la Loire, ainsi que le potentiel d'économies d'énergie estimé dans le scénario Virage Énergie Climat par secteur. *La colonne évolution exprime la variation par rapport à son niveau de 2010. La colonne "contribution à l'évolution du total de la région" exprime la contribution de chaque ligne à l'évolution du total de la région en 2010.*

D'importants potentiels d'économies d'énergie peuvent être réalisés dans les transports de personnes (-67% pour le transport terrestre et -81% pour le transport aérien par rapport à leurs niveaux de 2010), ainsi que dans le transport de marchandises (-63% sur terre et -88% sur mer, ref. 2010).
Le potentiel global d'économies d'énergies réalisable en 2050 dans les transports grâce au scénario Virage Énergie Climat s'élève à 66% des consommations d'énergies des transports des Pays de la Loire en 2010.

Le Tableau 49 présente un récapitulatif des émissions de GES évitées par secteur grâce aux économies d'énergie réalisées dans les transports terrestres, aériens et maritimes des Pays de la Loire, dans le cadre du scénario Virage Énergie Climat.

| Type de transport | Emissions de GES 1990 (t eq.CO2) | Emissions de GES 2010 (t eq.CO2) | Emissions de GES 2050 (t eq.CO2) | Évolution grâce aux économies d'énergie (ref. 2010) | Contribution à l'évolution du total de la région (ref. 2010) |
|---|---|---|---|---|---|
| Transport terrestre de personnes | | 5 724 686 | * | -66% | -12% |
| Transport aérien de personnes | 91 400 | 234 935 | 79 301 | -66% | -1% |
| Total transport de personnes | | 5 959 620 | * | -69% | -13% |
| Total transport terrestre de marchandises | | 2 453 437 | * | -63% | -5% |
| Total transport maritime de marchandises | | 992 336 | 114 703 | -88% | -3% |
| Total transport | 5 654 937 | 9 405 393 | * | -69% | -21% |

Tableau 49. Estimations du potentiel de réduction d'émissions de GES découlant des économies d'énergie réalisées dans les transports des Pays de la Loire 1990-2050. Sources : 1990 : Explicit&VEC ; 2010 : Explicit actualisé&VEC ; 2050 : scénario Virage Énergie Climat.

** : les émissions de GES des transports dépendent des sources d'énergie utilisées en 2050 et seront précisées dans le chapitre « synthèse » du scénario. L'évolution des émissions de GES de ce tableau ne concerne que les émissions de GES évitées en réalisant les économies d'énergie.*

Les réductions d'émissions de GES découlant des économies d'énergie ont été estimées en multipliant les consommations d'énergie évitées (les « négaWatts »), par un facteur d'émission de GES moyen par unité d'énergie. Ce facteur d'émission moyen a été calculé en divisant les consommations d'énergie totales des transports régionaux par leurs émissions de GES, telles qu'estimées par Explicit (2009). Ce « contenu carbone moyen » de l'énergie des transports régionaux était égal à 3,1 teqCO2/tep en 1990, 2000 et 2006 (Explicit, 2009).

Faire les économies d'énergie préconisées par notre scénario permettrait de réduire de deux tiers les émissions de GES des transports régionaux en 2050, par rapport à leur niveau de 2010 (-66%).

Globalement, l'exploitation du gisement de négaWatt des transports permettrait en 2050 de diminuer les consommations d'énergie totales de la région de 23% et les émissions de GES régionales de 21%, par rapport à leur niveau de 2010.

## Conclusions

Dans ce chapitre, nous avons brossé à grands traits un système de transports durables pour la région Pays de la Loire. Ce scénario d'avenir est basé sur une combinaison d'actions de sobriété et d'efficacité énergétiques, qui permettent de réduire de deux tiers la facture énergétique et les émissions de GES du secteur des transports en 2050 par rapport à leurs niveaux de 2010.

Les réductions importantes des consommations d'énergie des transports terrestres, les plus énergivores le bilan régional, sont obtenues pour un tiers en diminuant le nombre de trajets et leur distance (sobriété) et pour la moitié en reportant des déplacements effectués en voiture vers des modes de transport plus économes. En ce qui concerne le transport de marchandises terrestres, la forte réduction des consommations d'énergie repose pour moitié sur des actions de sobriété (relocalisation, économie circulaire...) et pour un tiers sur le report vers le rail.

Cette forte réduction du trafic routier ne peut se faire qu'en repensant en profondeur nos sociétés afin de relocaliser toutes nos activités.

Dans la vie quotidienne, les populations des territoires périurbains et ruraux sont en effet fortement pénalisées et dépendantes de la voiture individuelle. Au coût d'utilisation, s'ajoutent les conséquences sur l'environnement et la santé (émissions de gaz polluants, bruit, stress, encombrement des villes). Agir sur l'urbanisme, c'est à dire revoir l'implantation des habitations ainsi que la distribution des emplois et des services à l'origine des déplacements en voiture, permettrait de limiter cette dépendance.

Cependant, cela ne peut se concevoir que sur le long terme, par la mise en œuvre de politiques volontaristes de déplacements découpées en phases, pour assurer une continuité et une cohérence des actions avec les besoins de déplacement à l'échelle locale.

Ces actions d'aménagement du territoire devront s'articuler autour du développement massif des transports en commun, et notamment du transport ferroviaire, afin de proposer des modes de transport de personnes alternatifs à la route ou à l'aérien.
Le report du transport routier vers le fret ferroviaire, couplé à un soutien des circuits courts, une sobriété des consommateurs et des achats responsables permettraient de réaliser des économies d'énergie très importantes dans le transport des marchandises. Cependant, tant qu'il sera plus rentable de faire voyager les biens de consommation sur des milliers de kilomètres, plutôt que de les produire et de les consommer localement, la mise en œuvre efficace de nos propositions d'économies d'énergie pour le transport de marchandises demeurera difficile.

Il faudra donc mettre en œuvre, en plus des mesures d'aménagement du territoire, des mesures réglementaires de type taxe kilométrique ou introduction de critères de production locale dans les appels d'offres publics, afin de limiter les distances faramineuses parcourues par les biens de consommation pour réduire le bilan énergétique et climatique du transport de marchandises.

Sur un temps plus court, les solutions consistent à tirer parti de toutes les possibilités des technologies de l'information, à développer à l'échelle du bassin d'emploi des modes inédits d'utilisation et de partage de la voiture et à organiser à l'échelle du bassin de vie les mobilités de proximité. Depuis plusieurs années, de nouvelles pratiques et solutions alternatives à la voiture individuelle (voitures en autopartage, covoiturage, etc) se sont développées. Elles restent encore marginales et peu connues et doivent s'élargir en s'appuyant sur des communautés d'initiatives locales (collectivités locales, entreprises, associations, etc.).

Les économies d'énergie obtenues dans les transports aériens et maritimes reposent essentiellement sur la réduction de l'usage de ces modes de transport, car les gains d'efficacité énergétique envisageables sont faibles. En lien avec la mutation du reste de la société, le trafic aérien diminue fortement, du fait de la baisse de l'approvisionnement en hydrocarbures et de la relocalisation des activités, qui induisent une forte diminution des déplacements lointains très polluants en avion. L'activité portuaire de la région est de même très fortement réduite du fait de l'arrêt des importations d'hydrocarbures.

Pour limiter nos déplacements automobiles et aériens au strict nécessaire, il faudra enfin globalement déconstruire les imaginaires en affirmant que la mobilité à outrance n'est pas forcément une bonne chose.

En effet, comme le dit le très officiel Centre d'Analyse Stratégique « qu'il s'agisse de voitures partagées ou d'organisation des activités et des services, les difficultés pour généraliser les expériences réussies ne sont pas d'ordre économique et financier, mais d'ordre culturel et social. Nos modes de pensée et de représentation, le cloisonnement des champs de responsabilité entre les entreprises, les particuliers et les collectivités publiques, l'accumulation de règles inadaptées, l'aversion de chacun à l'incertitude liée au changement sont autant de freins qui limitent la pertinence ou la portée des initiatives possibles.[68].»

L'objectif sera de dépasser la société de la voiture, synonyme de dépendance pétrolière et d'impasse climatique, afin de bâtir une société relocalisée, dont les transports et déplacements seraient propulsés durablement par des énergies renouvelables produites le plus localement possible. Perdant moins de temps dans des transports incessants et polluants, nous pourrons nous concentrer alors sur des activités plus essentielles et non polluantes.

68 Centre d'analyse stratégique : *Pour une nouvelle approche des mobilités dans les territoires péri-urbains et ruraux* (Note de synthèse 262 - Février 2012 : http://www.strategie.gouv.fr/content/pour-une-nouvelle-approche-des-mobilites-dans-les-territoires-periurbains-et-ruraux-note-de-

## 5.7. Références

AXENNE-TML-ECOFYS (2007) –*Scénarios de forte réduction des émissions de gaz à effet de serre à l'horizon 2050.*, SESP, CDAT, 2007 Consultable à http://temis.documentation.equipement.-gouv.fr/documents/temis/NS/NS_170_1.pdf.

CONSEIL GÉNÉRAL DES PONTS ET CHAUSSÉES (2006) –*Démarche prospective transports 2050. Eléments de réflexion*, 2006 Consultable à http://www.ladocumentationfrancaise.fr/rapports-publics/064000342/index.shtml.

DIRECTION DES ETUDES ECONOMIQUES ET DE L'EVALUATION ENVIRONNEMENTALE (2008) –*Déplacements touristiques des Français : hyper concentration des comportements les plus émetteurs de gaz à effet de serre.*, 2008 Consultable à http://temis.documentation.equipement.gouv.fr/documents/Temis/0068/Temis-0068535/LE_HS11_02_2008.pdf.

DIRECTION GÉNÉRALE DE LA COMPÉTITIVITÉ, DE L'INDUSTRIE ET DES SERVICES (2012) – Bilan du tourisme en 2011, Consultable à http://www.tourisme.gouv.fr/stat_etudes/bilans/2011/bilan-ete-2011.pdf.

DIRECTION GÉNÉRALE DE L'AVIATION CIVILE (2010) – Les émissions gazeuses en France liées au trafic aérien en 2009. Chiffres clefs. Décomposition par aéroport, Consultable à www.developpement-durable.gouv.fr/ IMG/ pdf/ Emissionsn_gazeuses_Document_finalV1-1.pdf.

DIRECTION GÉNÉRALE DE L'AVIATION CIVILE (2007) –*L'utilisation du transport aérien. Enquête sur le taux de pénétration du transport aérien en France.*, 2007 Consultable à http://www.-developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/enquete_07_07.pdf.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (2011) –*SC Opinion on Greenhouse Gas Accounting in Relation to Bioenergy*, European Environment Agency, 2011 Consultable à http://www.eea.europa.eu/about-us/governance/scientific-committee/sc-opinions/opinions-on-scientific-issues/sc-opinion-on-greenhouse-gas/view [Accédé le 7 octobre 2012].

EXPLICIT (2009) – Etude régionale sur l'énergie et l'effet de serre - Pays de la Loire, Consultable à http://paysdelaloire.ademe.fr/sites/default/files/files/ADEME%20en%20Pays%20de%20la%20Loire/Domaines%20d%27intervention/Changement%20climatique/T%C3%A9l%C3%A9chargements/Rapport_Bilan_PDL.pdf.

GIEC (1999) –*Aviation and the Global Atmosphere*, Cambridge University Press, UK, 1999, 373 p. Consultable à http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/french/vol2.html.

INSEE PAYS DE LA LOIRE (2010a) –*Les transports et déplacements des habitants des Pays de la Loire*, 2010 Consultable à http://www.insee.fr/fr/themes/document.asp?reg_id=3&ref_id=16065 [Accédé le 7 octobre 2012].

INSEE PAYS DE LA LOIRE (2010b) – Les transports et déplacements des habitants des Pays de la Loire, Consultable à http://www.insee.fr/fr/themes/document.asp?reg_id=3&ref_id=16065 [Accédé le 10 janvier 2013].

MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE (2009) – Etude de l'efficacité energétique et environnementale du transport maritime, Consultable à http://www.developpement-durable.gouv.fr/Etude-de-l-efficacite-energetique.html [Accédé le 17 janvier 2013].

MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE (2010) – Etude énergétique et environnementale du passage portuaire, Consultable à http://www.developpement-durable.gouv.fr/ETUDE-ENERGETIQUE-ET,20686.html [Accédé le 17 janvier 2013].

ONERA (2011) – Transport aérien 2050 - Des recherches pour préparer l'avenir, Consultable à http://www.onera.fr/dpra/ats2050/index.php [Accédé le 4 septembre 2012].

PROJET D'AÉROPORT DU GRAND OUEST - NOTRE DAME DES LANDES (2006) – PIECE F Evaluation socio- économique et financière, *in Dossier d'enquête préalable à la déclaration d'utilité publique*, Ministère des transports,.

TRANSPORTATION RESEARCH BOARD (2009) –*Guidebook on Preparing Airport Greenhouse Gas Emissions Inventories*, 2009 Consultable à http://144.171.11.107/Main/Public/Blurbs/160829.aspx [Accédé le 30 août 2012].

Conseil général des ponts et chaussées. 2006. Démarche prospective transports 2050. Eléments de réflexion. CGPC les rapports. http://www.ladocumentationfrancaise.fr/rapports-publics/064000342/index.shtml.

Direction des Etudes Economiques et de l'Evaluation Environnementale. 2008. Déplacements touristiques des Français : hyper concentration des comportements les plus émetteurs de gaz à effet de serre. Evaluation : la Lettre de la Direction des Etudes Economiques et de l'Evaluation Environnementale.
http://temis.documentation.equipement.gouv.fr/documents/Temis/0068/Temis-0068535/LE_HS11_02_2008.pdf.

Direction Générale de la compétitivité, de l'Industrie et des Services. 2012, July. Bilan du tourisme en 2011. http://www.tourisme.gouv.fr/stat_etudes/bilans/2011/bilan-ete-2011.pdf.

Direction Générale de l'Aviation Civile. 2007. L'utilisation du transport aérien. Enquête sur le taux de pénétration du transport aérien en France. Etudes et Enquêtes. http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/enquete_07_07.pdf.

Direction Générale de l'Aviation Civile. 2010. Les émissions gazeuses en France liées au trafic aérien en 2009. Chiffres clefs. Décomposition par aéroport. www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/ pdf/ Emissionsn_gazeuses_Document_finalV1-1.pdf.

Explicit. 2009. Etude régionale sur l'énergie et l'effet de serre - Pays de la Loire. Préfecture, Région et Ademe des Pays de la Loire. http://paysdelaloire.ademe.fr/sites/default/files/files/ADEME%20en%20Pays%20de%20la%20Loire/Domaines%20d%27intervention/Changement%20climatique/T%C3%A9l%C3%A9chargements/Rapport_Bilan_PDL.pdf.

GIEC. 1999. Aviation and the Global Atmosphere. *In* Cambridge University Press, UK. *Edité par* J.E. Penner, D.H. Lister, D.J. Griggs, D.J. Dokken, and M. McFarland. from http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/french/vol2.html.

ONERA. 2011, May. Transport aérien 2050 - Des recherches pour préparer l'avenir. ONERA. http://www.onera.fr/dpra/ats2050/index.php [accessed 4 September 2012].

Projet d'aéroport du grand Ouest - Notre Dame des Landes. 2006. PIECE F Evaluation socio- économique et financière. *In* Dossier d'enquête préalable à la déclaration d'utilité publique. Ministère des transports.

Transportation Research Board. 2009. Guidebook on Preparing Airport Greenhouse Gas Emissions Inventories. Airport Cooperative Research Program Report. http://144.171.11.107/Main/Public/Blurbs/160829.aspx.

### 5.7.1. Pour aller plus loin : bibliographie thématique

**Documents généraux sur les transports et les déplacements**

Etude nationale, enquête et déplacement, la mobilité des français 2008
http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/La_mobilite_des_Francais_ENTD_2008_revue_cle7b7471.pdf

Réseau Action Climat France (RAC-F) transport et changements climatiques
http://www.rac-f.org/DocuFixes/etudes/etude_transport_racf.pdf

Chaque Français émet en moyenne deux tonnes de CO2 par an pour effectuer ses déplacements,
http://www.certu.fr/fr/IMG/pdf/RevueCGDD-ENTD-article_CO213_12_10.pdf

site Ademe avec page sur transport
http://www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow?sort=-1&cid=96&m=3&catid=12618

Étude Rhone Alpes Énergie,
http://www.ddrhonealpesraee.org/doc/ddrhonealpes/AT_RessNat_RAEE_energie_deplacments.pdf

**Scénarios et propositions**

L'analyse du livre blanc des transports de la commission européenne dans le contexte français (RAC-F)
http://www.fnaut.asso.fr/images/docs/dossiers/db11anlbtrans.pdf

Scénarios de forte réduction des émissions de gaz à effet de serre dans les transports et les bâtiments à l'horizon 2050
http://temis.documentation.equipement.gouv.fr/documents/temis/NS/NS_170_1.pdf

CERTU, mobilités et transport, le point sur, fiche 17 , réduction des émissions de gaz à effet de serre : viser juste
http://www.certu.fr/fr/_Mobilit%C3%A9_et_d%C3%A9placements-n25/Les_fiches_Mobilite_et_Transports-a2103-s_article_theme.html

Certu, Plan transport, urbanisme, gaz à effet de serre, Rapport de synthèse du GT2 "déplacements courtes distances"
http://www.certu-catalogue.fr/plan-transport-urbanisme-gaz-a-effet-de-serre.html

Centre d'analyse stratégique, Pour une nouvelle approche des mobilités dans les territoires périurbains et ruraux (Note de synthèse 262 - Février 2012)
http://www.strategie.gouv.fr/content/pour-une-nouvelle-approche-des-mobilites-dans-les-territoires-periurbains-et-ruraux-note-de-

**Étalement urbain, densification**

Etalement urbain en Pays de la Loire
http://www.insee.fr/fr/insee_regions/pays-de-la-loire/themes/dossiers/dossier38/dossier38.pdf

Réseau Action Climat France (RAC-F) - Étalement urbain et changements climatiques : état des lieux et propositions
http://www.rac-f.org/IMG/pdf/Etalement%20urbain%20et%20changements%20climatiquespdf.pdf

**Vélo, mode « doux » et ferroviaires**

Fubicy, "Vélo : des clés pour réussir la transition"
http://www.fubicy.org/IMG/pdf/velo_-_des_clefs_pour_reussir_la_transition.pdf

Etude de Fédération Européenne des Cyclistes (ECF).
http://carfree.free.fr/index.php/2011/12/14/comment-reduire-les-emissions-de-gaz-a-effet-de-serre-pour-les-nuls-tout-simplement-en-faisant-plus-souvent-du-velo/

Valoriser l'étoile ferroviaire de Nantes, propositions de la FNAUT
http://www.nantes-citoyennete.com/X_FICHIERSPDF/090831contrib_Lugadet.pdf

**Transport des marchandises**

site Ademe, page sur les transports routiers
http://www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow?sort=-1&cid=96&m=3&catid=22274

fiche action Ademe, les transporteurs s'engagent
http://www2.ademe.fr/servlet/getBin?name=B32ABC57001592E95B7DCE1FF17D8132_tomcatlocal1304588148211.pdf

relancer le fret non routier
http://www.environnement-france.fr/0917-fret-ferroviaire-grenelle-environnement

**Transport aérien**

Déplacement en avion : Déplacements touristiques des Français : hyper concentration des comportements les plus émetteurs de gaz à effet de serre.
http://www.tourismeetcarbone.fr/documents/TC-Deplacements.touristiques.des.francais.2008.pdf

L'avion : des voyages toujours plus nombreux et plus lointains, CGDD, la revue decembre 2010
http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/fileadmin/documents/_shared/pdf/8_RevueCGDD-ENTD-article_8_aerien_08_12_10_cle72bd5f.pdf

Forçage radiatif et communication des acteurs de l'aérien
http://mem-envi.ulb.ac.be/Memoires_en_pdf/MFE_09_10/MFE_Lepoutre_09_10.pdf

# 6. AGRICULTURE ET FORÊT

## 6.1. Résumé

L'agriculture et la forêt sont des secteurs d'activité singuliers, lorsqu'on les envisage sous l'angle énergétique et climatique, car ils produisent et séquestrent à la fois des gaz à effet de serre, tout en produisant de l'énergie (bois énergie, biogaz et agro-carburants). L'agriculture est le premier secteur émetteur de gaz à effet de serre en France et dans les Pays de la Loire, du fait des importantes émissions agricoles de protoxyde d'azote des cultures, et de méthane de l'élevage. L'agriculture conventionnelle est de plus très dépendante des énergies fossiles pour la fabrication des intrants énergivores (engrais, pesticides, aliments pour le bétail...) sur lesquels repose sa production.

Le volet agricole et forestier du scénario Virage Énergie-Climat s'attache à proposer pour les Pays de la Loire un nouveau système agro-sylvicole moins consommateur d'énergie et moins émetteur de gaz à effet de serre. Il est basé sur le scénario systémique « Afterres2050 », qui propose un système agro-sylvicole fonctionnel et durable pour la France en 2050.

Basé sur une transition alimentaire visant à inverser le rapport entre protéines animales et végétales dans notre alimentation, ainsi qu'à limiter les gaspillages, Afterres2050 vise avant tout à nourrir notre territoire et quelques voisins, tout en fournissant de l'énergie et des matériaux issus de l'agriculture et de la forêt à l'ensemble de la région. Afterres2050 propose un système de culture 45 % agrobiologique, 45% intégré et 10 % raisonné, basé sur la diversification des cultures dans le temps (allongement des rotations et cultures intermédiaires) et dans l'espace (cultures associées, agro-foresterie), permettant ainsi de renforcer la résistance des parcelles aux chocs climatiques en maintenant un couvert végétal permanent, de valoriser la fertilisation naturelle par les légumineuses, et de générer des productions multiples (alimentaires, énergétiques, matériaux,etc.) dans chaque parcelle. La diminution de la consommation de viande permet d'extensifier les élevages et de réduire la taille des cheptels, tout en exploitant les aliments produits localement (élevage bovin à l'herbe, etc.). La généralisation de la méthanisation permet de plus de valoriser énergétiquement les déjections du bétail, les déchets verts et les résidus de récolte, tout en conservant leur pouvoir fertilisant. Cette production de biogaz s'ajoute à l'important potentiel régional de bois énergie issu de la forêt et des bocages. L'équivalent de 20 % des terres agricoles est alloué à de nouveaux usages afin d'assurer l'autonomie alimentaire de la région, fournir des éco-matériaux, et développer de nouvelles formes d'agro-pastoralisme associant élevage extensif et production d'énergie à partir des fauches de prairies méthanisées.

L'application du scénario Afterres2050 dans les Pays de la Loire génère ainsi des bénéfices multiples : réduction de moitié des émissions de GES agricoles de la région, diminution de la consommation d'énergie de 40 %, 40 % d'engrais chimiques en moins, division par 3 de l'application des pesticides, restauration de la fertilité naturelle des sols et de la biodiversité, ralentissement de l'artificialisation des terres agricoles. Cette transition alimentaire, agricole et énergétique permet d'envisager une région durable, dont les activités seraient largement alimentées par d'importants flux de biomasse agricole et forestière.

## 6.2. Introduction

L'agriculture et la forêt sont des secteurs vitaux pour assurer la durabilité de nos sociétés. L'agriculture fournit l'essentiel de notre alimentation, modèle les paysages, « gère » la biodiversité rurale et les ressources en eau. Elle peut enfin produire de l'énergie et des matériaux. Les forêts sont des îlots de biodiversité dans les monocultures et produisent de la biomasse, valorisable sous forme de matériaux et d'énergie. Ces deux secteurs séquestrent enfin des gaz à effet de serre (GES), dans la biomasse forestière et agricole, mais également et surtout dans les écosystèmes des sols.

L'agriculture et la forêt sont des secteurs d'activité singuliers, lorsqu'on les envisage sous l'angle énergétique et climatique. L'agriculture et la forêt sont en effet les seuls secteurs qui produisent et séquestrent à la fois des gaz à effet de serre, tout en produisant de l'énergie (bois énergie, biogaz et agro-carburants).
Ce sont également des secteurs de production primaire, caractérisés par des niveaux d'investissement extrêmement élevés par rapport aux autres activités, ce qui induit une grande inertie dans leurs évolutions.

L'agriculture française est enfin un secteur hautement subventionné par la Politique Agricole Commune (PAC) européenne. Composé à 50 % de subventions, le revenu net de la ferme France 2012 (16,1 milliards d'euros) n'est pas suffisant pour assurer un revenu à la fois décent et équitable à l'ensemble des agriculteurs[69]. Les paysans (conventionnels) sont largement dépendants de subventions pour dégager un revenu. Infléchir la trajectoire des activités agricoles implique donc d'agir bien sûr localement, mais en prenant en compte les très fortes contraintes globales de la PAC. Le possible transfert de la gestion d'une partie des subventions PAC au niveau régional pourrait permettre de dégager de nouvelles marges de manœuvre locales.

Nous allons d'abord présenter dans ce chapitre les spécificités de l'agriculture des Pays de la Loire. Nous introduirons ensuite les problématiques énergétiques et climatiques spécifiques des secteurs de l'agriculture et de la forêt. Puis, nous détaillerons les solutions que nous proposons pour répondre aux enjeux énergétiques et climatiques, et plus globalement pour assurer la durabilité, de l'agriculture des Pays de la Loire. Ces solutions sont basées sur le scénario Afterres2050[70] pour une agriculture française durable, porté par l'association Solagro. Nous nous inspirons également des variations autour du scénario Afterres2050, proposées par l'Ademe[71].

69 http://www.terre-net.fr/actualite-agricole/economie-social/article/ce-que-cachent-les-chiffres-202-86200.html
70 http://www.solagro.org/site/393.html
71 http://www.ademe-et-vous.ademe.fr/strategieetudes-n-36-1-mars-2013

## 6.3. Contexte de l'agriculture et de la forêt des Pays de la Loire

### 6.3.1. L'agriculture des Pays de la Loire

#### *6.3.1.1. Utilisation des terres*

En 2010, près de 70 % du territoire régional et seulement 51 % du territoire national sont occupés par l'agriculture (Figure 22) :

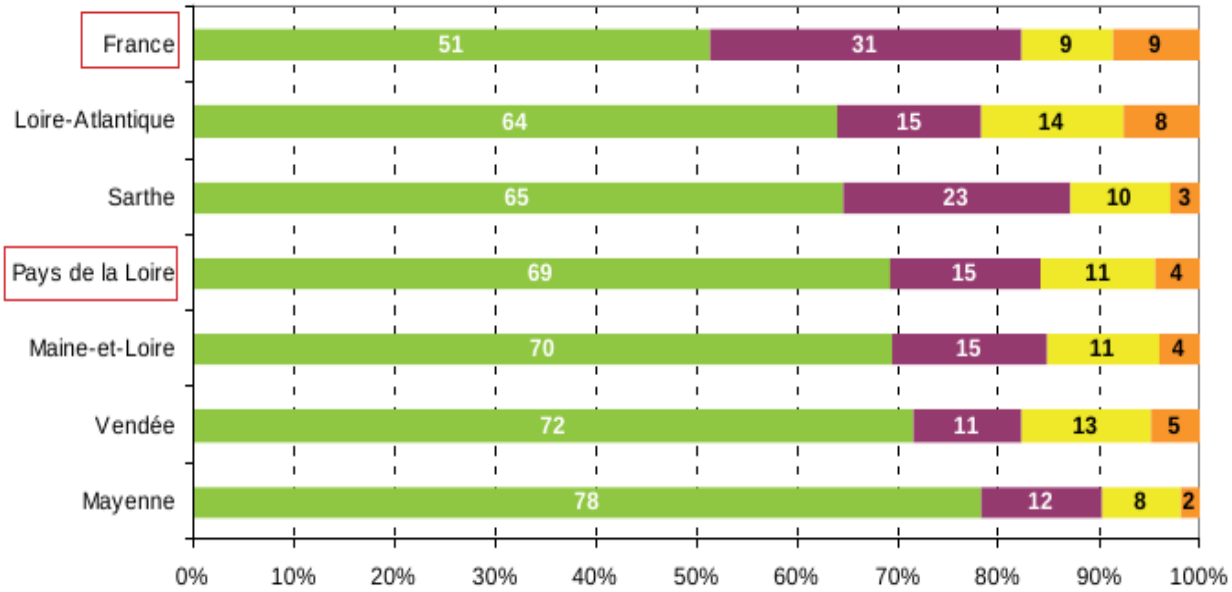



*Figure 22. Part en 2010 des principales occupations des territoires en % de la surface totale du territoire concerné. Source : Agreste Pays de la Loire, 2011.*

Cette forte présence de l'agriculture au sein du territoire des Pays de la Loire s'explique par la surface restreinte des espaces naturels et boisés (moins de 20 % du territoire régional) et la topographie peu contraignante de la région.

Les terres agricoles de la région se composent d'environ 70 % de sols cultivés (terres arables, vigne, arboriculture,…) et de 30 % de surfaces toujours en herbe (STH).

Les cinq départements de la région présentent toutefois des spécificités. La part des sols occupés par l'agriculture est supérieure à la moyenne régionale en Mayenne (78 %) et en Vendée 72 %). Dans la Sarthe, la place plus restreinte de l'agriculture (65 %) s'explique par une plus forte proportion de sols occupés par des espaces boisés et naturels (22 %). Le département de la Loire-Atlantique apparaît relativement riche en zones humides (Agreste Pays de la Loire, 2011)
Les terres agricoles (cultures + prairies) ont été réduites d'environ 100 000 ha (3% de la superficie totale de la région) de 1989 à 2006. Cette réduction est essentiellement due à l'extension des terres urbanisées, qui ont parallèlement progressé de 2%. Ce taux d'artificialisation des terres agricoles est le plus élevé de France et équivaut à la construction d'une agglomération de la taille de Nantes (6 500 ha) par an dans la région.

### 6.3.2. Productions

Les Pays de la Loire sont la 2ème région agricole de France en termes de production, avec 51 % de la production de viande, 19 % de la production de lait et 20% du travail des grains. Les Pays de la Loire sont d'abord une région d'élevage de bovins, de porcs et de volailles. L'horticulture, la viticulture et l'arboriculture y occupent également une place importante (Wikipedia) (figure ci-dessous).

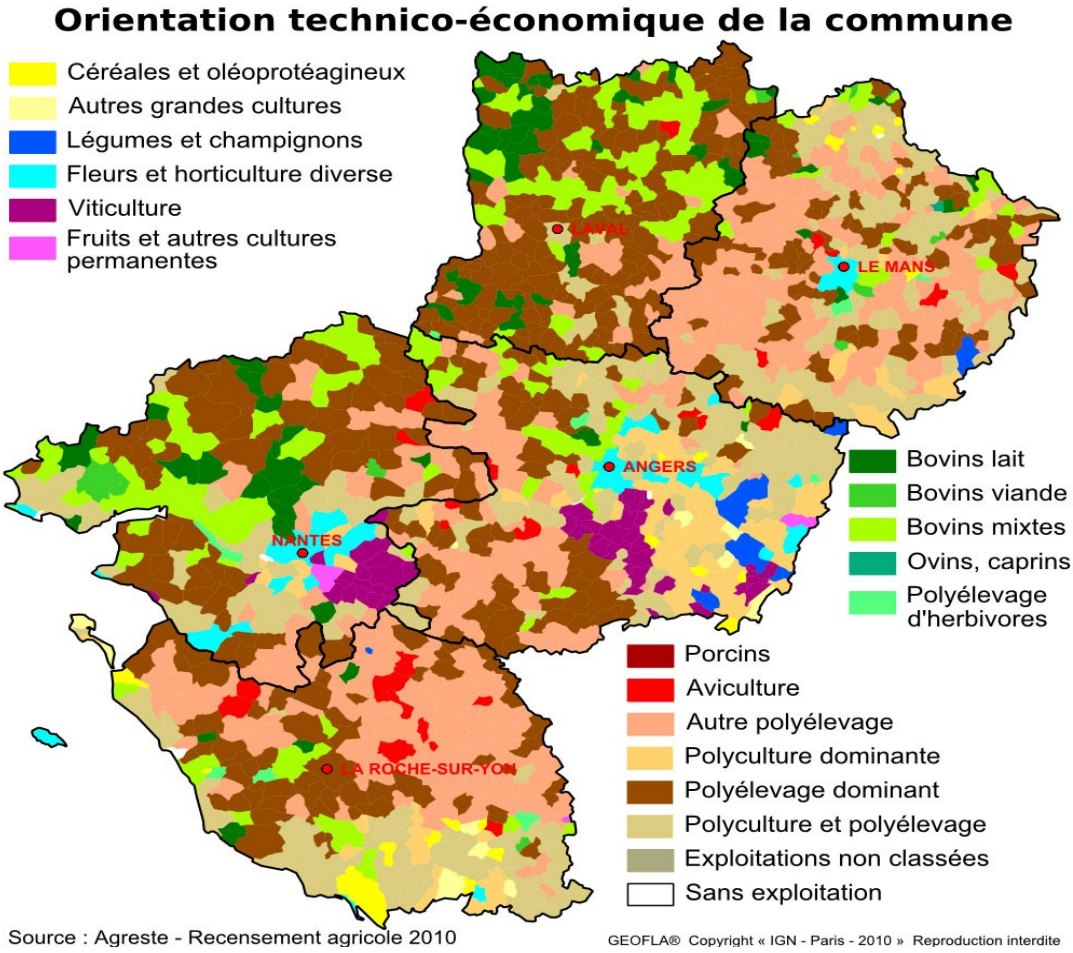



*Figure 23. Répartition géographique des activités agricoles en Pays de la Loire . Source : Agreste.*

Les productions animales constituent une part importante de l'activité agricole ligérienne. Les Pays de la Loire sont en effet la première région française pour la production de viande bovine et de viande de lapin, la seconde en viande porcine, en volaille de chair et en lait de vache (Chambres d'agriculture Pays de la Loire, 2011).

Les effectifs des cheptels diminuent cependant depuis une quinzaine d'années (à l'exception du cheptel porcin). La stabilisation, voire la régression de la consommation individuelle de produits carnés sont un premier facteur d'explication de cette tendance (Chambres d'agriculture Pays de la Loire 2011).

Aux côtés des céréales et des oléo protéagineux, la région dispose d'une grande variété de cultures : un vignoble avec une forte proportion d'Appellations d'Origine Contrôlée (73 %), un important verger de pommes de table, une production horticole diversifiée (fleurs coupées, plantes en pots, pépinières), ainsi qu'une grande tradition semencière.
La région est le premier producteur de champignons, de poireaux, de mâche, de radis, de concombre, de muguet et de plantes médicinales, et le deuxième producteur français de pommes de table (Chambres d'agriculture Pays de la Loire 2011).
Les surfaces dévolues aux productions végétales ont diminué assez sensiblement au début des années 90, du fait de la réduction des surfaces dévolues à l'alimentation locale du bétail (prairies permanentes et fourrages annuels)
Les productions végétales ont fluctué depuis 1989, avec une prédominance des céréales et des prairies, une division par deux des productions de pommes de terre (cf. annexes disponibles sur notre site[72]) et le maintien d'une production d'oléagineux (tournesol et colza).

Les Pays de la Loire sont la principale région agricole française pour les productions de qualité, avec près de 9 000 agriculteurs et 500 entreprises agroalimentaires concernés par :

- 138 labels rouge représentant 1/3 du chiffre d'affaires national de ce label ;
- 39 appellations d'origine contrôlée (AOC) et 2 appellations d'origine protégée (AOP) ;
- 12 indications géographiques protégées (IGP), dont 6 en volailles, ce qui classe la région dans le trio de tête des régions européennes détenant ce signe de qualité.

L'agriculture biologique occupe 92 800 ha, soit 4,4 % de la SAU des Pays de la Loire fin 2010, et concerne près de 1 700 exploitations. La surface cultivée en agro-biologie a été multipliée par 9 depuis 1995. La région arrive en première position pour les effectifs de bovins (viande et lait), les truies reproductrices et les poulets élevés en mode de production biologique (Chambres d'agriculture Pays de la Loire 2011).

### 6.3.3. La forêt en Pays de la Loire

Les Pays de la Loire sont parmi les régions françaises avec la plus faible surface de forêt : les « espaces boisés » des Pays de la Loire représentent seulement 15 % de la superficie de la région (source : Terruti, Agreste[73]).

La forêt des Pays de la Loire est écologiquement stable, composée d'une bonne diversité d'essences et en bon état sanitaire (Direction Régionale de l'Agriculture et de la Forêt Pays de la Loire, 2000). Les essences de type « feuillus » dominent et les formations de type bocager (haies, bosquets) représentent près de 30 % de ces espaces.

72 http://www.virageenergieclimatpdl.org/?q=annexes-chapitre-agriculture-et-for%C3%AAt

73 http://agreste.agriculture.gouv.fr/page-d-accueil/article/donnees-en-ligne, Rubrique « Territoire - population »

La région produit en moyenne 1,4 millions de m3 de bois chaque année (Agreste, Atlanbois, 2012[74]), dont des bois de qualité réputée (chênes, peupliers), en profitant de conditions d'exploitation faciles, du fait de la nature peu accidentée du territoire. Environ 30 % de la production est utilisée en bois d'œuvre, contre environ 60 % en bois énergie et 10 % en bois industriel (Agreste, Atlanbois, 2012).

Malgré un manteau boisé réduit, la région des Pays de la Loire a développé une puissante activité de transformation et de commerce de bois, structurée autour de l'association Atlanbois. Elle se situe ainsi en tête des régions françaises dans l'ameublement et en deuxième position dans le travail du bois derrière l'Aquitaine (Insee Pays de la Loire, 2008).

La faible surface boisée, le morcellement des propriétés privées et la faible part de forêts publiques sont les contraintes identifiées pour le développement de la filière (Direction Régionale de l'Agriculture et de la Forêt Pays de la Loire, 2000).

### 6.3.4. Les enjeux énergétiques et climatiques de l'agriculture et de la forêt

En 2005, le secteur agricole a émis directement 12% des émissions humaines mondiales de gaz à effet de serre (Smith et al., 2007) Ces émissions agricoles de GES ont globalement augmenté de 17% entre 1990 et 2005, avec une diminution de 12% dans les pays du Nord et une augmentation de 32% dans les pays du Sud. Les pays du Sud étaient responsables de 74% des émissions de GES agricoles en 2005.

Bien que peu consommateur d'énergie (moins de 3 % de l'énergie finale), la production agricole est, en France, le premier secteur émetteur de GES : elle émet directement environ 21% des émissions totales[75] (Naizot et Grégoire, 2006). Les émissions de GES agricoles françaises sont composées de 47% de protoxyde d'azote (N2O), de 44% de méthane (CH4) et de 9% de dioxyde de carbone (CO2) (CITEPA, 2012).

74 http://www.atlanbois.com/telecharger/165
75 http://www2.ademe.fr/servlet/getBin?name=EED90810CEBB862F47CD7F37BFE22D0B1168614931540.pdf

- ➔ Le dioxyde de carbone ($CO_2$) émis par les activités agricoles provient essentiellement de la combustion d'hydrocarbures pour fournir de l'énergie sur les exploitations agricoles (INRA 2010).
- ➔ Le protoxyde d'azote ($N_2O$) est produit par des bactéries qui transforment des produits azotés (engrais, résidus de récolte, fumier, lisier) dans les sols (INRA, 2010). Le $N_2O$ est un gaz qui produit 310 fois plus d'effet de serre qu'une quantité égale de $CO_2$. Il s'agit d'un GES très puissant qui a à peu près la même durée de vie que le $CO_2$ dans l'atmosphère (environ un siècle).
- ➔ Le méthane ($CH_4$) est produit lors de la décomposition des déjections animales et par les éructations des ruminants au cours de la digestion (une vache peut produire 1000 L de méthane par jour) (INRA 2010). Le $CH_4$ a une durée de vie plus courte que le $CO_2$ dans l'atmosphère : environ 20 ans, mais il produit pendant cette période 200 fois plus d'effet de serre qu'une quantité égale de $CO_2$.

A ces 21% d'émissions agricoles directes s'ajoutent les émissions indirectes de GES, dues à la production et au transport des intrants agricoles : engrais, pesticides, aliments du bétail, matériel et bâtiments, etc. La production et le transport des intrants représentent en moyenne 50% de l'énergie totale consommée par les exploitations agricoles en France (AGRESTE, 2009). Le volume de productions agricoles a cru à consommation d'énergie directe constante de 1973 à 2007, mais la consommation d'engrais a augmenté de 35% et celle de tourteaux importés a été multipliée par trois (AGRESTE 2009).

La France (métropole + DOM-TOM) a ainsi émis 496 millions de tonnes équivalent CO2 (teqCO 2) en 2010 (en tenant compte des 33 MteqCO2 fixés par les « puits de carbone » que constituent les sols agricoles et les forêts). Le dioxyde de carbone ($CO_2$) de l'air est en effet capté et utilisé par les organismes photosynthétiques vivant dans et au-dessus des sols pour produire de la biomasse. Le $CO_2$ ainsi stocké sera relargué dans l'atmosphère à plus ou moins long terme, en fonction de la durée de vie du végétal qui l'a stocké. La contribution des écosystèmes des sols au stockage de $CO_2$ est loin d'être négligeable, puisque le sol d'un prairie contient presque autant de $CO_2$ qu'une forêt tempérée[76]. Les écosystèmes des sols sont cependant détruits par l'application d'engrais ou pesticides chimiques. Les sols cultivés en agriculture conventionnelle ne stockent donc pas de de $CO_2$, mais ont plutôt tendance à en relarguer lorsqu'ils sont labourés.

Avec plus de 170 MteqCO2, l'agriculture et l'alimentation - de la parcelle au traitement des déchets alimentaires - sont responsables globalement de plus de 30% de ces émissions (Naizot & Grégoire 2006 ; Jancovici 2010).

L'agriculture émet 86 MteqCO2, et 108 si l'on inclut les émissions indirectes liées à la fabrication des engrais azotés, des produits phytosanitaires et à l'importation des aliments pour le bétail. Elle est responsable de 80 % des émissions de méthane et de protoxyde d'azote.

76 http://www.manicore.com/documentation/serre/forets.html

La forêt française fournit aujourd'hui 110 TWh d'énergie, essentiellement sous forme de bois bûche. Elle joue également un rôle de « puits à carbone » en stockant du dioxyde de carbone de l'air sous forme de biomasse (en moyenne 50 Mt eqCO2 de 2005 à 2009) (CITEPA 2012). Le puits de carbone de la forêt pourrait cependant se combler rapidement dans la prochaine décennie (INRA, 2008).

## 6.4. Le scénario Virage Énergie-Climat pour l'agriculture et la forêt des Pays de la Loire

### 6.4.1. Une réponse systémique aux enjeux énergétiques et climatiques de l'agriculture et de la forêt des Pays de la Loire : Afterres2050

De par son triple rôle de production d'énergie et de production et de stockage de GES, l'agriculture et la forêt sont des secteurs clefs de la transition énergétique et climatique.

Cependant, contrairement aux autres secteurs d'activités, les actions d'économie d'énergie et d'émissions de GES préconisées pour l'agriculture et la forêt pourraient, si elles étaient mal dosées, nuire au fonctionnement global des complexes systèmes agricoles et sylvicoles.
Isoler une maison ne l'empêche en effet pas de remplir son rôle d'abri, tout comme opter pour le train plutôt que l'avion n'empêche pas le déplacement. En agriculture, faire varier les effectifs des cheptels, les techniques culturales ou les intrants agricoles, afin de répondre à des objectifs purement énergétiques ou climatiques peut, à l'inverse, empêcher le système agricole de remplir sa fonction principale. L'agriculture peut ainsi ne plus fournir suffisamment de nourriture, du fait par exemple, de manques de fertilisation azotée ou d'aliments pour le bétail, causés par des modifications non raisonnées de la structure du système.
Proposer des solutions aux enjeux énergétiques et climatiques de l'agriculture et de la forêt des Pays de la Loire impose donc, au delà de préconisations techniques spécifiques, de proposer globalement de nouveaux systèmes agricoles et sylvicoles fonctionnels et durables.

Afin de satisfaire à cette nécessaire approche systémique de l'agriculture et de la forêt, nous avons collaboré avec l'association Solagro, qui propose un scénario de transition alimentaire, agricole et énergétique : Afterres2050[77].

77 http://www.solagro.org/site/393.html

### 6.4.2. Méthode de scénarisation

#### *6.4.2.1. L'approche Afterres2050*

##### 6.4.2.1.1. Les principes d'Afterres

Afterres2050 est un scénario de « transition » du système alimentaire français fixant des objectifs de durabilité en matière de nutrition, de santé, d'empreinte écologique du système alimentaire. Ce scénario, qui se veut « désirable, crédible, et compréhensible » a été présenté pour la première fois en mai 2011 par le bureau d'études associatif Solagro, spécialisé dans les questions agricoles et énergétiques.
Il est articulé au scénario négaWatt, scénario de transition énergétique, dont il fournit 45 % de l'énergie et des matériaux de construction. Ces deux approches reposent sur les principes de la sobriété (maîtrise de la demande), d'efficacité des systèmes, et de substitution des ressources non renouvelables par des ressources renouvelables.

Afterres propose de raisonner d'abord sur les besoins, avant d'envisager les moyens de production. Il est donc basé sur une évaluation de nos modes d'alimentation, mais également de nos futurs besoins en énergie et matériaux.
Comme négaWatt, Afterres est basé sur des techniques éprouvées et propose une vision « sans regret » de l'avenir, fondée sur la prise en compte des contraintes physiques de moyen terme, qui l'emporteront fatalement sur les contraintes économiques de court terme.
Afterres anticipe la raréfaction des hydrocarbures (fournissant actuellement l'essentiel de notre énergie et de nos matériaux) et propose de remplacer le carbone d'origine fossile qui propulse nos sociétés par du carbone organique renouvelable, issu de la biomasse agricole et forestière.
Cette « révolution organique » permettrait de sortir de notre dépendance aux énergies fossiles et de limiter la crise climatique, tout en disposant de sources d'énergie et de matières premières (matériaux de construction, molécules, etc.) éternelles, à condition de bien gérer les flux de biomasse.

##### 6.4.2.1.2. Les enjeux d'Afterres

Cette approche systémique repose sur une diversification des productions agricoles, qui seule permet de répondre aux différents enjeux posés par Afterres :

- nourrir la France et, en partie, quelques voisins européens et maghrébins ;
- répondre avec de la biomasse agricole et forestière à 6 besoins différents (les 6 « F », figure ci-dessous) ;
- lutter contre l'artificialisation des terres agricoles ;
- reconquérir la qualité de nos ressources en eau ;
- préserver la biodiversité et restaurer les écosystèmes ;
- faire du maintien de la fertilité des sols le pivot de la durabilité des systèmes agricoles ;
- lutter contre le changement climatique ;
- adapter les agrosystèmes et la forêt aux changements climatiques ;
- faire vivre une agriculture et des territoires ruraux dynamiques, en stoppant la destruction des emplois agricoles et en préservant la santé des paysans.

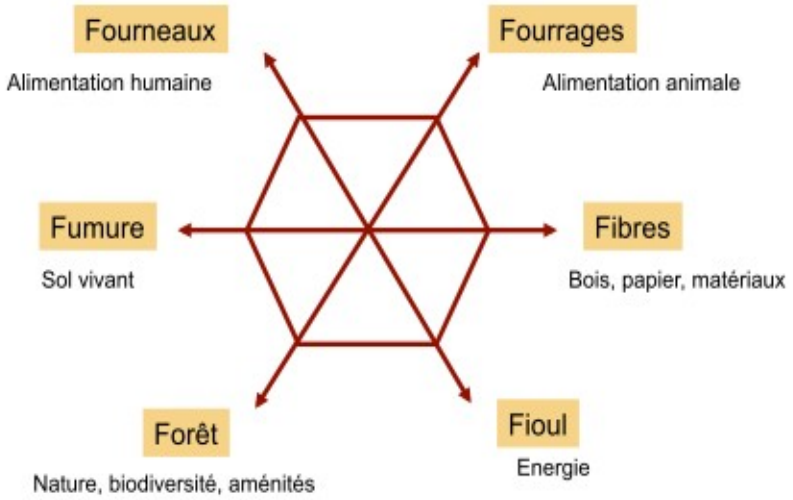



*Figure 24. Les "6 F" : 6 usages de la biomasse envisagés dans Afterres. Source Afterres2050.*

#### 6.4.2.1.3. Méthode de scénarisation d'Afterres2050 pour la France

Le scénario Afterres2050 est basé sur le Modèle Systémique d'Utilisation des Terres (MoSUT), qui comporte les étapes suivantes :

- **Étape 1 :** définition des besoins pour l'alimentation humaine ;
- **Étape 2** : établissement d'un bilan d'approvisionnement par denrée agricole ;
- **Étape 3** : définition et évolution dans le temps des systèmes agricoles et des rendements pour 23 types de cultures ;
- **Étape 4** : définition et évolution dans le temps des systèmes d'élevage et de leurs paramètres pour 6 types de cheptel ;
- **Étape 5** : calcul des surfaces agricoles nécessaires ;
- **Étape 6** : définition de scénarios d'utilisation des terres (tendanciel et Afterres2050) ;
- **Étape 7** : estimation de l'impact environnemental et climatique des scénarios : bilan azoté, besoins en eau, nombre de traitements phytosanitaires, émission et stockage de GES, bilan énergétique.

### *6.4.2.2. Transposition d'Afterres à la région Pays de la Loire*

Afterres2050 a été établi pour la France métropolitaine. La régionalisation proposée ici pour la région Pays de Loire consiste en une simple transposition par « homothétie », qui permet de disposer d'une vision générale de cadrage et d'identifier les principales questions que pose le passage d'un scénario national à un scénario régional.
L'homothétie consiste à appliquer au niveau régional les évolutions suivies au niveau national par les assolements et les cheptels. Par exemple, les surfaces en blé tendre augmentent de 16% au niveau national, les surfaces en blé tendre en Pays de Loire augmentent donc de 16%.

La méthode de scénarisation dans le cas de cette transposition aux Pays de la Loire comporte les étapes suivantes :

- **Étape 1 :** définition des besoins pour l'alimentation humaine des Pays de la Loire, sur la base des prévisions démographiques de l'Insee ;
- **Étape 2** : transposition par homothétie (produit en croix) des modes d'élevage et de l'évolution du cheptel national aux Pays de la Loire. L'hypothèse centrale est ici que le cheptel des Pays de la Loire suivra, en proportion, l'évolution du cheptel français proposée par le scénario Afterres2050 de 2010 à 2050. Les productions et besoins en alimentation animale sont ensuite calculés à partir des effectifs du cheptel et des rendements et besoins alimentaires moyens estimés dans le scénario national ;
- **Étape 3** : transposition en Pays de la Loire par homothétie de l'évolution de l'occupation des sols 2050 du scénario national. L'hypothèse centrale est ici que le l'occupation des sols agricoles et non-agricoles des Pays de la Loire suivra, en proportion, la même évolution que celle proposée par le scénario Afterres2050 de 2010 à 2050. . Les productions végétales sont ensuite calculées à partir des surfaces et des rendements moyens estimés dans le scénario national ;
- **Étape 4** : établissement d'un bilan d'approvisionnement par denrée agricole ;
- **Étape 5** : estimation de l'impact environnemental et climatique régional à partir des chiffres régionalisés : bilan azoté, besoins en eau, nombre de traitements phytosanitaires, émission et stockage de GES, bilan énergétique.

La situation présente est décrite à partir de la statistique agricole. Elle n'a pas été corrigée de données régionales et ne tient pas compte des pratiques agricoles spécifiques aux Pays de Loire. Certaines valeurs peuvent donc différer sensiblement des statistiques régionales.

La transposition d'Afterres aux Pays de la Loire a été dénommée : « AfterresPdL ».

#### *6.4.2.3. Méthode d'inventaire pluriannuel des émissions de GES agricoles des Pays de la Loire*

L'association Virage Énergie-Climat Pays de la Loire a développé indépendamment d'Afterres un outil pour réaliser des inventaires pluri-annuels des émissions de GES agricoles en Pays de la Loire, à partir de statistiques agricoles, ou des sorties d'Afterres. La méthode et les résultats sont détaillés dans les annexes téléchargeables sur notre site[78].

##### 6.4.2.3.1. Méthode

Les émissions de GES agricoles de la région sont estimées en appliquant la méthodologie préconisée par le Groupement Intergouvernemental d'Évaluation du Climat (GIEC) pour les inventaires de GES nationaux (GIEC, 2006). Cette méthodologie suppose de disposer : i) de données statistiques agricoles à l'échelle de la région et ii) de facteurs d'émissions de GES. La méthode décrit ensuite les formules à appliquer pour évaluer les émissions de GES en fonction du niveau de désagrégation des données (du niveau 1 le plus agrégé au niveau 3 le plus désagrégé).

Cette méthode est utilisée en France par le CITEPA pour réaliser l'inventaire national des GES agricoles (CITEPA, 2011). Le CITEPA utilise les facteurs d'émissions globaux du GIEC dans la plupart des cas, et également quelques facteurs d'émissions issus d'études réalisées en France.
Nous avons adopté la méthodologie CITEPA pour réaliser l'estimation des émissions de GES d'origine agricole des Pays de la Loire sur la période 1989-2006.

##### 6.4.2.3.2. Sources de données

Nous avons utilisé les statistiques de livraison d'engrais disponibles sur le site de l'UNIFA[79] et les données de surfaces, rendements et productions végétales, ainsi que les effectifs de cheptels disponibles sur le site Agreste[80].
Les facteurs d'émission GIEC utilisés par le CITEPA sont extraits du rapport GIEC publié en 1996. Nous avons utilisé les facteurs d'émissions GIEC issus du rapport le plus récent (GIEC 2006). L'origine et les valeurs des facteurs d'émissions utilisés sont présentés dans les annexes disponibles sur notre site[81].
Du fait de la disparité des sources (Agreste, GIEC, CITEPA...), les catégories de bétail, de cultures, de systèmes de gestion du fumier ou d'usages des sols étaient hétérogènes. Un référentiel de catégories communes a été défini et les données agrégées au besoin, afin de pouvoir réaliser la correspondance entre les données Agreste et les différents facteurs d'émissions (les catégories utilisées pour les agrégations sont présentées dans les annexes sur notre site.).

##### 6.4.2.3.3. Outil d'inventaire

Nous avons développé un outil d'inventaire nommé agRiGES, composé d'un ensemble de procédures écrites en langage R, un langage de programmation libre spécialisé dans le traitement des données statistiques (R Development Core Team, 2011).

78 http://www.virageenergieclimatpdl.org/?q=annexes-chapitre-agriculture-et-for%C3%AAt
79 http://www.unifa.fr/librairie/donnees-statistiques.html
80 http://www.agreste.agriculture.gouv.fr/page-d-accueil/article/donnees-en-ligne
81 http://www.virageenergieclimatpdl.org/?q=annexes-chapitre-agriculture-et-for%C3%AAt

L'outil agRiGES permet d'évaluer les émissions directes de GES agricoles pluriannuelles d'un territoire (région, état...) selon la méthode GIEC, à partir de séries temporelles de statistiques aux formats Agreste et Unifa et de facteurs d'émissions. L'outil importe, fusionne et formate automatiquement les séries temporelles de statistiques et réalise les calculs de la méthode GIEC.
Les émissions de GES agricoles indirectes d'un territoire sont égales dans agRiGES à 16 % des émissions directes (Solagro, comm. pers.). Ces émissions indirectes comptabilisent les GES émis pour la fabrication des intrants (engrais, production d'énergie, aliments etc...).
agRiGES permet également de recalculer aisément les émissions de GES totales du territoire en sélectionnant différents facteurs d'émissions, ce qui permet d'étudier la sensibilité des résultats globaux aux modifications des données d'entrée.

L'outil d'inventaire produit également automatiquement des séries de graphiques aisément configurables, qui constituent un tableau de bord de l'évolution historique de l'agriculture régionale et des émissions de GES associées. agRiGES est disponible librement sur notre site.

agRiGES a été utilisé afin d'estimer le bilan GES de la transposition du scénario Afterres2050 aux Pays de la Loire, à partir des paramètres agronomiques fournis par Afterres2050.

## 6.5. Résultats

### 6.5.1. Le scénario Virage Énergie Climat pour l'agriculture et la forêt des Pays de la Loire

#### *6.5.1.1. Évolution des besoins en alimentation humaine des Pays de la Loire*

##### 6.5.1.1.1. Préconisations générales du scénario Afterres2050 en matière d'alimentation humaine

Afterres est un scénario de sobriété[82], qui part du constat qu'il sera impossible de nourrir et d'alimenter en énergie et en matériaux les 70 millions de français(es) prévu(e)s en 2050, en conservant nos habitudes de consommation actuelles. Il propose donc à la fois de modifier notre ration alimentaire afin de manger un peu moins mais mieux, et de lutter contre le gaspillage de nourriture.

Mais que faut-il donc manger pour être en bonne santé ? Et en quelle quantité ? La réponse n'est ni simple ni univoque. Les hypothèses d'Afterres se fondent cependant sur quelques constats qui pointent des enjeux majeurs de santé publique :

- l'alimentation d'aujourd'hui, riche en graisses et en aliments à forte densité énergétique, centrée autour d'aliments d'origine animale, a remplacé notre alimentation traditionnelle. Cette modification a joué un rôle clé dans l'augmentation de la prévalence des maladies chroniques d'origine nutritionnelle considérées comme évitables : obésité, diabète, maladies cardiovasculaires, cancers et ostéoporose principalement (OMS, 2003)[83];
- aux méfaits de la « malbouffe » et d'une alimentation trop riche, s'ajoutent d'autres facteurs liés à nos modes de production agricole. Plusieurs études établissent un lien entre certaines molécules de synthèse (pesticides, mais aussi plastiques, métaux) et la prévalence de l'obésité et du diabète. Ces substances chimiques viendraient interférer avec nos hormones naturelles et perturber notre système endocrinien (CHEM Trust, 2012)[84] ;
- on notera enfin que le taux d'obésité en France, s'il reste parmi les plus bas des pays de l'OCDE, progresse de façon régulière et touche, en 2009, 14,5 % des Français, contre 8,5 % en 1997. Un des phénomènes les plus inquiétants est l'obésité infantile qui aurait augmenté de 300 % en dix ans[85] !

Selon l'Étude Individuelle Nationale des Consommations Alimentaires (INCA)[86], nous surconsommons ainsi en France des protéines et des sucres simples : notre bol alimentaire comprend en effet :

- 45% de trop pour les protéines, notre consommation étant de 90 grammes par jour et par personne au lieu des 52 grammes conseillés,
- 25 % de trop pour le sucre.

82 par opposition à deux autres concepts en vogue mais non désirables : gloutonnerie d'une part, et austérité de l'autre.
83 http://www.who.int/dietphysicalactivity/publications/trs916/summary/fr/
84 http://www.chemtrust.org.uk/Obesity_and_Diabetes_publications.php
85 Selon Laurent Chevallier, consultant nutritionniste, praticien attaché au CHU de Montpellier, cité dans Afterres2050.
86 INCA1 en 1998-1999 et INCA2 en 2006-2007

La crise économique actuelle a de plus tendance à augmenter le prix des produits agricoles et à poussant les plus pauvres vers la "malbouffe" et l'obésité[87].
Afin de lutter contre ces tendances menaçant à la fois la santé publique et notre environnement, Afterres2050 préconise des changements de notre ration alimentaire :

- une réduction de 25% de la consommation totale de protéines (de 90 à 70 g/j/personne, pour un apport nutritionnel conseillé (ANC) de 50 à 60 g pour un adulte) ;
- de ramener de 14 % à 11% le rôle du sucre dans nos apports énergétiques, soit supprimer l'équivalent de 4 morceaux de sucre par jour sur les 20 ingérés aujourd'hui ;
- de maintenir l'indice de masse corporelle au niveau de celui de 2000 ;
- d'inverser le rapport entre protéines animales et végétales (62 % végétal et 38 % animal) ;
- de réduire le calcium apporté par les produits laitiers .

Les protéines animales représentent 62 % de nos apports en protéines. Cette situation est lourde de conséquences sur l'utilisation des sols et l'émission de gaz à effet de serre.
Du point de vue nutritionnel, une réduction de la part de protéines animales est possible. En effet, selon l'Agence Nationale de SEcurité Sanitaire de l'alimentation (ANSES, ex AFSSA), il est possible de couvrir nos besoins en acides aminés indispensables en consommant uniquement des protéines animales, ou uniquement des protéines végétales, sous réserve d'associer des céréales à des légumineuses.
Il n'y a donc pas de minimum de protéines animales recommandé, mais plusieurs avis convergent pour dire qu'un tiers de protéines animales dans la ration permet de satisfaire nos besoins en acides aminés essentiels.
Afterres2050 propose donc un renversement de la part respective des protéines animales et des protéines végétales, soit une couverture de nos besoins protéiques par 62 % d'origine végétale et 38% d'origine animale.
Couplé à la réduction de la surconsommation, ce renversement conduit à une division par deux de la consommation de viande.

De nombreuses controverses existent concernant les apports en calcium (Souccar, 2008). Plusieurs travaux précisent qu'un régime moins riche en protéines animales nécessite un apport moindre en calcium du fait des « fuites » induites.
Afterres2050 a fixé l'apport du calcium par le lait à 200 mg /j /pers ce qui correspond à la consommation de 1 à 2 produits laitiers par jour plutôt que les 3 recommandés par le Programme National Nutrition Santé (PNNS), afin de subvenir aux besoins en calcium (estimés en France à 900 mg/j/personne), le reste étant apporté par une alimentation variée (Afterres2050 ne fixe toutefois pas de plafond pour le calcium). Les produits laitiers n'ont pas le monopole du calcium : épinards, brocolis, noix, oranges, amandes, noisettes, dattes, sardines, sont d'excellentes sources de calcium sans oublier l'eau !

87 http://www.lemonde.fr/planete/article/2013/03/28/prix-alimentaires-malbouffe-et-obesite-chez-les-plus-pauvres_3149100_3244.html

Résoudre de manière objective la question du calcium est capitale compte tenu de son impact sur le dimensionnement du cheptel national. Imaginons que les besoins en calcium ne soient plus couverts en 2050 par des produits laitiers, mais par des légumes et des céréales, nos paysages d'élevage et le métier de nos agriculteurs en seraient totalement changés !
Si Afterres2050 réduit fortement la consommation de produits laitiers à un niveau permettant néanmoins de satisfaire la totalité de nos besoins en calcium, cette hypothèse couplée à une réduction de la consommation de viande entraîne une forte réduction de l'élevage bovin viande spécialisé à l'horizon 2050. Le cheptel serait par ailleurs dominé par des vaches laitières.

Un tiers de la production mondiale d'aliments est enfin perdue ou gaspillée chaque année, majoritairement au niveau du consommateur et de la distribution dans les pays du Nord (FAO, 2011),
Afterres prévoit de diviser par plus de deux (-60%) les pertes de nourriture « évitables », c'est à dire les aliments jetés alors qu'ils étaient consommables sur l'ensemble de la chaîne. Il est également prévu de recycler les pertes inévitables pour les valoriser (en énergie, en engrais sous forme de compost ou de digestat de méthanisation : épluchures, coquilles d'œufs, etc.).

6.5.1.1.2. Quelle assiette pour les Pays de la Loire en 2050 ?

En Pays de la Loire, les besoins pour l'alimentation humaine évoluent avec la démographie régionale, dont les chiffres adoptés sont ceux des prévisions INSEE. Le scénario central de l'INSEE prévoit une augmentation de population de 28% d'ici 2050, soit 4,3 millions d'habitants contre 3,5 millions aujourd'hui.

La demande alimentaire selon les hypothèses Afterres2050 conduisent aux estimations suivantes pour les Pays de la Loire (tableau et figure ci-dessous) :

| Milliers de tonnes par an | 2010 | 2050 | Évolution |
|---|---|---|---|
| Céréales | 433 | 625 | 44% |
| Pommes de terre | 231 | 237 | 3% |
| Sucre | 130 | 112 | -14% |
| Légumineuses et fruits coque | 20 | 45 | 125% |
| Huiles et graines oléagineuses | 72 | 88 | 22% |
| Légumes | 361 | 557 | 54% |
| Fruits | 421 | 520 | 24% |
| Stimulants, épices | 36 | 22 | -39% |
| Boissons Alcooliques | 316 | 241 | -24% |
| Viande, abats, graisses animales | 384 | 188 | -51% |
| Lait | 892 | 396 | -56% |
| Œufs | 50 | 27 | -46% |
| Produits aquatiques | 111 | 12 | -89% |

Tableau 50. Évolution de la demande alimentaire 2010-2050 des Pays de la Loire.
Source : scénario Virage Énergie-Climat Pays de la Loire.

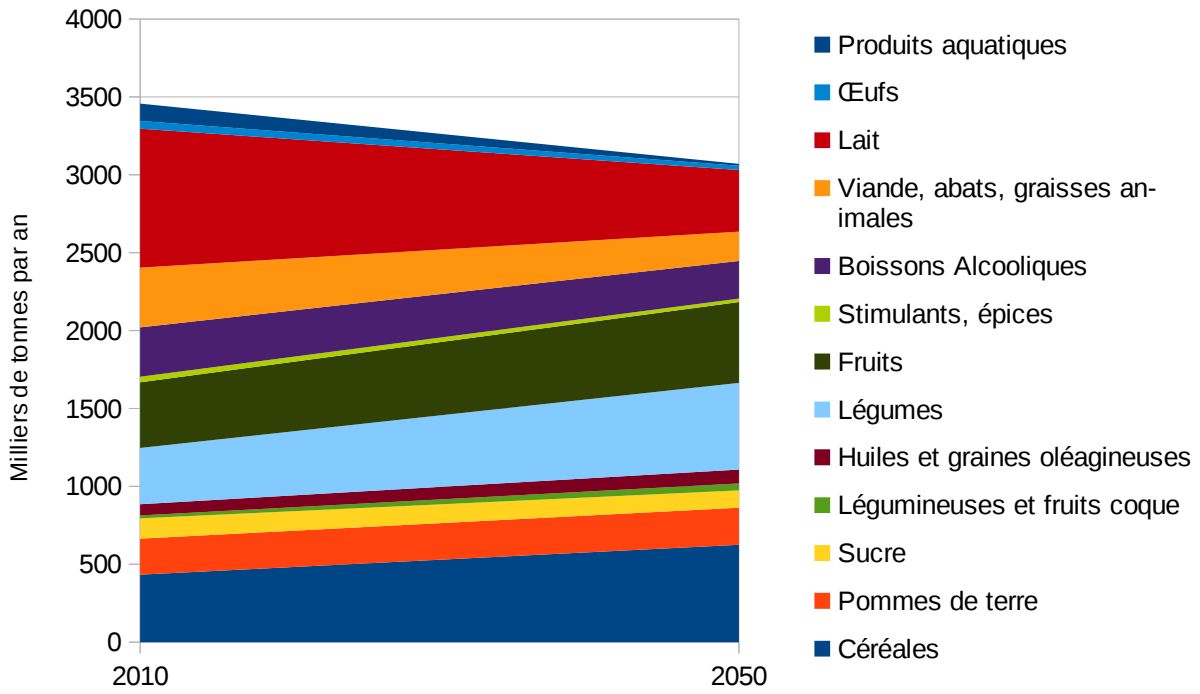



*Figure 25. Évolution des besoins en alimentation humaine des Pays de la Loire entre 2010 et 2050 après application du scénario Afterres. Source : scénario Virage Énergie-Climat Pays de la Loire.*

Notre assiette en 2050 sera plus riche en céréales, fruits, légumes, coques (noix, amandes). Elle contiendra deux fois moins de lait et de viande.
La viande ne disparaît pas. Simplement, elle ne sera pas présente à tous les menus, tous les jours de la semaine, ou alors avec des portions plus réduites.

La figure ci-dessous présente l'évolution des quantités d'aliments consommés et des déchets de l'alimentation humaine en France de 1960 à 2050 dans le scénario Afterres2050. Les tendances présentées ici au niveau national peuvent être aisément transposées dans les Pays de la Loire.
Le scénario VEC prévoit ainsi des réductions importantes à la fois de la surconsommation alimentaire, entraînant une réduction de l'obésité, ainsi qu'une réduction du gaspillage alimentaire, basée sur la valorisation alimentaire des déchets comestibles, et le compostage/méthanisation des déchets alimentaires non consommables (résidus de récoltes, épluchures...).

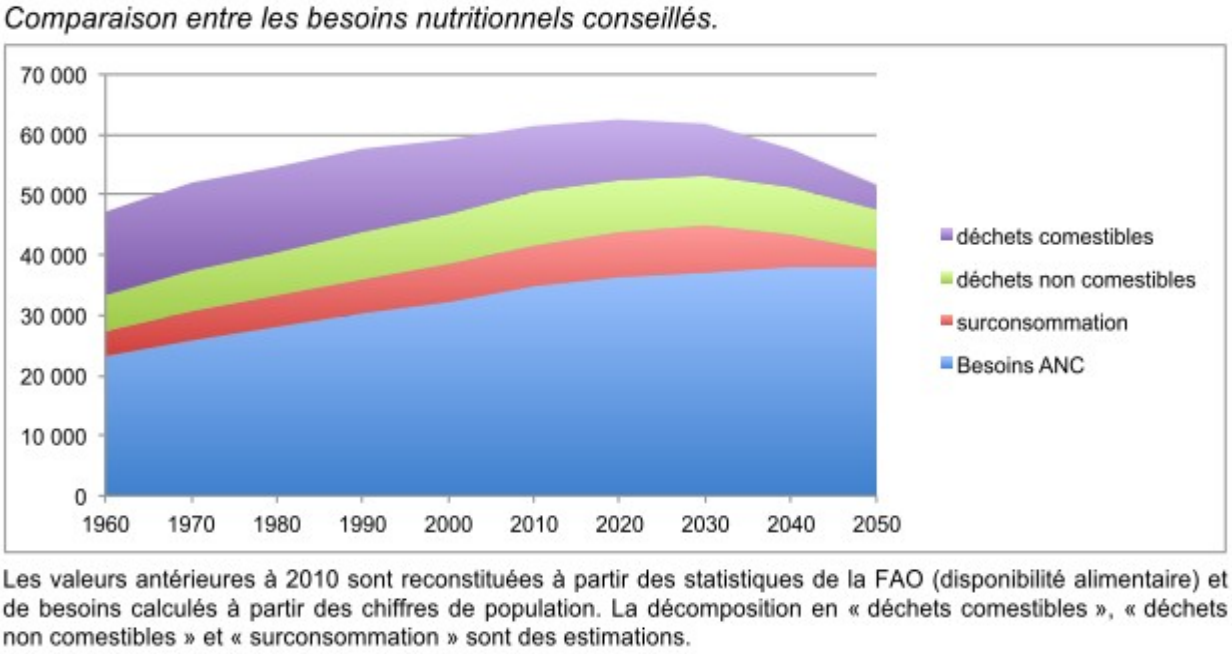



*Figure 26. Evolution des aliments consommés et des déchets de l'alimentation humaine en France de 1960 à 2050. Source : scénario Afterres2050. Besoins ANC = besoins annuels conseillés par la FAO, déchets comestibles : déchets qui pourraient être consommés mais qui sont gâchés.*

#### *6.5.1.2. Scénario d'évolution des productions animales des Pays de la Loire*

6.5.1.2.1. Manger de la viande blanche pour limiter les émissions de GES ?

Dans le secteur de l'élevage, Afterres2050 vise à concilier performance alimentaire, lutte contre les émissions de gaz à effet de serre et bien-être animal.

Le bilan énergétique du bétail monogastrique (porcins et volailles) est meilleur que celui des ruminants : il faut moins d'aliments végétaux pour une même quantité de viande, et par conséquent il faut également moins d'espace. Il en est de même pour le bilan en gaz à effet de serre : les fermentations entériques, qui représentent le principal poste d'émission de méthane en France, sont principalement dues aux ruminants.

Les porcs et volailles sont cependant élevés aujourd'hui de façon très industrielle, ce qui pose d'importants problèmes de bien-être animal, de pollution (épandage des lisiers), d'état sanitaire (utilisation massive d'antibiotiques). La rentabilité à moyen terme de ces élevages industriels n'est de plus pas assurée, car ils sont très dépendants des aliments pour bétail, dont la production et l'importation nécessitent une quantité importante de coûteux hydrocarbures, ainsi que des prix mondiaux fluctuants de la viande. Les aliments des monogastriques (grains) rentrent enfin en concurrence directe avec l'alimentation humaine.

Les ruminants présentent un gros avantage sur les monogastriques : ils se nourrissent d'herbe. D'autre part, nos vaches sont encore en grande partie élevées à l'herbe. Certes, les élevages en bovin lait consomment des grains et des tourteaux, et les veaux sont engraissés au grain, parfois en les envoyant jusqu'en Italie. Mais à la différence des feed-lot (les parcs d'engraissement) américains par exemple, les bovins français passent la moitié de leur temps sur prairie – un peu plus pour les bovins viande et un peu moins pour les bovins lait.
Par ailleurs, dans un système à l'herbe, les ruminants ne sont pas en compétition alimentaire avec les humains et valorisent les prairies, qui offrent des fonctions essentielles : réservoirs de biodiversité, puits de carbone[88], protection contre l'érosion, paysage....
En résumé, du point de vue de l'utilisation des ressources naturelles et du changement climatique, ruminants et monogastriques possèdent chacun une série d'avantages et inconvénients, et les arbitrages entre ces deux grandes catégories d'animaux doivent tenir compte de critères contradictoires.
Dans tous les cas, les systèmes d'élevage devront tenir compte de plusieurs phénomènes nouveaux.

La rareté des ressources naturelles imposera la recherche de la meilleure efficacité et favorise donc les plus faibles indices de consommation. Autrefois (avant la généralisation du tracteur et des engrais), la fonction première des animaux d'élevage n'était pas de produire de la viande, mais de fournir de la force motrice (bœufs et chevaux de trait), du lait et des œufs. Poules et cochons étaient des animaux de basse-cour nourris avec les déchets de cuisine et le petit-lait, et le grain n'était distribué qu'avec parcimonie. Les « bovins viande » sont majoritairement issus des races de bœufs de labour.
Aujourd'hui, le grain est abondant et bon marché, il est en grande majorité utilisé pour nourrir les animaux « monogastriques » (porcs et volailles), mais aussi les ruminants. Les vastes surfaces de prairies qui permettaient de disposer d'énergie mécanique sont aujourd'hui exploitées pour produire de la viande. Du seul point de vue de l'utilisation de l'espace, cet usage très extensif des prairies est-il vraiment durable ?
A l'inverse, les questions de santé publique, de bien-être animal, favorisent au contraire les productions de qualité, avec notamment un allongement de la durée d'élevage et, corollairement, une augmentation de l'Indice de consommation (et de la part de l'herbe dans les rations fourragères des ruminants).

#### 6.5.1.2.2. Évolution du cheptel et des productions animales des Pays de la Loire

Par homothétie avec le scénario national, le scénario AfterresPdL propose donc de diminuer d'environ 30 % le nombre de monogastriques élevés dans les Pays de la Loire et de passer d'un système actuel où l'élevage intensif en porcs et volailles représente la quasi totalité de la production, à un système où les élevages sous label qualité représentent la moitié des effectifs, la moitié restante demeurant dans le système actuel (tableau et figure ci-dessous).

88 L'ensemble des prairies naturelles, y compris les prairies peu productives et les pelouses d'altitude, stockent 8,5 millions de tonnes équivalent-CO2 par an, ce qui compense en partie les 34 millions de tonnes équivalent-CO2 de méthane entérique généré par les ruminants.

| Effectifs, milliers de têtes (indicateurs) | 2010 | 2050 | Évolution |
|---|---|---|---|
| Bovins (mères) | 970 | 340 | -65% |
| Ovins (mères) | 30 | 50 | 67% |
| Caprins (mères) | 110 | 110 | 0% |
| Porcins (porcs à l'engrais) | 870 | 570 | -34% |
| Volailles (poulets de chair) | 31 000 | 23 000 | -26% |

Tableau 51. Évolution du cheptel des Pays de la Loire selon le scénario Afterres2050. Source : scénario Virage Énergie-Climat Pays de la Loire.

Les élevages de monogastriques « intensifs » différeront certainement en 2050 du modèle actuel pour améliorer le bien être animal. On peut notamment envisager un allongement du temps d'élevage et une baisse de la densité d'animaux, tout en conservant des taux de conversion en protéines élevés.

La division par 2 des besoins en lait du fait de la généralisation du régime Afterres conduit à une diminution en proportion du cheptel de vaches laitières, qui passe de 970 à 340 milliers de têtes. Les besoins en fourrage et en concentré diminuent plus fortement que la quantité d'herbe pâturée puisque la proportion en pâture augmente. Malgré tout, la réorientation du troupeau laitier vers la prairie ne permet pas de compenser la diminution du cheptel. (figure ci-dessous).

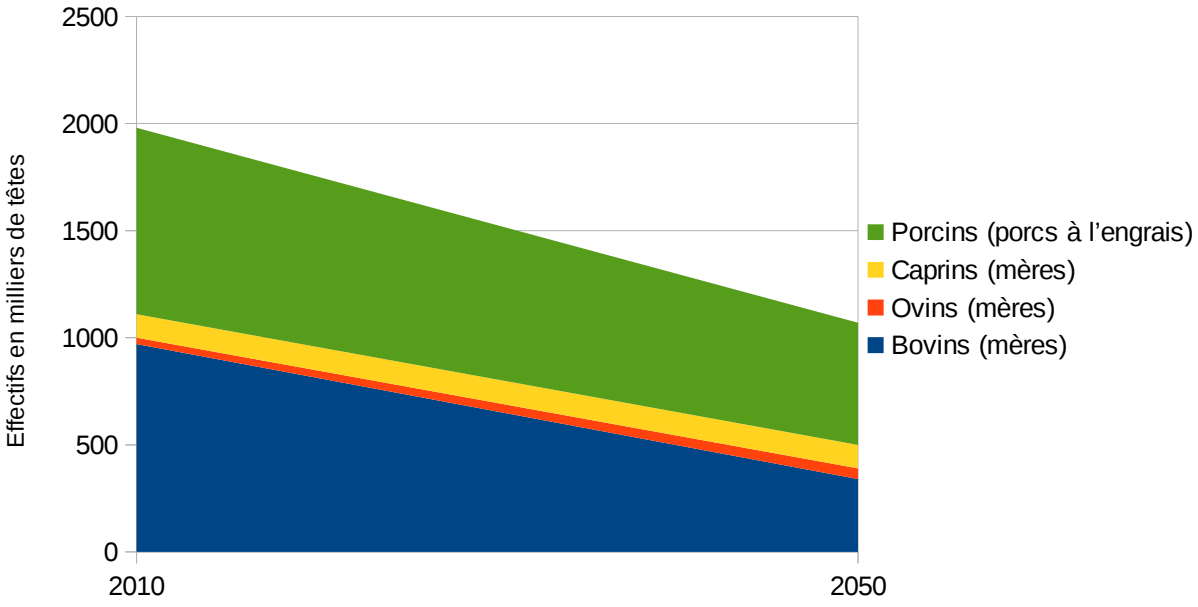



*Figure 27. Évolution du cheptel des Pays de la Loire (hors volaille) selon le scénario Afterres2050. Source : scénario Virage Énergie-Climat Pays de la Loire.*

Le scénario propose une évolution générale vers des systèmes moins intensifs. La laitière à 9.000 kg de lait pas an disparaît, tandis qu'à l'inverse les systèmes extensifs le deviennent encore plus, avec un cheptel « tout herbe » qui prendrait une part significative en 2050 (le quart des effectifs), aux cotés de systèmes assez proches des systèmes actuels à la fois performants (6 000 litres) et économes (moindre consommation de concentrés).
Les caractéristiques zootechniques du troupeau laitier « moyen » évoluent comme indiqué dans le tableau ci-dessous (la consommation de concentrés semble un peu sous-évaluée en 2010) :

| Caractéristiques troupeau laitier | | 2010 | 2030 | 2050 |
|---|---|---|---|---|
| Production de lait | Litre / vache / an | 6 860 | 5 900 | 5 900 |
| Consommation de concentrés | g/litre de lait | 182 | 136 | 79 |
| Temps de pâturage | % | 37% | 44% | 47% |
| Ration fourragère | Tonnes de matières sèche par vache et par an | 6,0 | 5,4 | 5,4 |

Tableau 52. Évolution des caractéristiques zootechniques du troupeau laitier "moyen" des Pays de la Loire.
Sources : scénario Virage Énergie-Climat Pays de la Loire, Agreste.

Les troupeaux bovin viande sont aujourd'hui assez extensifs, avec un recours au pâturage important : globalement près des deux tiers du temps. Nos systèmes bovin viande sont aujourd'hui les plus aptes à valoriser, et donc à préserver les prairies naturelles. Les systèmes bovin viande, tels que nous les connaissons aujourd'hui, sont cependant appelés à une mutation radicale.
Le dimensionnement des deux troupeaux, laitier et viande, résulte en effet de deux facteurs principaux. Comme on vient de le voir, les besoins en production de lait déterminent la taille du troupeau laitier, en divisant la demande de production globale (milliards de litres de lait par an) avec la productivité (litres de lait par vache).
Le cheptel bovin viande, quant à lui, n'est pas dimensionné uniquement sur les besoins de production de viande bovine, car il faut en effet tenir compte de la viande produite par le troupeau bovin lait : veau de boucherie et vache de réforme. Le cheptel bovin viande est donc dimensionné par différence entre les besoins de viande bovine, et la production de viande du troupeau laitier.

Or, l'évolution des différents systèmes d'élevage, d'une part, et des consommations de lait et viande, d'autre part, laisse au final peu de place aux systèmes bovin viande. Le besoin de viande bovine passe de 206 000 à 69 000 tonnes. Les calculs aboutiraient à une division par 6 du troupeau actuel bovin viande.

Afterres préconise donc le développement de l'élevage de « races mixtes » produisant à la fois du lait et de la viande. Il s'agit finalement des systèmes d'élevage bovins qui existaient jusque dans les années 1950, lorsque les bovins fournissaient en priorité de l'énergie (traction animale), le lait n'arrivant qu'en seconde priorité dans les services rendus par les bovins, et la viande en troisième place. Les « races à viande » - qui dérivent pour l'essentiel des races de labour – ne seraient donc finalement qu'une parenthèse historique.

L'élevage bovin des Pays de la Loire évoluerait donc vers des races mixtes, mettant fin à la dichotomie entre troupeau laitier et troupeau viande. Ces bovins réinvestiraient largement les prairies de la région, dont la région resterait sensiblement identique.

Le troupeau caprin reste inchangé : il s'agit d'élevages en général assez intensifs, avec peu de pâture, destiné essentiellement à la production de lait.

Le troupeau ovin, quant à lui, a vocation à augmenter. Actuellement, la viande ovine est en grande partie importée. Or, les ovins permettent de valoriser les espaces de faible surface qui seraient insuffisantes pour les bovins, ou les terres les moins favorables (zones humides...). Le cheptel ovin augmenterait de 50% environ d'ici 2050.

Les productions animales des Pays de la Loire en 2050 sont obtenues à partir du cheptel, et des ratios de productions issus du scénario Afterres national (non régionalisés) (tableau et figure ci-dessous).

| **Production, en milliers de tonnes** | **2010** | **2050** | **Évolution** |
|---|---|---|---|
| Viande (total) | 759 | 380 | -50% |
| *bovins* | 206 | 69 | -67% |
| *porcs* | 208 | 97 | -53% |
| *volailles* | 343 | 212 | -38% |
| Lait | 3294 | 1694 | -49% |
| Œuf | 959 | 488 | -49% |

Tableau 53. Évolution des productions animales des Pays de la Loire. Sources : 2010 : Agreste, 2050 : scénario Virage Énergie-Climat Pays de la Loire.

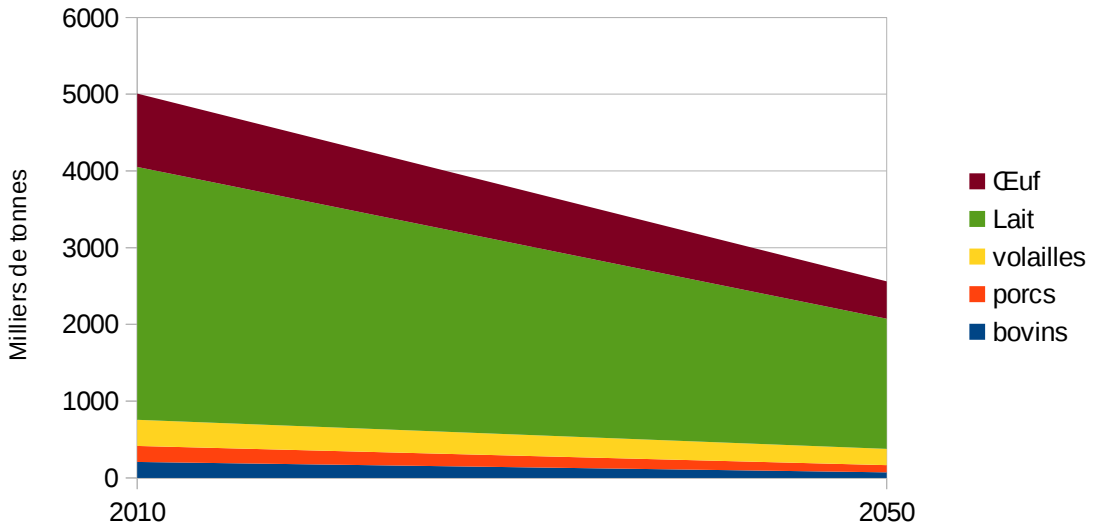



*Figure 28. Évolution des productions animales des Pays de la Loire. Source : scénario Virage Énergie-Climat Pays de la Loire.*

La consommation en concentrés (alimentation animale, hors fourrages et pâture) est calculée en fonction des besoins des cheptels et des régimes alimentaires (tableau et figure ci-dessous).

| Milliers de tonnes par an | 2010 | 2050 | Évolution |
|---|---|---|---|
| Blé | 1275 | 664 | -48% |
| Orge | 430 | 224 | -48% |
| Maïs grain | 736 | 383 | -48% |
| Avoine | 47 | 24 | -49% |
| Autres céréales | 278 | 145 | -48% |
| Pommes de terre | 38 | 20 | -47% |
| Oléo-protéagineux | 196 | 102 | -48% |
| Lait | 352 | 70 | -80% |
| Autres | 36 | 19 | -47% |
| Tourteaux | 1105 | 575 | -48% |
| Grain en culture associée ou intercalaire | 0 | 226 | |

Tableau 54. Demande en alimentation animale hors fourrages et pâture des Pays de la Loire. Source : scénario Virage Énergie-Climat Pays de la Loire.

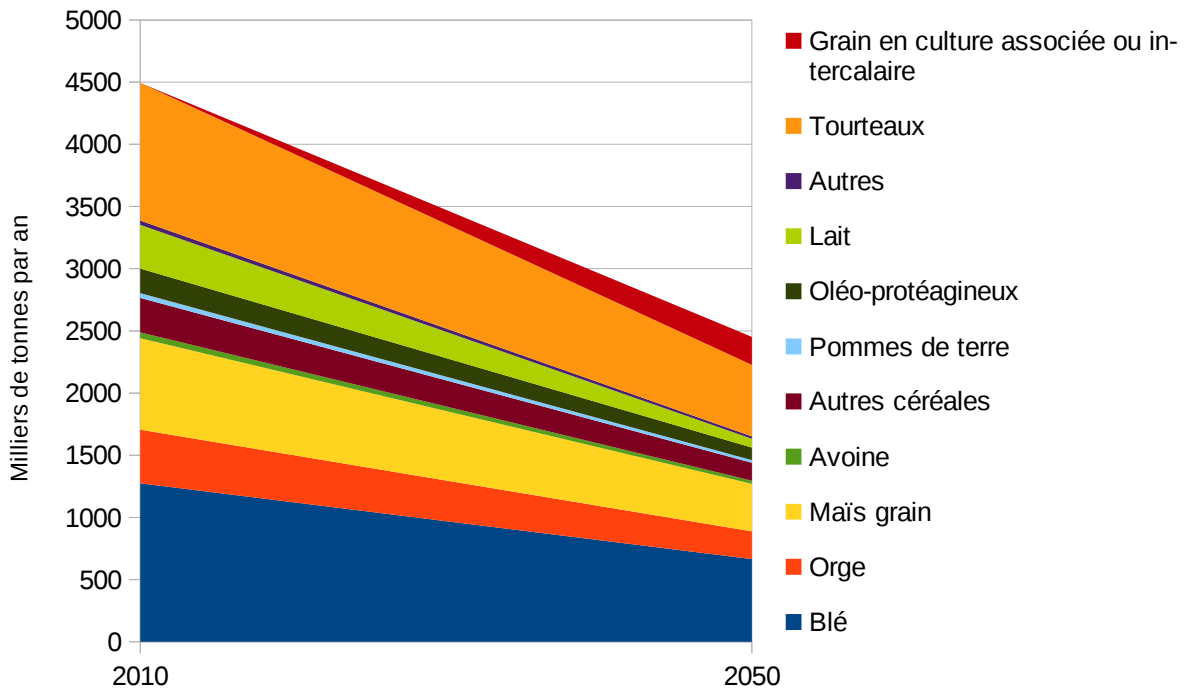



*Figure 29. Évolution de la demande en alimentation animale hors fourrages et pâture des Pays de la Loire. Source : scénario Virage Énergie-Climat Pays de la Loire.*

L'élevage en Pays de la Loire produirait au final environ 2 fois moins de produits qu'aujourd'hui, et consommerait logiquement 2 fois moins d'aliments.

Parmi les évolutions majeures, on notera l'évolution du système maïs-soja vers des systèmes herbagers, basés notamment sur des légumineuses pérennes comme la luzerne. D'où la possibilité de réduire fortement les importations de soja, et également la forte diminution des surfaces de maïs fourrager, dont la forte productivité ne compense pas suffisamment les inconvénients dues à son cycle végétatif : forts besoins d'eau en été, faible compatibilité avec des cultures intercalaires.

### 6.5.2. Évolution des productions végétales des Pays de la Loire

#### *6.5.2.1. Évolution des systèmes de cultures*

Afin de répondre à ces enjeux multiples, la parcelle Afterres en 2050 est complexe et d'une grande polyvalence.
La culture principale (blé ou autre) est systématiquement accompagnée. Elle partage l'espace soit avec des arbres, soit avec des cultures associées, soit avec des cultures intermédiaires. Jamais nue, la terre est toujours verte ou, au moins, couverte. Le mélange des variétés est généralisé.
Au lieu des 2 productions du standard agricole actuel – une graine et de la paille – une parcelle peut délivrer virtuellement une gamme très élargie de productions :

- grain de la culture principale, par exemple, le blé,
- grain de culture associée, par exemple le pois,
- un résidu de culture qui sera partiellement recyclé ou retourné au sol,
- du fourrage ou de la biomasse énergie dérivés de la récolte des couverts végétaux
- des résidus non valorisés,
- du bois d'œuvre, du bois énergie et/ou des fruits issus des alignements agroforestiers, (noyers par exemple) ou des haies.

En plus de ces pratiques culturales novatrices, le scénario Afterres repose pour les cultures végétales sur les hypothèses suivantes :

- les couverts entre deux cultures – cultures intermédiaires - sont systématiquement déployés sur les parcelles où les contraintes hydriques ne sont pas rédhibitoires ;
- les cultures associées occupent 20% des terres arables ; elles sont basées sur des associations céréales/ légumineuses, particulièrement efficientes dans des systèmes à bas niveaux d'intrants. Les graines de céréales sont destinées à l'alimentation humaine, tandis que les légumineuses sont destinées à l'alimentation du bétail ;
- l'agroforesterie se développe fortement mais à « basse densité ». A raison de 50 arbres par hectare, pour une emprise au sol de 12 %, cette densité ne minore pas le rendement de la culture intercalaire. L'agroforesterie couvre en 2050, 10% de la surface agricole utile ;
- 10 % de la SAU est réservé aux infrastructures agroécologiques arborées (contre 1 à 5 % aujourd'hui) notamment les haies. Le linéaire de haies aura ainsi doublé en 2050.

A l'échelle du paysage (ou de bassin versant), ce type de parcelle et ses aménagements (associés à des zones tampons), permet de réduire les risques d'érosion, de diminuer les transferts de polluant vers l'eau et de répartir de façon homogène les infrastructures agro-écologiques.

Ces surfaces se partagent à part égale entre « agriculture biologique » et « production intégrée ».

L'agriculture biologique est un « concept global qui s'appuie sur le choix de valeurs comme le respect de la terre et des cycles biologiques, la santé, le respect de l'environnement, le bien-être animal, la vie sociale » (Fédération Nationale d'Agriculture Biologique)[89]. Elle repose uniquement sur des moyens de production biologiques et prohibe donc l'emploi d'intrants chimiques (engrais ou pesticides). Elle autorise le travail lourd du sol (labour profond).

L'agriculture intégrée est "une approche globale de l'utilisation du sol pour la production agricole". Elle est fondée sur l'utilisation de la fertilité naturelle des sols et prohibe le travail lourd du sol (semis direct, par exemple). L'agriculture intégrée cherche à réduire l'utilisation d'intrants extérieurs à l'exploitation (énergie, produits chimiques), mais ne s'interdit pas leur utilisation. Elle est présentée comme une voie intermédiaire entre l'agriculture intensive et l'agriculture biologique, dont le but est de concilier le respect de l'environnement, la qualité et la rentabilité.

#### *6.5.2.2. Évolution des surfaces agricoles*

L'occupation des terres agricoles (assolement) proposé par Virage Energie-Climat est présenté dans le tableau et la figure ci-dessous. Il a été obtenu par homothétie à partir du scénario Afterres2050 national et ré-allocation des usages de certaines surfaces agricoles.

| **Surface agricole utile, milliers d'hectares** | **2010** | **2050** | **Évolution** |
|---|---|---|---|
| Blé tendre | 370 | 430 | 16% |
| Orge | 50 | 50 | 0% |
| Blé dur et riz | 30 | 30 | 0% |
| Autres céréales | 70 | 60 | -14% |
| Oléo-protéagineux | 120 | 140 | 17% |
| Maïs grain | 110 | 90 | -18% |
| SOUS TOTAL GRAINS | 750 | 800 | 7% |
| Maïs fourrage | 290 | 70 | -76% |
| Prairies temporaires | 550 | 470 | -15% |
| *Agrocarburants 2eme génération* | 0 | 25 | |
| SOUS TOTAL FOURRAGES | 840 | 565 | -15% |
| Prairies naturelles permanentes productives *(surface équivalente)* | 430 | 200 | -53% |
| Prairies peu productives | 100 | 100 | 0% |
| *Prairies permanentes à usage non alimentaire (surface équivalente)* | 0 | 230 | |
| SOUS TOTAL PRAIRIES | 530 | 530 | 0% |
| Légumes | 10 | 70 | 600% |
| Cultures industrielles | 0 | 35 | |
| Vigne | 30 | 67 | 123% |
| Vergers | 20 | 25 | 25% |
| CULTURES INDUSTRIELLES OU PERMANENTES | 60 | 197 | 123% |
| TOTAL | 2180 | 2092 | -4% |

Tableau 55. Évolution des surfaces agricoles en Pays de la Loire entre 2010 et 2050. Sources : 2010 : Agreste, 2050 : scénario Virage Énergie-Climat Pays de la Loire (les surfaces sont arrondies au 10 000 ha).

89 http://www.fnab.org/

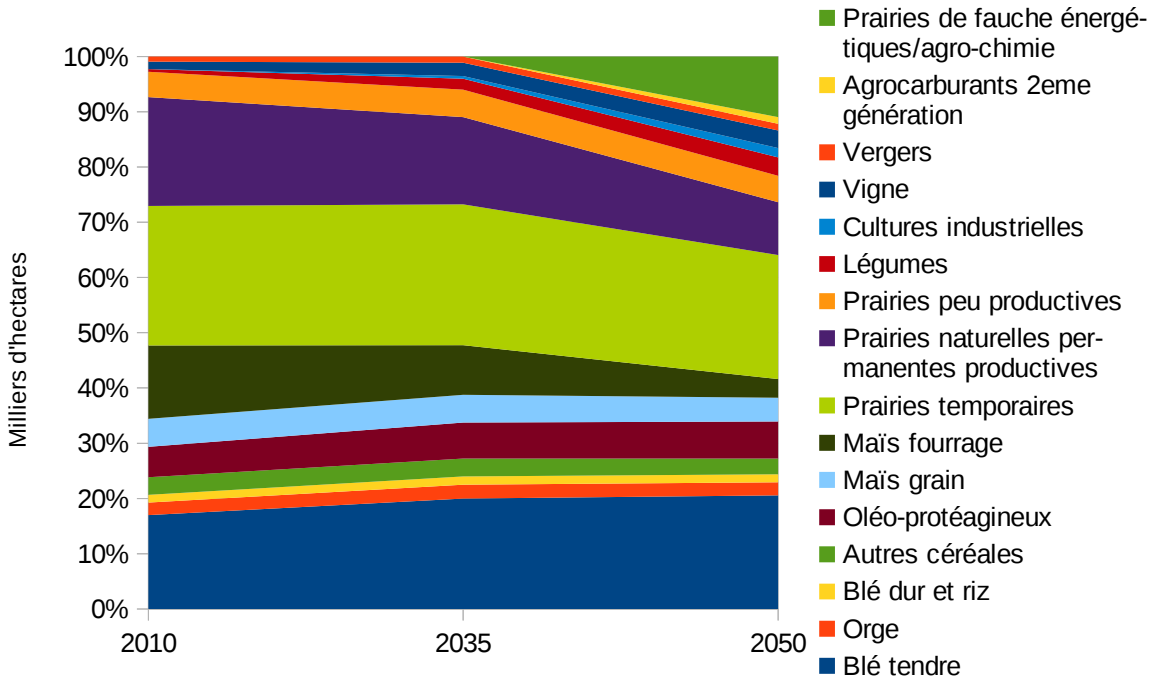



*Figure 30. Évolution des surfaces agricoles en Pays de la Loire entre 2010 et 2050 (milliers d'hectares). Source : scénario Virage Énergie-Climat Pays de la Loire.*

La surface agricole totale diminue de 4 %, essentiellement du fait de l'artificialisation de nouvelles terres agricoles. Cependant, la vitesse d'artificialisation est divisée par 2 dans le scénario Afterres par rapport à la vitesse actuelle.

Comme dans Afterres2050, les surfaces de blé tendre et d'oléo-protéagineux des Pays de la Loire augmentent pour compenser la diminution des cultures de maïs fourrage, gourmandes en eau. L'équivalent de 20 000 ha de terres arables sont affectées à la production d'oléo-protéagineux (colza, tournesol, pois protéagineux...) afin de combler partiellement le déficit protéique des élevages de porcs et volailles régionaux, aujourd'hui largement dépendants des importations de soja d'Amérique du Sud. L'autonomie protéique du cheptel bovin pourrait être obtenu à partir des prairies régionales, en augmentant notamment la part de la luzerne.

Le nouveau système agro-sylivicole proposé par Afterres propose la ré-allocation à de nouveaux usages agricoles de 160 000 hectares de terres arables, et 230 000 hectares de prairies permanentes, soit un peu moins de 20 % de la Surface Agricole Utile (SAU) actuelle des Pays de la Loire. La proportion des surfaces de « nouvelles cultures annuelles à usage non alimentaire » est 4 fois plus importante dans les Pays de la Loire par rapport au scénario national, car il y a plus de prairies permanentes productives et de cultures fourragères dans la région.

6.5.2.2.1. Scénario de ré-allocation des terres agricoles à de nouveaux usages

Virage Énergie-Climat Pays de la Loire propose un scénario de ré-allocation des terres agricoles, afin d'orienter le nécessaire débat qui doit s'engager autour de cette question. Ce scénario propose de réaffecter les usages de 390 000 ha de terres agricoles de la façon suivante (tableau et figure ci-dessous) :

| **Surfaces, milliers d'hectares** | **2050** |
|---|---|
| Légumes | 60 |
| Betteraves | 10 |
| Pomme de terre | 9 |
| Autres cultures industrielles (chanvre, lin) | 14 |
| Vigne | 37 |
| Vergers | 5 |
| CULTURES INDUSTRIELLES OU PERMANENTES | 135 |
| *Agrocarburants 2eme génération* | 25 |
| *Prairies permanentes avec valorisation non alimentaire* | 230 |
| *Dont prairies de fauche énergétiques / bioraffineries* | 230 |
| **TOTAL** | **390** |
| **TOTAL terres arables** | **160** |
| **TOTAL prairies** | **230** |

Tableau 56. Proposition de ré-affectation des terres, surfaces en milliers d'hectares. Source : scénario Virage Énergie-Climat Pays de la Loire.

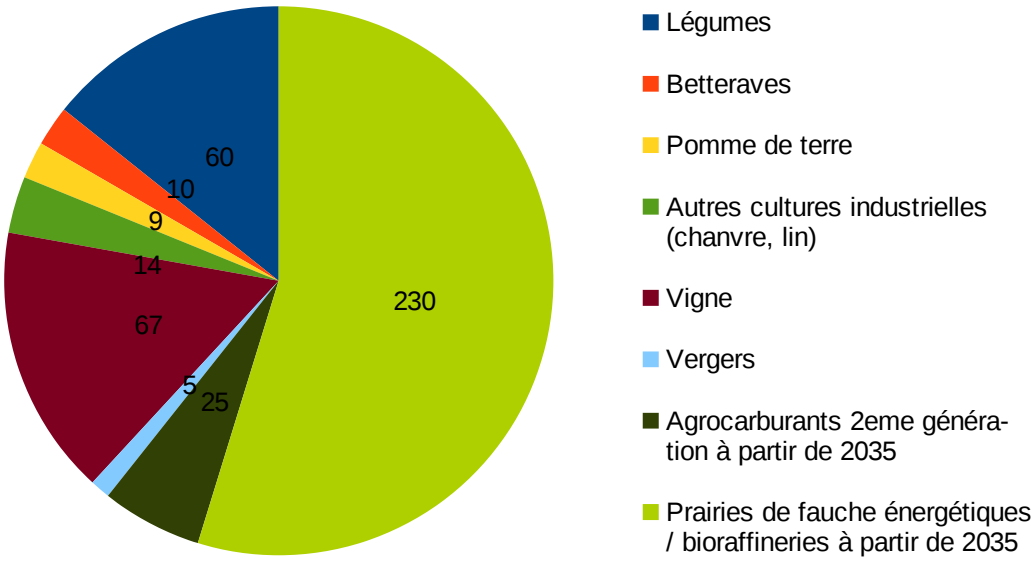



*Figure 31. Proposition de ré-affectation des terres, surfaces en milliers d'hectares. Source : scénario Virage Énergie-Climat Pays de la Loire.*

Un total de 135 000 hectares de terres arables serait utilisé pour répondre régionalement à toute la demande alimentaire humaine. Des surfaces seraient dédiées à la culture des légumes, fruits, pommes de terre et betteraves, afin de combler la demande régionale. L'augmentation importante de la surface des jardins vivriers participerait du même effort d'autonomie en légumes.

Une fois l'autonomie alimentaire humaine acquise dans la région et l'élevage redéployé sur les prairies régionales, une partie des surfaces agricoles pourrait être allouée, à partir de 2035, à des usages non alimentaires.

Environ 14 000 ha de terres arables seraient alloués à la production de matériaux bio-sourcés (chanvre, lin...), afin d'alimenter les filières bâtiment et textiles régionales et française.
L'équivalent de 230 000 hectares de prairies naturelles permanentes, déjà pâturées pour partie par le cheptel bovin régional, pourraient être utilisées à partir de 2035 en élevage extensif et méthanisation. Le scénario Afterres propose en effet de combiner les systèmes d'élevage bovin avec de la production d'énergie via la méthanisation. Il vise à conserver les prairies naturelles, réserves de biodiversité, dont la palette de valorisations envisageables est bien plus étroite que celle des terres arables. Le scénario s'interdit de labourer ces prairies, il cherche à maintenir voire à augmenter leur valeur écologique, paysagère et sociale. Le foin récoltable sur les prairies de fauche est, en partie, utilisé en alimentation du bétail, et, en partie, utilisé en méthanisation. Il peut s'agir de prairies dédiées ou de fauches tardives.
Ces prairies en élevage extensif pourraient également fournir des molécules pour la chimie. Il s'agirait ici d'imaginer de nouveaux usages des cultures herbacées. C'est le concept de « bioraffinerie verte », sur lequel travaillent déjà des laboratoires et des industriels. Il s'agit d'une variante de la bioraffinerie, qui consiste à utiliser des matières végétales pour en extraire différents composants destinés à remplacer les dérivés de la pétrochimie. Les matières végétales sont fractionnées, séparées, filtrées, avant de subir des transformations chimiques, biologiques ou physiques plus ou moins complexes et de fournir soit des composés chimiques de base - acides organiques, polymères, alcools, résines, etc. – soit des matériaux – fibre, papier, film, etc.Il s'agit bien encore d'agriculture, comme celle qui fournissait et fournit encore aux industries des matières textiles (laine, lin, chanvre), des plantes tinctoriales ou pharmaceutiques.

L'équivalent de 25 000 ha de terres arables serait utilisé afin de produire des agro-carburants de 2ème génération. La production d'agro-carburants commencerait sur des terres arables libérées en 2035, lorsque la triple transition – nutritionnelle, agricole et énergétique – sera suffisamment engagée pour rendre à nouveau légitime l'utilisation de terres arables pour des productions non alimentaires. Ces agrocarburants seraient utilisés afin d'alimenter en énergie des activités nécessitant des carburants à très haute densité énergétique, essentiellement l'aviation et le machinisme agricole et forestier, dont les besoins énergétiques ne pourraient pas être satisfaits par du biogaz ou de l'électricité.

#### *6.5.2.3. Évolution des productions végétales des Pays de la Loire*

Afin de répondre au changement de régime alimentaire induit par la généralisation de l'assiette Afterres, les productions végétales des Pays de la Loire ont suivi les évolutions présentées ci-dessous.
Les productions végétales sont obtenues à partir de l'assolement présenté précédemment et des rendements (en cultures principales et en cultures associées) issus du modèle national. Les rendements n'ont pas été régionalisés.

| **Productions, milliers de tonnes** | **2010** | **2050** | **Évolution** |
|---|---|---|---|
| Blé tendre | 2 700 | 2 300 | -15% |
| Orge | 300 | 200 | -33% |
| Blé dur et riz | 100 | 100 | 0% |
| Autres céréales | 300 | 400 | 33% |
| Oléo-protéagineux | 400 | 400 | 0% |
| Maïs grain | 1 000 | 700 | -30% |
| SOUS TOTAL GRAINS | 4 800 | 4 100 | -15% |
| Maïs fourrage | 3 600 | 800 | -78% |
| Prairies temporaires | 3 600 | 3 000 | -17% |
| *Agrocarburants 2eme génération* | 0 | 124 | |
| SOUS TOTAL FOURRAGES | 7 200 | 3 924 | -43% |
| Prairies naturelles permanentes productives | 2 300 | 1 300 | -43% |
| Prairies peu productives | 100 | 100 | 0% |
| *Herbe à usage non alimentaire* | 0 | 1 100 | |
| SOUS TOTAL PRAIRIES | 2 400 | 2 500 | 4% |
| Légumes | 100 | 700 | 600% |
| Cultures industrielles | 100 | 485 | 385% |
| Vigne | 200 | 447 | 123% |
| Vergers | 300 | 375 | 25% |
| CULTURES INDUSTRIELLES OU PERMANENTES | 700 | 2 007 | 187% |
| Production de cultures associées | 0 | 280 | |
| Production de cultures intermédiaires | 0 | 1 130 | |
| TOTAL | 15 100 | 13 941 | -8% |
| Energie (PJ) | 260 | 240 | -8% |

Tableau 57. Évolution des productions végétales des Pays de la Loire, 2010-2050. Source : scénario Virage Énergie-Climat Pays de la Loire.

L'énergie contenue dans ces productions végétales est en PétaJoule (PJ) calculée en équivalent céréale pour les cultures et équivalent herbe pour les prairies.
L'énergie contenue dans les productions végétales des Pays de la Loire en 2050 est équivalente à la consommation totale d'énergie de la région en 1990 (environ 65 TWh), et à 60 % de la consommation totale de 2010.

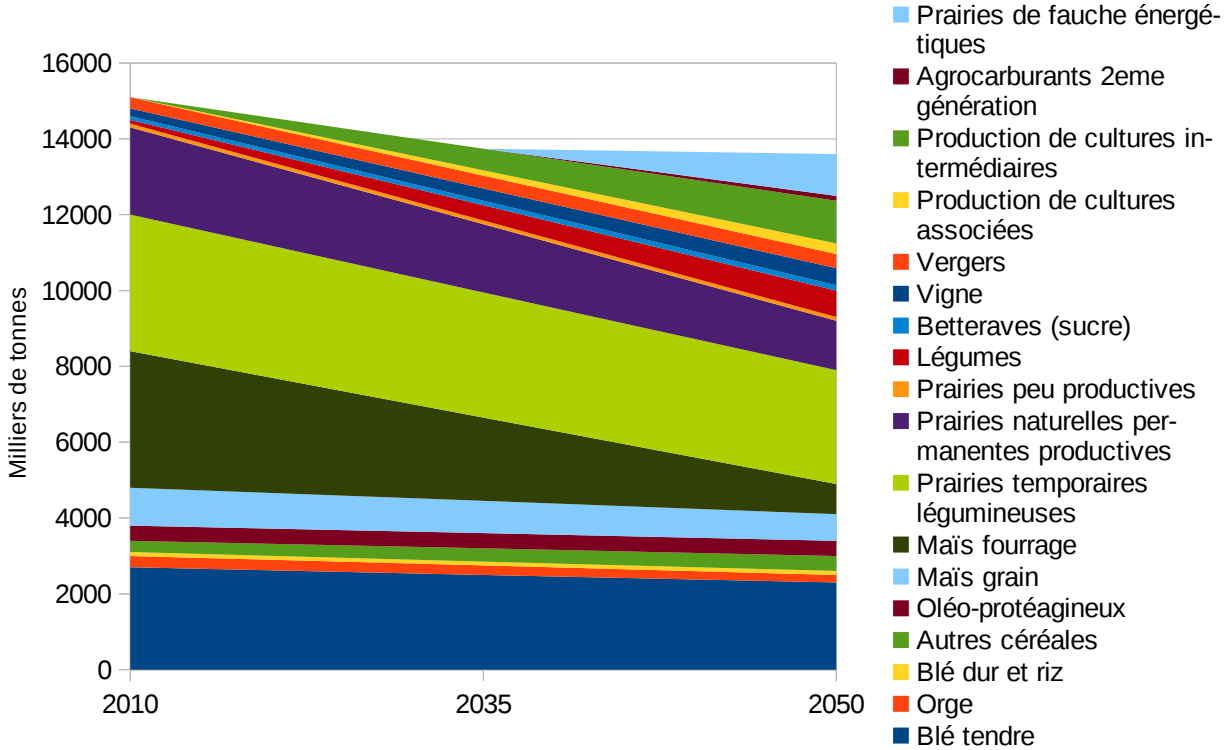



*Figure 32. Évolution des productions végétales des Pays de la Loire, 2010-2050. Source : scénario Virage Énergie-Climat Pays de la Loire.*

Les productions de légumes, fruits, pommes de terre et betteraves sur les terres arables réaffectées augmentent dès 2010 pour couvrir les besoins en alimentation humaine de la région.
Les productions d'oléo-protéagineux s'accroissent un peu pour contribuer à combler le bilan protéique de l'élevage des monogastriques.

Le potentiel de production des agrocarburants de 2eme génération qui se développent à partir de 2035 est de 124 000 tonnes (en considérant un rendement de céréale) et celui des prairies de fauche énergétique de 1,1 million de tonnes de matières sèches (en considérant un rendement herbe).
Les cultures associées (protéagineux pour l'essentiel, destinés au bétail) produisent 280 000 tonnes de grains, et les cultures intermédiaires 1,13 millions de tonnes de matières sèches.

### 6.5.3. Évolution de l'occupation du territoire des Pays de la Loire

Comme vu précédemment, la surface agricole totale diminue de 3 % en 2050 par rapport à 2010, essentiellement du fait de l'augmentation des surfaces artificialisées (+26%) et des surfaces boisées (+5%) (tableau et figure ci-dessous).

| Milliers d'hectares | 2010 | 2050 | Évolution |
|---|---|---|---|
| Surfaces artificialisées | 363 | 457 | 26% |
| Forêt | 488 | 510 | 5% |
| Terres arables | 1650 | 1562 | -5% |
| *Dont nouvelles productions* | | *162* | |
| Prairies permanentes | 528 | 528 | 0% |
| *Dont nouvelles productions (surface équivalente)* | *0* | *230* | |
| Autres surfaces | 211 | 183 | -13% |
| TOTAL | 3240 | 3240 | 0% |
| SAU | 2178 | 2090 | -4% |

Tableau 58: Evolution de l'occupation du territoire des Pays de la Loire, 2010-2050. scénario Virage Énergie-Climat Pays de la Loire.

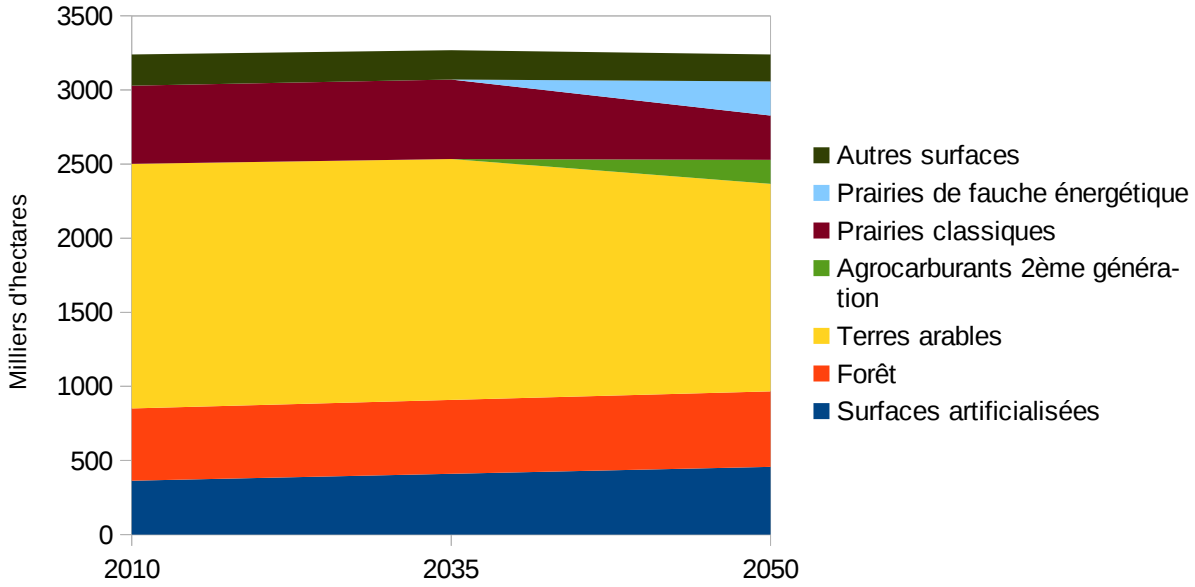



*Figure 33. Evolution de l'occupation du territoire des Pays de la Loire, 2010-2050. Source : scénario Virage Énergie-Climat Pays de la Loire.*

La vitesse d'artificialisation des terres est divisée par 2.

#### *6.5.3.1. Évolution de la forêt des Pays de la Loire*

Virage Énergie-Climat Pays de la Loire s'est basé sur les hypothèses d'Afterres2050 pour scénariser l'évolution de la forêt de la région, ainsi que son exploitation future. Un reboisement supplémentaire est cependant prévu dans notre scénario, du fait de la mise en friche des prairies permanentes les plus pauvres et les moins accessibles.
L'agglomérat « bois, papier, pâte à papier » représente le second poste déficitaire de la balance commerciale française, le premier étant l'agglomérat « pétrole, gaz, charbon ». Une exception : le poste « vieux papiers » est quand à lui excédentaire, pour la mauvaise raison que c'est l'Allemagne qui a investi dans les usines de recyclage.
Une priorité d'Afterres est donc de réduire les importations, notamment de bois non certifié provenant de la déforestation, tout en augmentant la part du bois dans la construction. La forêt française joue ainsi un rôle central dans le scénario, l'enjeu étant d'augmenter significativement les prélèvements, ainsi que les services éco-systémiques rendus.

Afin de prendre en compte les effets du réchauffement climatique, Afterres2050 a adopté une hypothèse de stagnation de la production biologique de la forêt française vers 2040, avec un risque de diminution de cette production avant 2050.

Les hypothèses de prélèvements d'Afterres2050 sont prudentes, car elles intègrent des objectifs environnementaux et organisationnels :

- le taux de prélèvement global sur un massif forestier ne doit pas dépasser 75%[90] ;
- le taux d'exploitation de la forêt productive ne doit pas dépasser 95%.

D'où un taux de prélèvement maximal de 71%.

### 6.5.4. Bilan d'approvisionnement en aliments des Pays de La Loire

La demande intérieure totale est égale en première approche à la somme de la demande pour l'alimentation humaine et de la demande pour l'alimentation animale (tableau ci-dessous).

90 Note de position : Production, gestion et utilisation du bois énergie, FNE Août 2010.

| Milliers de tonnes par an | 2010 | 2050 | Évolution |
|---|---|---|---|
| Céréales | 3 199 | 2 065 | -35% |
| Pommes de terre | 272 | 258 | -5% |
| Sucre | 139 | 116 | -17% |
| Légumineuses et fruits coque | 100 | 87 | -13% |
| Huiles et graines oléagineuses | 188 | 149 | -21% |
| Légumes | 375 | 565 | 51% |
| Fruits | 421 | 520 | 24% |
| Stimulants, épices | 36 | 22 | -39% |
| Boissons Alcooliques | 316 | 241 | -24% |
| Viande, abats, graisses animales | 385 | 189 | -51% |
| Lait | 1 243 | 466 | -63% |
| Œufs | 50 | 27 | -46% |
| Produits aquatiques | 117 | 15 | -87% |
| Tourteaux et son | 1 106 | 576 | -48% |

Tableau 59. Évolution de la demande intérieure totale en aliments des Pays de la Loire. Source : scénario Virage Énergie-Climat Pays de la Loire.

La demande intérieure en alimentation humaine et animale des Pays de la Loire est globalement réduite d'un tiers, toutes les consommations étant orientées à la baisse, sauf les consommations de fruits et légumes qui augmentent fortement (figure ci-dessous) :

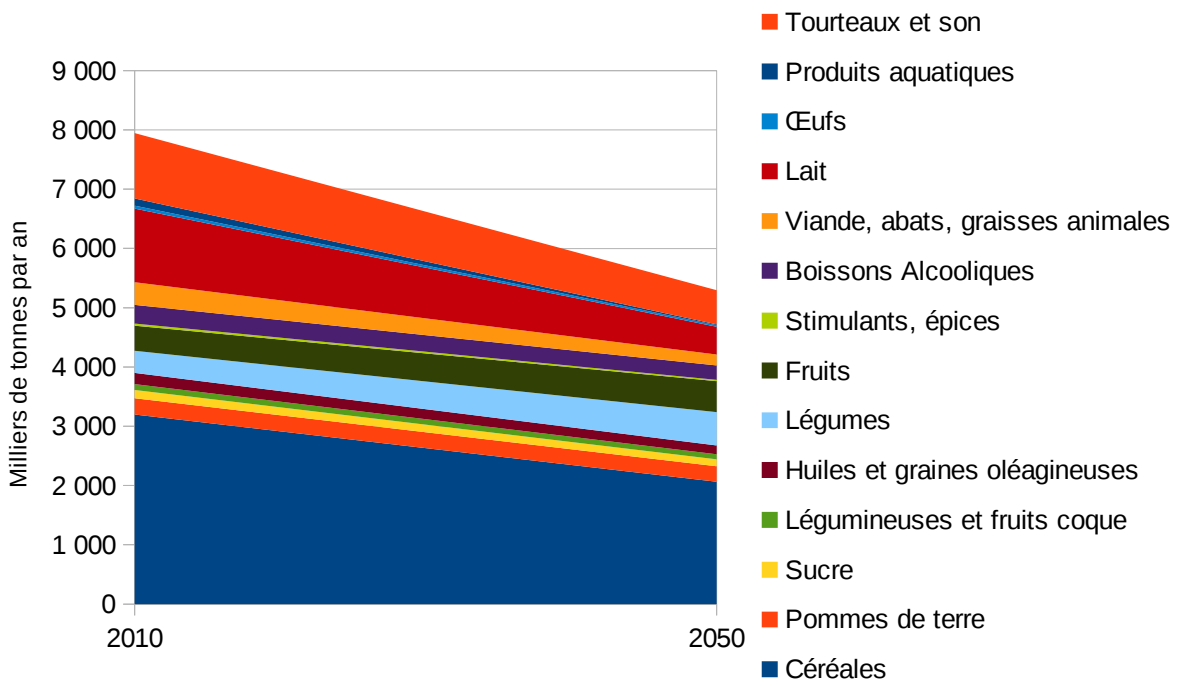



*Figure 34. Évolution de la demande intérieure totale en aliments des Pays de la Loire. Source : scénario Virage Énergie-Climat Pays de la Loire.*

Le bilan d'approvisionnement en aliments des Pays de la Loire est obtenu par différence entre la demande intérieure et la production (tableau et figure ci-dessous).

| Milliers de tonnes par an | 2010 | 2050 | Évolution |
|---|---|---|---|
| Céréales | 3 845 | 1 005 | -74% |
| Pommes de terre | - 223 | 17 | 108% |
| Sucre | - 139 | 24 | 117% |
| Légumineuses et fruits coque | 4 | 4 | 0% |
| Huiles et graines oléagineuses | 94 | 128 | 36% |
| Légumes | - 375 | 35 | 109% |
| Fruits | 107 | 52 | -51% |
| Stimulants, épices | - 36 | - 22 | 39% |
| Boissons Alcooliques | - 316 | 6 | 102% |
| Viande, abats, graisses animales | 374 | 191 | -49% |
| Lait | 2 051 | 1 228 | -40% |
| Œufs | 909 | 461 | -49% |
| Produits aquatiques | - 117 | - 15 | 87% |
| Tourteaux et son | - 936 | - 409 | 56% |

Tableau 60. Évolution du bilan d'approvisionnement en aliments des Pays de la Loire de 2010 à 2050. Source : scénario Virage Énergie-Climat Pays de la Loire.

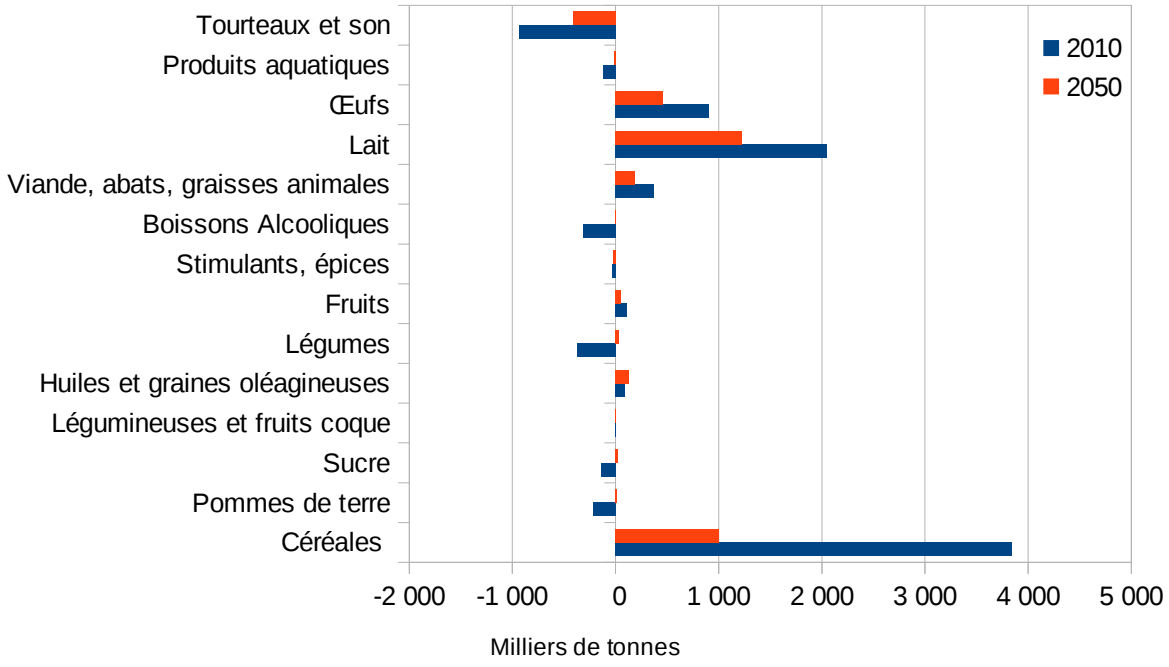



*Figure 35. Évolution du bilan d'approvisionnement en aliments des Pays de la Loire de 2010 à 2050. Source : AfterresPdL.*

Les Pays de la Loire restent exportateurs nets de céréales et de produits animaux vers d'autres régions françaises et/ou vers nos proches voisins (Europe, Maghreb).

Il n'y a plus d'importation de tourteaux de soja d'Amérique du Sud en France dans Afterres2050. La production régionale d'huiles et graines protéagineuses et de tourteaux pour l'alimentation animale augmente, mais sans pouvoir satisfaire entièrement les besoins en tourteaux et son des élevages de porcs et de volailles. Les besoins alimentaires de ces élevages de monogastriques devront être satisfaits par l'importation de tourteaux d'autres régions, notamment du Sud Ouest de la France, plus propices à la culture d'oléo-protéagineux (soja, tournesol, colza...).

L'autosuffisance alimentaire régionale est atteinte en 2050, tant pour l'alimentation humaine que pour l'alimentation animale. Les seuls denrées alimentaires importées sont les stimulants et les épices qui ne peuvent être produits dans les Pays de la Loire, et une faible part de produits de la mer.

### 6.5.5. Énergie et valorisations non alimentaires de la biomasse de l'agriculture et de la forêt des Pays de la Loire

#### *6.5.5.1. Produire des bioénergies avec la biomasse agricole et forestière des Pays de la Loire*

Les bioénergies sont aujourd'hui constituées majoritairement de bois bûche, utilisé dans ses applications traditionnelles pour le chauffage des logements. Cet usage diminue progressivement dans le scénario Virage Énergie-Climat Pays de la Loire, en même temps que les besoins de chauffage, au profit d'installations collectives (réseaux de chaleur) ou industrielles.
Le biogaz est valorisé dans un premier temps par cogénération d'électricité et de chaleur, puis de plus en plus sous forme de biométhane injecté sur le réseau public. Une partie de la biomasse ligneuse est également convertie en biométhane par gazéification, suivie d'une réaction de méthanation.
La biomasse fournit ainsi deux voies de substitution du gaz naturel par du méthane renouvelable. L'une des nouvelles utilisations du gaz est celle des transports : le scénario Virage Énergie-Climat Pays de la Loire prévoit de remplacer une bonne partie des carburants par du méthane, en remplacement des produits pétroliers.

| RESSOURCES (TWh) | 2010 | 2050 | Évolution |
|---|---|---|---|
| Bois énergie issu de la forêt | 3.70 | 5.9 | 59% |
| Produits connexes de scierie énergie | | 0.2 | |
| Bois énergie espaces arborés hors forêt | | 0.7 | |
| Déchets de bois | | 0.5 | |
| Sous total bois et dérivés | 3.7 | 7.2 | 94% |
| Déchets biodégradables | 0.3 | 0.5 | 67% |
| Déjections d'élevage méthanisées | | 2.7 | |
| Cultures intermédiaires méthanisées | | 3.2 | |
| Résidus de culture méthanisés | | 3.6 | |
| Biogaz ex-prairie | | 1.8 | |
| Sous total biogaz | 0.3 | 11.8 | 3833% |
| Résidus de culture usage combustion | | 0.3 | |
| Biocarburants sur terres labourables nouvelles productions | | 0.5 | |
| TOTAL | 4.0 | 19.8 | 396% |

Tableau 61. Évolution des productions de bio-énergie issue de la forêt et de l'agriculture des Pays de la Loire, 2010-2050. Sources : Atlanbois (2012), scénario Virage Énergie-Climat Pays de la Loire.

Le tableau et la figure ci-dessous présentent l'évolution de la production de bio-énergie issue de la forêt et de l'agriculture des Pays de la Loire de 2010 à 2050, selon notre scénario.

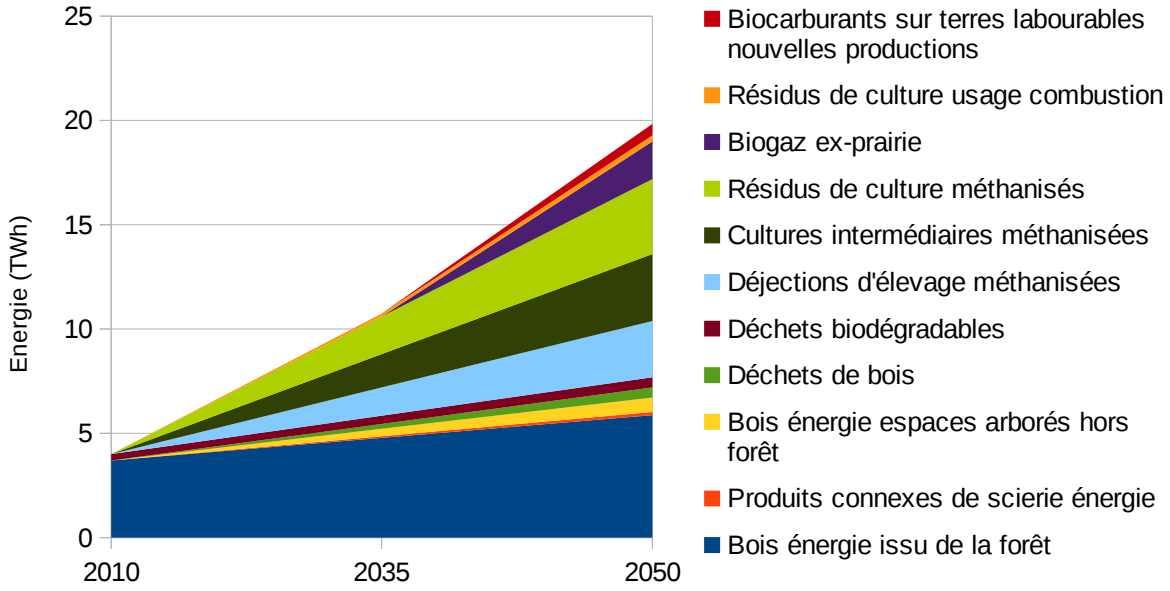



*Figure 36. Évolution des productions de bio-énergie issue de la forêt et de l'agriculture des Pays de la Loire, 2010-2050. Source : scénario Virage Énergie-Climat Pays de la Loire.*

La ressource bois-énergie est multipliée par environ 2, selon cette vision prospective de l'évolution de la forêt des Pays de la Loire, étayée par l'étude d'Atlanbois (2012).

#### 6.5.5.1.1. Le biogaz

Le biogaz est produit par méthanisation[91], un procédé biologique de transformation de la matière organique en biogaz, par l'action de bactéries. Le produit digéré - ou digestat – issu de la méthanisation contient la matière organique non biodégradable (lignine..), les matières minérales (azote...) et l'eau. Sa valeur fertilisante n'est pas dégradée. L'azote du digestat est majoritairement présent sous forme d'ammoniaque : plus facile à gérer que l'azote organique, mais aussi plus volatile.
La méthanisation est donc utilisée dans notre scénario à la fois comme outil de production d'énergie à partir des diverses ressources agricoles disponibles sur un territoire, mais également comme un outil d'optimisation de la fertilisation. Elle participe efficacement au recyclage de l'azote d'origine organique, de manière à limiter les besoins en engrais azotés.
La méthanisation devient dans notre scénario un standard de toute production agricole, qu'il s'agisse des systèmes d'élevage comme de cultures. Elle pourra prendre comme aujourd'hui des formes multiples, depuis des unités à la ferme jusqu'aux installations collectives territoriales.

Les ressources utilisées pour la production de biogaz agricole représentent 5 millions de tonnes de matières sèches en 2050, réparties en 4 postes : déjections d'élevage (paille inclue), cultures intermédiaires, résidus de culture, et herbe de fauche :

| **Millions de tonnes de matière sèche** | **2010** | **2050** | **Évolution** |
|---|---|---|---|
| Déjections d'élevage produites | 3300 | 1400 | -58% |
| *Dont déjections d'élevage méthanisées* | | *1300* | |
| Cultures intermédiaires méthanisées | | 1280 | |
| Résidus de culture produits | 6500 | 5600 | -14% |
| *Dont résidus de culture méthanisés* | | *1700* | |
| Biogaz ex-prairie | | 600 | |
| **TOTAL BIOGAZ AGRICOLE** | | **5 000** | |

Tableau 62. Évolution de la ressource en biogaz des Pays de la Loire, 2010-2050. Source : scénario Virage Énergie-Climat Pays de la Loire.

Le biogaz voit sa production multipliée par environ 40 et atteint 11.8 TWh en 2050. Il est d'origine agricole à plus de 90%.

La principale production de biogaz provient actuellement des déchets des ménages et des entreprises : biodéchets, dont effluents d'élevage, boues de station d'épuration, effluents industriels, déchets agro-alimentaires, etc. Le scénario VEC prévoit l'apparition d'un double phénomène : une part croissante de ces déchets sont méthanisés, mais la quantité de déchets diminue grâce à la réduction des pertes et des gaspillages.
De la même façon, la quantité de déjections d'élevage diminue, en lien avec la diminution des cheptels et l'augmentation du temps de pâture, mais le taux de mobilisation en méthanisation augmente.
Le gisement de déjections d'élevage méthanisables prend en compte le rédéploiement des élevages sur les prairies et ne correspond qu'aux effluents récupérables dans les bâtiments d'élevage après ce retour à l'herbe.

91 http://www.solagro.org/site/406.html

Le taux de mobilisation tient compte des ressources trop dispersées pour pouvoir alimenter une unité de méthanisation, mais il est élevé, de l'ordre de 90 %.
Nous prévoyons de mobiliser un quart des résidus de culture pour alimenter des unités de méthanisation. La diminution des cheptels conduit à réduire les quantités de paille utilisées en litière animale. Le taux de mobilisation de la paille augmente par rapport à aujourd'hui : la méthanisation conserve l'intégralité du potentiel humique de la paille et de sa valeur fertilisante (éléments minéraux). Elle transforme moins de la moitié du carbone total en biogaz, qui est autant d'énergie non disponible pour la vie du sol. Il faut donc limiter les prélèvements, d'autant que la paille joue un effet structurant pour le sol. Un taux de prélèvement de 25% des pailles, dont 60% du contenu en carbone total est restitué aux sols, est compatible avec les objectifs de conservation des sols. La généralisation des pratiques de couverts permanents et de travail superficiel du sol contribue à maintenir des sols riches en matière organique.

Comme évoqué précédemment, nous proposons de faire évoluer les systèmes d'élevage bovin vers de nouvelles productions basées sur l'herbe. L'équivalent de 230 000 hectares de prairies de fauche est utilisé pour alimenter des méthaniseurs, représentant un potentiel de 1.8 TWh.

Les cultures intermédiaires sont collectée et méthanisées, toujours dans une double vocation de production d'énergie et d'engrais vert. Les cultures intermédiaires sont récoltées en vert, elles présentent une valeur fourragère, mais n'atteignent jamais la maturité. Elles peuvent être utilisées comme aliment pour le bétail. Dans notre scénario, elles sont destinées en grande partie à la production d'énergie. Leur potentiel de récolte est estimé à près de 1 280 milliers de tonnes de matières sèches. Il tient compte des contraintes inhérentes à ces productions : toute la production n'est en effet pas récoltable du fait de faibles rendements, soit en raison de la nature des sols, soit en raison des aléas climatiques qui peuvent modifier fortement les récoltes d'une année sur l'autre. Le potentiel de ces cultures intermédiaires est estimé à 3.2 TWh.

#### 6.5.5.1.2. Cultures énergétiques dédiées

Outre les 230 000 hectares de prairies récoltées pour la méthanisation, notre scénario intègre comme dans Afterres2050 une production de biocarburant sur des surfaces de terres arables dédiées à cet usage.
La production de biocarburants commence sur des terres arables libérées en 2035, lorsque la triple transition – nutritionnelle, agricole et énergétique – sera suffisamment engagée pour rendre à nouveau légitime l'utilisation de terres arables pour des productions non alimentaires.
En 2050, les surfaces destinées à ces usages représenteraient environ 25 000 hectares. Les agrocarburants qui seraient produits en 2050 seront certainement différents de ceux d'aujourd'hui.
Il est probable que certaines filières dites de seconde génération soient disponibles à cette date, intégrées à des solutions de type « bioraffinerie » de transformation de matières végétales en différents produits biosourcés, et générant des coproduits utilisables comme combustibles ou carburants.
Les agrocarburants produits à partir de 2035 serviront à alimenter en énergie les usages nécessitant un carburant à haute densité énergétique : le machinisme agricole et forestier et l'aviation.

#### *6.5.5.2. Production de bois*

Le tableau ci-dessous présente l'évolution de la production de bois de la forêt des Pays de la Loire de 2010-2050, d'après le scénario Virage Énergie-Climat Pays de la Loire.

| Millions de m3 ou équivalent | 2010 | 2050 | Évolution |
|---|---|---|---|
| PRODUCTION PRIMAIRE | 1.42 | 3.25 | 129% |
| Bois d'œuvre issu de la forêt | 0.55 | 0.82 | 48% |
| Bois d'industrie issu de la forêt | 0.13 | 0.21 | 59% |
| Bois énergie issu de la forêt | 0.74 | 1.92 | 160% |
| Bois énergie issu des arbres hors forêt | | 0.30 | |
| PRODUCTIONS DERIVEES | | 0.19 | |
| Connexes de scieries utilisés en industrie | | 0.06 | 48% |
| Connexes de scieries utilisés en énergie | | 0.06 | 48% |
| Déchets issus du bois | | 0.07 | |
| TOTAL | 1.42 | 3.44 | 142% |

Tableau 63. Évolution de la production de bois de la forêt des Pays de la Loire, 2010-2050. Sources 2010 : Agreste et Atlanbois (2012), source 2050 : scénario Virage Énergie-Climat Pays de la Loire.

On distingue les ressources en bois « primaires », et les ressources « dérivées » issues des sciages, des industries de transformation (menuiserie, usines de pâtes à papier), et de la consommation (bois de rebut, démolition, déchets ménagers et déchets des entreprises, incluant papiers et cartons).
Le tableau est basé sur la production régionale primaire. Les productions dérivées en 2050 ont été évaluées à partir des potentiels donnés dans l'étude Atlanbois (2012) et restent très prospectifs.

La demande en bois d'œuvre sera importante dans notre scénario, car la construction bois prend une part significative, dans le neuf comme en rénovation. La France importe des bois tropicaux, ce qui participe à la déforestation mondiale, alors que sa filière bois est en difficulté, comme en témoigne le déclin du sciage ainsi que la fermeture de papeteries pour ce qui concerne le bois d'industrie.
Pourtant, il est envisageable d'augmenter significativement la production de bois d'œuvre, y compris et surtout en feuillus.

Cette production de bois d'œuvre nécessite des opérations sylvicoles et s'accompagne d'une production de petits bois. C'est ce « bois lié » qui constitue aujourd'hui l'essentiel de la production de bois énergie (hormis les taillis exploités traditionnellement en bois de chauffage). Le bois d'œuvre permet de stocker durablement du carbone, cette filière ne s'oppose pas à celle du bois énergie, qui en est au contraire complémentaire. Seule la moitié du potentiel est disponible dans les conditions économiques actuelles. Mais un doublement du prix du bois « bord de route » rendrait exploitable la quasi totalité de la ressource[92]. Comme dans Afterres2050, nous faisons l'hypothèse que d'ici 2050, l'augmentation du prix de l'énergie rendra cette ressource plus compétitive, et la disponibilité sera assurée grâce à l'amélioration des conditions de mobilisation (gestion de la forêt privée morcelée, logistique, structuration de la filière).

Le « bois hors forêt » englobe tous les produits issus des arbres hors forêts (haies, arbres urbains, etc.) et tous les produits issus du bois matériau. Les « connexes de scierie » (dosses, délignures, écorces) sont aujourd'hui utilisés pour produire de la pâte à papier, une partie est valorisée en énergie. Leur volume est en augmentation du fait de l'augmentation des sciages. Les « déchets issus du bois » englobent à la fois des bois de rebut (broyats de palette, emballages), des bois issus de la déconstruction des bâtiments, ainsi que des déchets issus des produits dérivés du bois : papiers cartons non recyclables, liqueurs noires de papeteries, boues de papeteries, etc. L'ensemble de ces matières dérive de l'utilisation de bois d'œuvre et de bois d'industrie, matériaux destinés à devenir des déchets après usage, à plus ou moins long terme – sauf pertes via incendies et termites.

La consommation de bois d'œuvre et de bois d'industrie est en augmentation du fait d'une relocalisation d'une partie de la production de pâte à papier, et de nouveaux usages des fibres de bois en substitution aux matières de synthèse.

Ces différentes matières sont aujourd'hui en partie valorisées en énergie sous diverses formes : chaufferies bois alimentées en bois de rebut, chaudières à liqueurs noires, incinérateurs de déchets, etc. Nous avons estimé que ce potentiel allait augmenter parallèlement à l'augmentation des usages bois matériaux en 2050.

Les haies, l'agroforesterie, les infrastructures agro-écologiques, les arbres urbains, espaces verts, parcs et jardins, vignes et vergers, c'est-à-dire d'une manière générale tous les arbres «hors forêt », sont également, comme dans Afterres2050, fortement développés dans notre scénario.

92 Une hausse de 30 €/m3 de bois (soit un quasi doublement par rapport au prix moyen actuel) correspond à une augmentation de 20 € du baril de pétrole brut.

### 6.5.6. Évolution des indicateurs environnementaux de l'agriculture et de la forêt des Pays de la Loire de 2010 à 2050

#### *6.5.6.1. Évolution du bilan azoté des Pays de la Loire*

Le bilan d'azote reste proche du bilan actuel (tableau et figures ci-dessous).

| | 2010 | | 2050 | | Évolution | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Bilan azote « sols agricoles »** | **Entrées** | **Sorties** | **Entrées** | **Sorties** | **Entrées** | **Sorties** |
| Engrais minéraux | 160 | | 100 | | -38% | |
| Fixation symbiotique | 60 | | 140 | | 133% | |
| Redéposition atmosphérique | 60 | | 30 | | -50% | |
| Exportations par les fourrages | | 190 | | 150 | | -21% |
| Exportations par les cultures | | 160 | | 230 | | 44% |
| Retour via la pâture | 50 | | 20 | | -60% | |
| Retour via les effluents d'élevage | 90 | | 50 | | -44% | |
| Retour via les résidus de culture | 50 | | 30 | | -40% | |
| Retour via les digestats de prairie et cultures intercalaires | 0 | | 80 | | | |
| Pertes par volatilisation et lessivage | | 130 | | 80 | | -38% |
| TOTAL | 470 | 480 | 450 | 460 | -4% | -4% |

Tableau 64. Évolution de bilan azoté des Pays de la Loire, 2010-2050. Source : scénario Virage Énergie-Climat Pays de la Loire.

La quantité totale des « apports au sol » est, en 2050, assez proche des apports actuels, mais la structure du bilan est très différente.

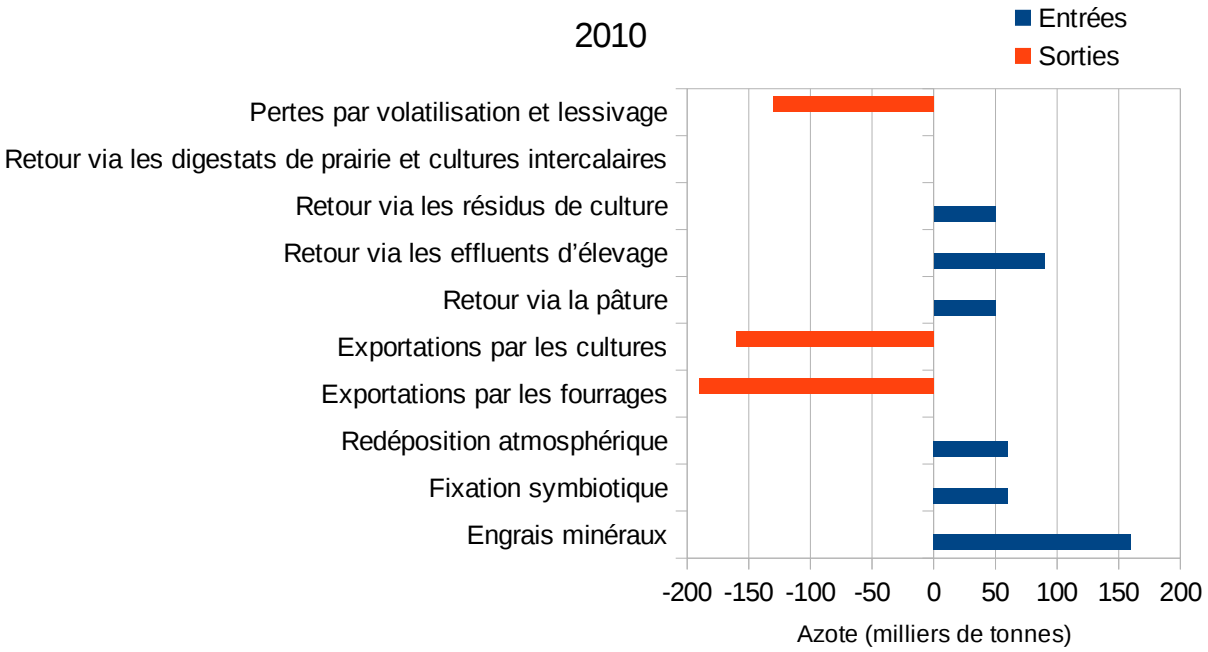



*Figure 37. Bilan azoté des Pays de la Loire en 2010. Source : scénario Virage Énergie-Climat Pays de la Loire.*

La valeur protéique des productions végétales, représentée par les exportations vers les fourrages et les cultures, est supérieure, tandis que les pertes sont inférieures, ce qui indique une meilleure efficacité du système (Figure 37, Figure 38).

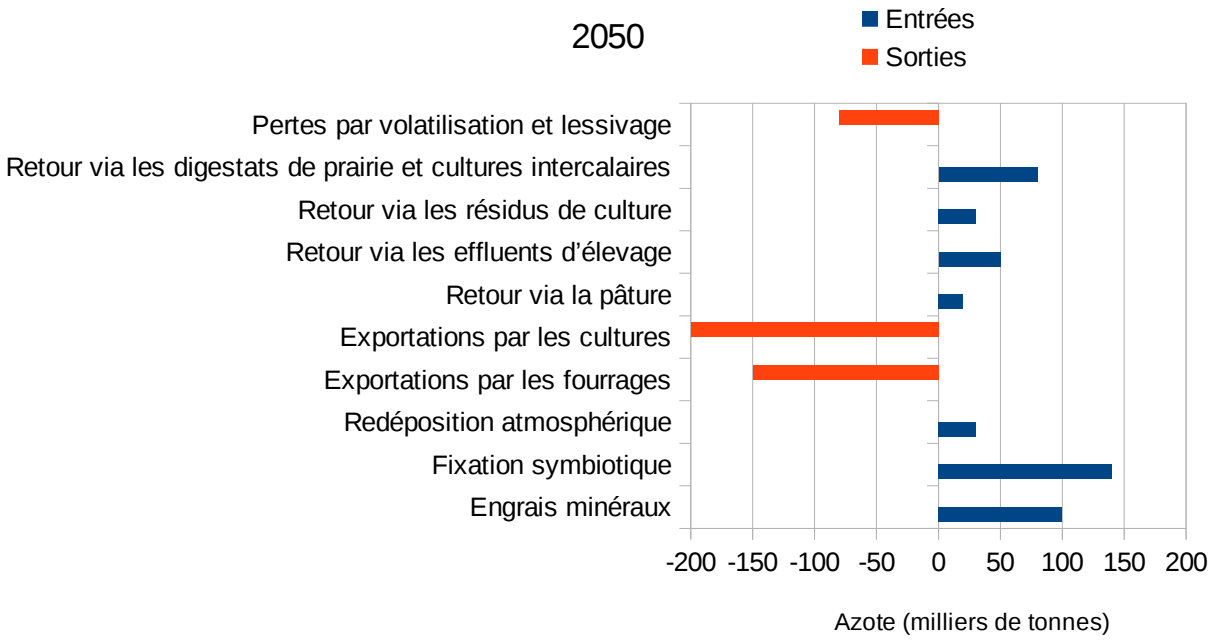



*Figure 38. Bilan azoté des Pays de la Loire en 2050. Source : scénario Virage Énergie-Climat Pays de la Loire.*

La diminution des retours via la pâture et les effluents d'élevage, liée à la diminution du cheptel, est compensée par les engrais verts apportés par les digestats de méthanisation issus des prairies et cultures intercalaires.

Le retour du digestat maintient la fonction de transfert de fertilité depuis les prairies riches en légumineuses vers les terres arables, en complément de la fumure organique apportée par les élevages. Il faut souligner ici que les animaux ne « produisent » pas de l'azote, la production primaire d'azote est uniquement due aux légumineuses et aux engrais azotés. On renoue ainsi avec la vocation de production de force motrice autrefois dévolue aux prairies – plus qu'aux terres arables - avec les chevaux et les bœufs, tout en conservant les fonctions agro-écologiques des prairies, et sans pour autant en revenir à la traction animale.

Les pertes par volatilisation et par lessivage diminuent de 40%, tout comme la consommation d'engrais minéraux, grâce à la diminution des pertes et à l'augmentation des légumineuses (+ 117%). Qui plus est, ces engrais sont produits à partir de biométhane, bouclant ainsi la boucle...

### *6.5.6.2. Évolution des consommations d'énergie de l'agriculture des Pays de la Loire*

La consommation d'énergie est réduite de 38% (tableau et figure ci-dessous).

| Consommation d'énergie dans l'agriculture, TWh | 2010 | 2050 | Evolution |
|---|---|---|---|
| Energie directe | 5.4 | 3.1 | -43% |
| Carburants | 2.3 | 1.5 | -35% |
| Electricité | 1.8 | 0.8 | -56% |
| Combustibles | 1.2 | 0.58 | -52% |
| Energie indirecte | 4.5 | 2.9 | -36% |
| Azote | 3 | 1.6 | -47% |
| autres intrants | 0.8 | 0.6 | -25% |
| Matériel | 0.8 | 0.7 | -13% |
| Total | 9.9 | 6.1 | -38% |

Tableau 65. Evolution des consommations d'énergie directe et indirecte des Pays de la Loire. Source : scénario Virage Énergie-Climat Pays de la Loire.

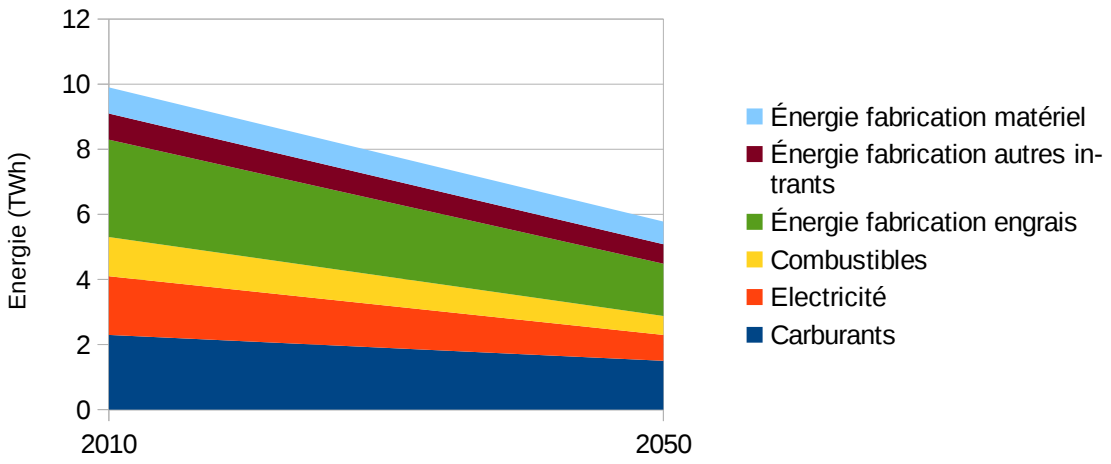



*Figure 39. Evolution des consommations d'énergie directe et indirecte des Pays de la Loire. Source : scénario Virage Énergie-Climat Pays de la Loire.*

Les principales économies d'énergie sont réalisées sur l'électricité et la fabrication des engrais, utilisés en moins grande quantité. Des économies importantes sont réalisées sur les combustibles en supprimant notamment progressivement la culture de légumes hors saison sous serres chauffées, très énergivore.

### *6.5.6.3. Les émissions de gaz à effet de serre agricoles des Pays de la Loire de 2010 à 2050*

Le scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire permet de diviser les émissions de gaz à effet de serre de l'agriculture par plus de 2 (-54 %, tableau et figures ci-dessous).

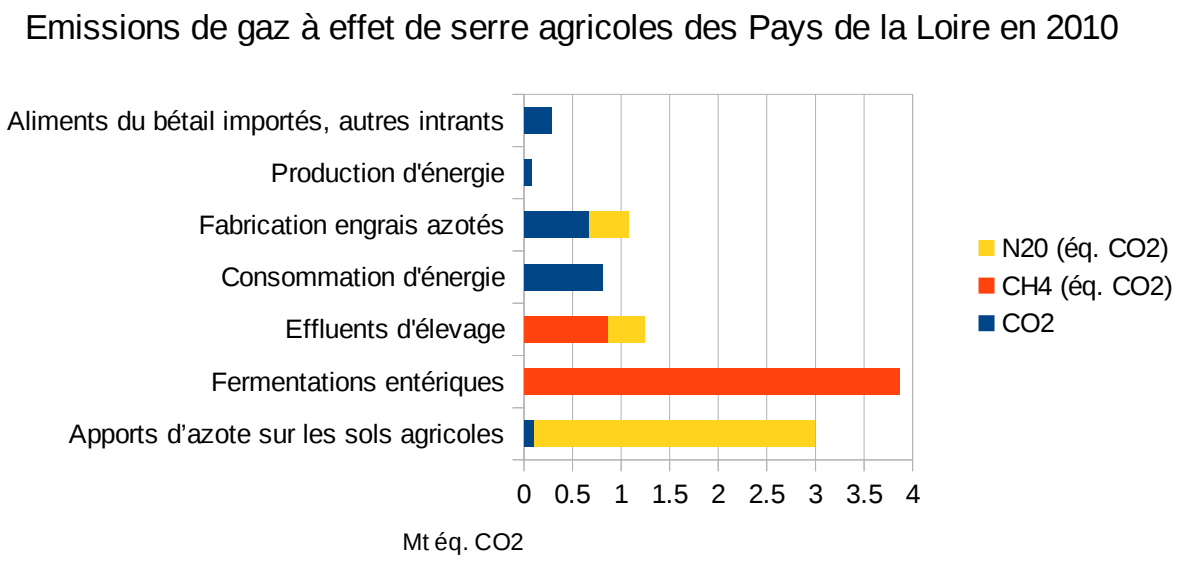



*Figure 40. Émissions de gaz à effet de serre agricoles des Pays de la Loire en 2010*

Les principaux facteurs de diminution sont liées à la diminution du cheptel bovin et à la meilleure maîtrise de la fertilisation azotée, qui joue à la fois sur les émissions de N2O et les consommations de gaz fossile. Des progrès techniques interviennent en outre sur la fabrication des engrais, ce qui permet de diminuer la consommation d'énergie (-20%) et d'émettre moins de N20.

| | 2010 | | | | 2050 | | | | Evolution total |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **M t éq. CO2** | **$CO_2$** | **$CH_4$ (éq. $CO_2$)** | **$N_20$ (éq. $CO_2$)** | **Total** | **$CO_2$** | **$CH_4$ (éq. $CO_2$)** | **$N_20$ (éq. $CO_2$)** | **Total** | |
| Émissions directes | 0.92 | 4.73 | 3.26 | 8.91 | 0.62 | 1.32 | 2.07 | 4.01 | -55% |
| Apports d'azote sur les sols agricoles, lessivage et volatilisation NH3, chaux | 0.1 | 0 | 2.89 | 3 | 0.1 | 0 | 1.94 | 2.04 | -32% |
| Fermentations entériques | 0 | 3.86 | 0 | 3.86 | 0 | 1.29 | 0 | 1.29 | -67% |
| Effluents d'élevage | 0 | 0.87 | 0.37 | 1.24 | 0 | 0.04 | 0.13 | 0.17 | -86% |
| Consommation d'énergie | 0.81 | 0 | 0 | 0.81 | 0.52 | 0 | 0 | 0.52 | -36% |
| Émissions indirectes | 1.13 | 0 | 0.41 | 1.54 | 0.75 | 0 | 0.02 | 0.77 | -50% |
| Fabrication engrais azotés | 0.67 | 0 | 0.41 | 1.08 | 0.37 | 0 | 0.02 | 0.39 | -64% |
| Production d'énergie | 0.08 | 0 | 0 | 0.08 | 0.05 | 0 | 0 | 0.05 | -38% |
| Aliments du bétail importés, autres intrants | 0.28 | 0 | 0 | 0.28 | 0.24 | 0 | 0 | 0.24 | -14% |
| **TOTAL** | **2.05** | **4.73** | **3.67** | **10.45** | **1.36** | **1.32** | **2.09** | **4.78** | **-54%** |

Tableau 66. Évolution des émissions de gaz à effet de serre agricoles des Pays de la Loire, 2010-2050.

*Figure 41. Émissions de gaz à effet de serre agricoles des Pays de la Loire en 2050.*

Cette division des gaz à effet de serre s'accompagne d'une augmentation de l'effet « puits de carbone », qui reste toutefois difficile à estimer : la surface de forêt augmente, celle des prairies se stabilise, le rythme de l'artificialisation ralentit sans pour autant s'arrêter. La quantité de carbone par unité de surface dans les sols augmente pour les terres arables, grâce aux techniques de travail simplifiées du sol et à la systématisation des couverts végétaux. La quantité de biomasse aérienne en forêt augmente puisque la totalité de la production biologique annuelle n'est pas prélevée, mais moins que dans un scénario avec un plus faible prélèvement.

La diminution des émissions de gaz à effet de serre de l'agriculture des Pays de la Loire atteint 60 % si l'on considère que les consommations d'énergie directes de l'agriculture et de la forêt sont satisfaites avec des énergies renouvelables ne dégageant pas de carbone fossile dans l'atmosphère. La réduction peut atteindre 67 % si les intrants sont également produits avec de l'énergie renouvelable.

L'objectif d'une division par 4 des émissions de gaz à effet de serre en agriculture semble difficile à atteindre dans les Pays de la Loire, sauf à générer des ruptures sociétales que nous considérons comme trop brutales, comme la suppression de la quasi totalité du cheptel bovin, ou le boisement du tiers de la surface agricole de manière à stocker du carbone.

#### *6.5.6.4. Des agrosystèmes plus résistants au changement climatique*

Au delà du respect du principe fondamental de l'agronomie qui consiste à choisir des assolements cohérents et des cultures avec les disponibilités climatiques (somme des températures et précipitations), Afterres2050, dans ses choix et options, joue sur la résilience globale en augmentant ou en restaurant la capacité des agrosystèmes à « encaisser » des écarts climatiques importants sur une courte période (sécheresses, orages).

Cette plus grande résilience découle principalement de :

- l'allongement de rotations et la diversification des assolements : synonyme de diversité variétale dans le temps et dans l'espace, cette stratégie « qui revient à ne pas mettre tous ses œufs dans le même panier », sécurise les revenus des agriculteurs
- l'adoption de nouvelles conduites de cultures qui tiennent compte des disponibilités climatiques (par d'autres méthodes de travail – voire de non travail du sol par exemple),
- une couverture « permanente » des sols, en partie garante d'un maintien d'un haut niveau de matière organique, d'une meilleure gestion des réserves en eau, et d'une maîtrise des phénomènes d'érosion, etc.

Pour la forêt, les contraintes d'adaptation sont beaucoup plus fortes, les arbres n'étant pas des plantes annuelles, mais des productions de long terme.
Quant aux forestiers, ils s'apprêtent à suivre les recommandations du plan national d'adaptation au changement climatique qui préconise de remettre de la diversité dans les peuplements, de favoriser les espèces les plus résistantes, et de modifier ses interventions (éclaircies, espacement des arbres) afin de valoriser au mieux des ressources en eau qui pourraient devenir un facteur limitant.
L'introduction d'essences plus méridionales est également proposée.

## 6.6. Discussion et conclusions

Le scénario Afterres2050 sur lequel se base le volet agriculture et forêt du Scénario Virage Énergie-Climat Pays de la Loire est un scénario qui permet de répondre de façon réaliste aux contraintes nouvelles qui s'exercent de plus en plus fortement sur l'agriculture : contraintes réglementaires environnementales qui vont s'imposer à notre pays à moyen et long termes (Directive Cadre sur l'Eau, loi de programme n° 2005-781 du 13 juillet 2005 fixant les orientations de la politique énergétique...), mais aussi contraintes économiques, liées à la coûteuse dépendance de l'agriculture aux énergies fossiles, dont les prix vont fortement augmenter dans les années à venir[93].

D'autres scénarios ont été proposés par l'Ademe à partir de la même base de modélisation qu'Afterres[94]. Le scénario Gamma permet ainsi une division par 3.2 des émissions de GES agricoles, mais exige des changements beaucoup plus extrêmes que ceux préconisés par Afterres : élevage intensif, réduction forte de la consommation de viande, arrêt des exportations agricoles et reboisement des terres agricoles. Ces hypothèses ne nous semblent pas applicables, contrairement à celles d'Afterres, plus équilibrées.

Le volet agriculture et forêt du scénario de Virage Énergie-Climat basé sur Afterres n'est donc pas un scénario de rupture, mais un scénario pragmatique au regard des enjeux à venir et de l'inertie des secteurs de production primaire. Il prend en considération les très lourds investissements nécessités par les productions agricoles et sylvicoles, ainsi que la complexité des systèmes biologiques en jeu, qui imposent de considérer ces secteurs d'une façon différenciée, notamment du fait de l'importance dans ce secteur d'émissions importantes de GES non liés à l'énergie, mais à la production agricole elle-même.

Le scénario Virage Énergie-Climat propose une transformation profonde des systèmes agricoles et sylvicoles régionaux, qui permet une réduction de 54 à 67 % des émissions de GES agricoles des Pays de la Loire en 2050, sans atteindre la réduction d'un facteur 4 des émissions de GES inscrite dans la loi sur l'énergie de 2005. Nous verrons cependant dans le chapitre synthèse que la diminution relativement moins importante des émissions de GES de l'agriculture et de la forêt des Pays de la Loire est globalement compensée, à l'échelle de la région, par les diminutions d'émissions des autres secteurs, dont les émissions de GES sont essentiellement liées à l'utilisation d'énergies fossiles.

La transition agricole et sylvicole prônée par le scénario Virage Énergie-Climat vise de plus à éviter les regrets futurs, en offrant des bénéfices multiples : autonomie alimentaire et amélioration de la santé, préservation de l'emploi agricole, diminution de la pollution des eaux, restauration de la biodiversité, résistance accrue aux chocs climatiques et énergétiques et fourniture d'énergie et de bio-matériaux.

93 http://www2.ademe.fr/servlet/getDoc?cid=96&m=3&id=85625&p1=30&ref=12441
94 http://www.ademe-et-vous.ademe.fr/sites/default/files/strategie-etudes/36/ademetudestrat36bat.pdf

Les Pays de la Loire restent importateurs nets de tourteaux pour l'alimentation des élevages de porcs et de bovins en 2050 dans le cadre de notre scénario, du fait de la forte concentration actuelle de ce type d'élevages dans la région. Nous supposons en effet que d'autres régions françaises, notamment dans le quart Sud Ouest, pourraient produire suffisamment d'oléo-protéagineux (colza, tournesol, soja) pour remplacer le soja actuellement importé d'Amérique du Sud.

La délocalisation d'une partie des élevages de porcs et volailles des Pays de la Loire dans des régions déficitaires en protéines animales pourrait cependant permettre assurer l'autonomie alimentaire du cheptel de la région. Cette hypothèse dépasse le cadre de notre scénario strictement régional. Elle pourrait cependant être envisagée à l'avenir, si d'autres régions se lancent dans la transposition d'Afterres sur leurs territoires. La généralisation de démarches Afterres régionales, déjà entamées en 2012 dans 5 régions, permettrait ainsi d'envisager une diversification et un rééquilibrage des productions agricoles françaises, gage de stabilité des approvisionnements dans un environnement changeant.

Nous n'avons pas chiffré les retombées du volet agricole de notre scénario en termes économiques et d'emploi agricole, faute de temps, de moyens et de compétences. Nous pouvons cependant supposer, sur la base d'expériences concrètes menées notamment par les Centres d'Initiatives pour Valoriser l'Agriculture et le Milieu rural (CIVAM)[95], que le passage à des modes de production moins dépendants d'intrants toujours plus coûteux, devrait permettre de dégager une rentabilité nouvelle dans les exploitations agricoles. La moindre dépendance aux intrants et la diversification des activités agricoles[96] préconisées par notre scénario devrait de plus permettre d'inverser la tendance actuelle à la destruction des emplois agricoles, en créant de nouveaux métiers et de nouveaux emplois agricoles.

L'application du volet agricole du scénario Virage Énergie-Climat Pays de la Loire nécessite d'engager dès maintenant et sans regret la triple transition : alimentaire, agricole et énergétique, qui seule pourrait garantir l'avènement de sociétés humaines réellement durables, car fondées sur des apports de biomasse agricole et forestière renouvelables.

95 http://wordpress.civam.org/wp-content/uploads/Produire%20Econome%20et%20autonome.pdf
96 http://wordpress.civam.org/wp-content/uploads/Recueil%20experiences%20activites%20agri-rurales.ONVAR.nov2011.pdf

## 6.7. Références

AGRESTE (2009) – La consommation d'énergie directe des exploitations agricoles - Un enjeu énergétique bien compris, *Primeur*. Consultable à http://www.agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/primeur224.pdf [Accédé le 21 octobre 2010].

AGRESTE PAYS DE LA LOIRE (2011) –*TERUTI-LUCAS 2006-2010*, Agreste Pays de la Loire, 2011 Consultable à http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf_R5211A12.pdf.

ATLANBOIS (2012) –*Note sur le bois énergie en chaufferie automatique en région Pays de la Loire*, 2012 Consultable à http://www.atlanbois.com/telecharger/165.

CHAMBRES D'AGRICULTURE PAYS DE LA LOIRE (2011) –*Agriculture des Pays de la Loire*, Chambres d'agriculture Pays de la Loire, 2011 Consultable à http://www.agrilianet.com/publications/detail-publication/actualite//synthese-sur-lagriculture-des-pays-de-la-loire-en-2010.html.

CHEM TRUST (2012) –*A review of the science linking chemical exposures to the human risk of obesity and diabetes*, CHEM Trust, 2012 Consultable à http://www.chemtrust.org.uk/Obesity_and_Diabetes_publications.php [Accédé le 10 mars 2013].

CITEPA (2012) –*Inventaire des émissions de polluants atmosphériques en France - séries sectorielles et analyses étendues.*, (SECTEN, 2012 Consultable à http://www.citepa.org/publications/Secten-juin2009.pdf [Accédé le 24 février 2010].

CITEPA (2011) – Organisation et méthodes des inventaires nationaux atmosphériques en France - OMINEA, 8ème édition, Consultable à http://www.citepa.org/publications/Inventaires.htm#inv6.

DIRECTION RÉGIONALE DE L'AGRICULTURE ET DE LA FORÊT PAYS DE LA LOIRE (2000) –*Les Orientations Régionales Forestières Pays de la Loire*, 2000 Consultable à http://www.draaf.pays-de-la-loire.agriculture.gouv.fr/La-foret-des-Pays-de-la-Loire.

FAO (2011) –*Global food losses and food waste*, 2011 Consultable à http://www.fao.org/ag/ags/ags-division/publications/publication/en/?dyna_fef%5Buid%5D=74045 [Accédé le 23 février 2013].

GIEC (2006) – Volume 4. Agriculture, foresterie et autres affectations des terres, *in* H. S. Eggleston et al. dir., *Lignes directrices 2006 du GIEC pour les inventaires nationaux des gaz à effet de serre, préparé par le Programme pour les inventaires nationaux des gaz à effet de serre*, Consultable à http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/french/vol4.html.

INRA (2010) – Changement climatique, Consultable à http://www.inra.fr/la_science_et_vous/dossiers_scientifiques/changement_climatique [Accédé le 2 avril 2012].

INRA (2008) –*Projections des émissions/absorptions de gaz à effet de serre dans les secteurs forêt et agriculture aux horizons 2010 et 2020*, INRA, 2008 Consultable à http://www.inra.fr/content/download/19058/295197/version/1/file/GES_rapport-final.pdf.

INSEE PAYS DE LA LOIRE (2008) –*La filière bois en Pays de la Loire*, 2008 Consultable à http://www.insee.fr/fr/themes/document.asp?reg_id=3&ref_id=12739 [Accédé le 23 février 2013].

NAIZOT F., GRÉGOIRE P. (2006) –*Les ménages acteurs des émissions de gaz à effet de serre*, 2006 Consultable à http://www2.ademe.fr/servlet/getBin?name=EED90810-CEBB862F47CD7F37BFE22D0B1168614931540.pdf.

OMS (2003) –*Régime alimentaire, nutrition et prévention des maladies chroniques*, Organisation Mondiale de la Santé, 2003 Consultable à http://www.who.int/dietphysicalactivity/publications/trs916/summary/fr/ [Accédé le 10 mars 2013].

R DEVELOPMENT CORE TEAM (2011) –*R: A language and environment for statistical computing.*, Vienna, Austria, R Foundation for Statistical Computing, 2011 Consultable à http://www.R-project.org/.

SMITH P. et al. (2007) – Agriculture, *in* B. Metz et al. dir., *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA., Cambridge University Press,.

SOUCCAR T. (2008) –*Lait, Mensonges et Propagande*, Thierry Souccar Editions, 2008 Consultable à http://www.thierrysouccar.com/les_livres/nutrition/lait_mensonges_et_propagande_epuise [Accédé le 10 mars 2013].

# 7. ÉNERGIES RENOUVELABLES

## 7.1. Résumé

La région des Pays de la Loire possède un gisement important de sources d'énergies primaires renouvelables (ENR). Notre scénario passe en revue les différentes sources d'énergies renouvelables disponibles sur le territoire, ainsi que leur potentiel de développement en 2050.
Ne considérant que des sources éprouvées de captage, nous mettons en évidence un potentiel de production d'énergie renouvelable d'environ 63,5 TWh dans les Pays de la Loire en 2050 et proposons un scénario d'exploitation de ce potentiel de 2010 à 2050 (Tableau 67).

| Sources primaires | Potentiels d'énergie | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 2010 | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 |
| Solaire thermique | 0,04 TWh | 1,53 TWh | 3,05 TWh | 6,11 TWh | 10,18 TWh |
| Mini hydraulique | 0,02 TWh | 0,03 TWh | 0,03 TWh | 0,03 TWh | 0,03 TWh |
| Total éolien | 0,58 TWh | 4,32 TWh | 8,54 TWh | 14,37 TWh | 22,22 TWh |
| Solaire photovoltaïque | 0,07 TWh | 0,37 TWh | 1,46 TWh | 4,98 TWh | 11,25 TWh |
| Bois-énergie | 3,70 TWh | 4,55 TWh | 5,40 TWh | 6,30 TWh | 7,20 TWh |
| Agrocarburant | 0,00 TWh | 0,00 TWh | 0,04 TWh | 0,23 TWh | 0,50 TWh |
| Total biogaz | 0,30 TWh | 1,10 TWh | 2,60 TWh | 5,70 TWh | 11,80 TWh |
| Résidus agri. (combustion) | 0,00 TWh | 0,00 TWh | 0,10 TWh | 0,20 TWh | 0,30 TWh |
| **Total EnR** | **4,70 TWh** | **11,89 TWh** | **21,23 TWh** | **37,91 TWh** | **63,48 TWh** |

Tableau 67. Scénario de mobilisation du potentiel de production d'énergie renouvelable dans les Pays de la Loire.
Source : scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.

Nous proposons également un scénario d'acheminement de l'énergie primaire produite jusqu'aux utilisateurs finaux. Ce scénario décrit les vecteurs énergétiques à mettre en œuvre pour satisfaire 3 usages principaux de l'énergie : le chauffage, la mobilité et l'électricité spécifique, en prenant en compte les pertes d'énergie.

Notre scénario inclut également un mécanisme de régulation des flux des énergies renouvelables intermittents, basé sur la cogénération biogaz et le stockage d'électricité renouvelable sous forme de gaz naturel par méthanation. L'emploi de la méthanation pourrait permettre la reconversion de sites industriels comme la centrale thermique de Cordemais, idéalement située pour devenir une unité de méthanation importante dans la région des Pays de la Loire.

## 7.2. Introduction

### 7.2.1. Contexte géographique et physique

Comme bon nombre de régions françaises, la région des Pays de la Loire dispose de multiples gisements d'énergies renouvelables (ENR) : solaire direct, éolien, biomasse, mais également énergies marines. Située à l'ouest de l'Europe, la région bénéficie de l'influence de l'Océan Atlantique. L'ensoleillement se révèle relativement important. Les vents sont fréquents. Les pluies et le soleil permettent un développement végétal conséquent.

Ce chapitre présente l'évaluation du potentiel de production d'énergie renouvelable de la région Pays de la Loire du scénario Virage Énergie-Climat Pays de la Loire. En raison de l'irrégularité de certaines sources renouvelables (radiations solaires et flux éoliens) et du décalage temporel entre production et consommation, la problématique du stockage d'énergie doit être considérée. Ainsi, notre scénario prend en compte la mise en œuvre du stockage, de même que les pertes de transformation et de transport, qui entraînent une légère diminution de certains potentiels d'énergie renouvelable.

### 7.2.2. Contexte socio-économique et politique

Il existe dans les Pays de la Loire, un potentiel de compétences humaines très important, pour le développement des ENR :

- centres de formation de tous niveaux,
- écoles d'ingénieurs et instituts de recherche,
- associations dynamiques,
- bureaux d'études spécialisés,
- industries de pointe.

Nos propositions en faveur des ENR contribuent au débat sur la transition énergétique engagé aux niveaux régionaux et national.

## 7.3. Les données et la méthode utilisée

### 7.3.1. Sources de données

Nos travaux s'appuient sur différentes sources d'informations :

- le scénario négaWatt 2011 ,
- l'étude Explicit 2009, réalisée et publiée pour le compte de l'ADEME et la Région des Pays de la Loire [97](Explicit, 2009),
- les documents de travail de la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL), remis à l'automne 2011 pour la préparation du Schéma Régional Climat Air Energie (SRCAE),
- des données fournies par des professionnels.

### 7.3.2. Méthodologie employée

**Périmètre de l'étude**

L'évaluation du potentiel porte sur les différentes énergies renouvelables disponibles sur le territoire et la façade océanique de la région.

- Notre évaluation est basée sur le potentiel physique et prend en compte certaines contraintes, notamment géographiques et environnementales ; elle ne prend généralement pas en compte d'autres paramètres (politiques, administratifs,etc.).
- Cette évaluation s'appuie sur les technologies actuelles, lesquelles sont en évolution rapide ; cela laisse une marge importante pour conforter ce potentiel.
- Certaines évaluations sont basées sur la puissance des installations (notamment en éolien et solaire), puis valorisées en production annuelle d'énergie, selon un nombre d'heures de fonctionnement.

Nos résultats sont indiqués généralement en TéraWatt heure (TWh), parfois en Mégatonnes équivalent pétrole (Mtep).

**Méthode globale**

Notre démarche relative à l'utilisation des énergies renouvelables respecte les étapes suivantes :

- **étape 1** : recensement des gisements d'énergies renouvelables de la région ;
- **étape 2** : estimation de l'évolution des capteurs d'énergies renouvelables ;
- **étape 3** : définition des moyens nécessaires à mettre en œuvre pour atteindre une adéquation entre les sources d'énergie et les besoins en énergie ;
- **étape 4** : évaluation des pertes de production, de transformation, de stockage et de distribution des énergies ;
- **étape 5** : estimation des quantités d'énergie par grande famille d'usages (chaleur, mobilité, électricité spécifique), par décade entre 2010 et 2050.

97 http://ademe-pdll.typepad.fr/files/rapport-bilan-pdl-v4---26-mar-09-2.pdf

### 7.3.3. La production d'énergie à partir des énergies renouvelables

#### *7.3.3.1. Le gisement solaire direct*

Entre le nord et le sud de la région Pays de la Loire, l'irradiance solaire varie de 1220 kWh/m² à 1490 kWh/m². L'irradiance annuelle moyenne est de l'ordre de 1350 kWh/m².

Les capteurs d'énergie solaire peuvent s'installer sur des surfaces inclinées vers le ciel (comme une toiture de maison) et orientée de préférence vers le sud, pour capter le maximum du rayonnement solaire. Le potentiel est donc fonction de la quantité disponible de surfaces de ce type ; seule une faible partie de ces surfaces disponibles sera équipée.
Sont prises en compte les surfaces déjà bâties, c'est-à-dire celles qui ont une toiture (logements, hangars, magasins, constructions de toutes sortes, etc.), et non les surfaces artificialisées, qui incluent les parkings, routes, voies express, etc.

Les surfaces bâties représentent, selon l'INSEE, environ 2 % des surfaces totales. La surface de notre région est de 32 000 km$^2$ ; les 2 % de surfaces bâties couvrent 640 km$^2$.
L'hypothèse que nous avons retenue est de n'utiliser qu'environ 10 % de cette surface disponible, car certaines surfaces ne peuvent être équipées, notamment celles orientées au nord, ou du fait de contraintes techniques (présence de masques induisant des ombres). Nous estimons donc que 64 km$^2$ sont « équipables » en capteurs solaires.

##### 7.3.3.1.1. Potentiel solaire photovoltaïque

Le solaire photovoltaïque produit de l'énergie électrique à utiliser en site autonome, ou à injecter directement sur le réseau, pour une consommation propre ou revente au distributeur d'énergie. Elle doit être stockée pour un usage différé.
Différentes technologies matures sont utilisables : silicium cristallin, couche mince, etc. Les rendements tendent à augmenter (environ 0,25% par an). D'autres technologies, assurant de meilleures performances, ou permettant des coûts d'investissement plus faibles, sont en devenir.

**Ils l'ont fait !**

**2004 - Installation de panneaux solaires photovoltaïques chez un particulier à la Meignanne (49)**

24 modules solaires photovoltaïques ont été installés en toiture, soit 3 kilo Watts crête (kWc, i.e. la puissance maximale fournie par le capteur).
L'énergie électrique produite est injectée sur le réseau national. La production annuelle moyenne est de 3200 kWh, depuis 2004.

Nous prévoyons qu'en 2050, environ deux tiers des toitures équipables recevront des capteurs photovoltaïques, ce qui représente une surface totale de 40 km². Ces panneaux solaires permettront de produire 10,7 TWh électriques.

De plus, on estime raisonnablement à 2 km² le captage photovoltaïque implanté sur des surfaces complémentaires : 1 km² sur les décharges désaffectées, friches industrielles et carrières inutilisées, et 1 km² en bordure de routes et autoroutes. Ces capteurs apporteront alors 0,5 TWh électriques.

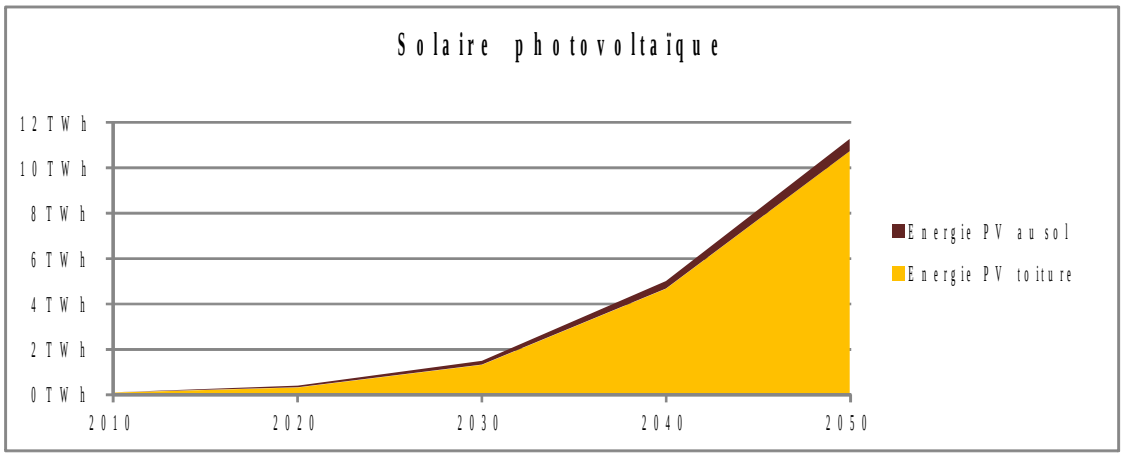



*Figure 42. Évolution de la production d'énergie issue du solaire photovoltaïque entre 2010 et 2050. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.*

Le graphique ci-dessus montre que, en 2050, les apports d'énergie électrique par captage photovoltaïque s'élèveront à 11,3 TWh (presque 1 Mtep), pour une surface de capteurs de 42 km$^2$.

## Ils l'ont fait !

**2011 - Panneaux photovoltaïques (PV) sur 4 hectares de friche industrielle[98] - Distré (49)**

8500 modules solaires photovoltaïques ont été installés au sol, soit 2 MWc.
L'énergie électrique produite est injectée sur le réseau national.
La production annuelle est estimée à 2200 MWh, correspondant à 700 tonnes de $CO_2$ évitées par an.

98 http://www.saumur-kiosque.com/infos_article.php?id_actu=9038#.UHKVqJhrOT4
http://www.batiactu.com/edito/une-premiere-centrale-solaire-au-sol-en-pays-de-la-30297.php
http://www.quenea.com/actualites/103-distre-49-une-inauguration-sous-le-soleil

7.3.3.1.2. Potentiel solaire thermique

Le solaire thermique produit de l'eau chaude destinée à différents usages :

- production d'eau chaude sanitaire dans l'habitat pour les particuliers,
- chauffage de tout type de locaux (hôpitaux, cliniques, maisons de retraite, bureaux, écoles, etc.),
- production d'eau chaude pour certains usages industriels à basse ou moyenne température.

Compte tenu des potentiels moyens disponibles en Pays de la Loire et des dispositifs mis en place, les énergies annuelles recueillies, pour les trois cas précédemment considérés, sont respectivement de 600 kWh/m², 420 kWh/m², 520 kWh/m².

Ainsi, en 2050, en équipant une surface totale de 19 km$^2$, l'ensemble de ces capteurs thermiques dégagerait une production annuelle de 10,2 TWh, soit 0,88 Mtep. Le graphique ci-dessous montre l'évolution de la production d'énergie thermique par capteurs solaires directs.

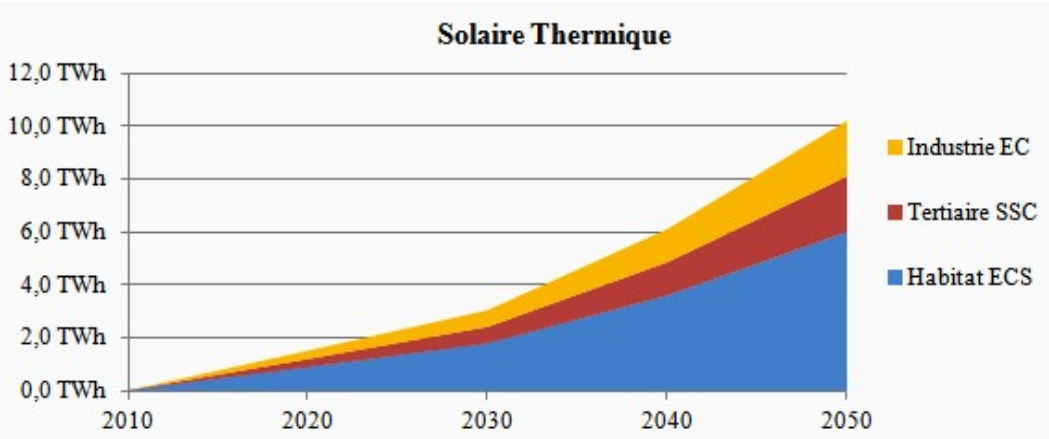



*Figure 43. Évolution de la production d'énergie issue du solaire thermique et de ses différents usages dans les Pays de la Loire, entre 2010 et 2050. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.*

De par son usage dans l'habitat pour l'eau chaude sanitaire (ECS), ce gisement solaire thermique est considéré dans le chapitre « Habitat ». En 2050, cet usage correspond à une production de 6 TWh, c'est à dire environ 0,52 Mtep, soit une surface d'environ 10 km².

## Ils l'ont fait !

**2009 - Panneaux solaires thermiques sur la Clinique de l'Anjou[99] - Angers (49)**

Installation de 160 panneaux solaires en terrasse sur une surface de 360 m². Système de préchauffage de l'eau chaude sanitaire (18 750 litres d'eau chaude sanitaire/jour, soit 25 litres/personnes/jour). Consommation de 289 MWh fossiles évitée (soit un rejet de 47 tonnes de $CO_2$ par an).

99 http://www.cliniquedelanjou.org/popup/clinique_verte.php

#### *7.3.3.2. Le gisement éolien*

Le potentiel éolien régional est décliné en fonction des différentes technologies envisageables :

- le potentiel éolien terrestre,
- le potentiel éolien maritime planté,
- le potentiel éolien maritime flottant,
- le potentiel éolien domestique et de moyenne puissance.

##### 7.3.3.2.1. Potentiel terrestre en grand éolien

Notre évaluation du potentiel terrestre en grand éolien repose sur trois analyses de base non redondantes :

1°/ Une évaluation géographique de la région permet de définir la superficie des zones où l'implantation d'éoliennes est réglementairement possible.
Elle vise à définir l'ensemble des secteurs. Elle se fonde sur un traitement exhaustif de l'ensemble des contraintes réglementaires s'appliquant à l'éolien :

- zones de dégagement des aéroports,
- périmètre de sécurité autour des radars (Météo France, Armée, DGAC),
- périmètre de protection des points d'émission de faisceaux Hertziens,
- monuments historiques (et ex-ZPPAUP),
- arrêté de protection de biotope,
- réserves naturelles (et réserves naturelles volontaires).

Pour notre étude, nous intégrons également les périmètres des 500 m autour des habitations existantes. En effet, le respect de l'ambiance acoustique au droit de chaque habitant des Pays de la Loire se traduit par le maintien de cette distance de référence. Elle correspond à une réalité physique prise en compte par les concepteurs de parcs éoliens.
Le croisement de ces deux niveaux de données, permet d'identifier les secteurs hors contraintes et donc théoriquement ouverts à l'implantation d'éoliennes sur la région.

Nous obtenons une superficie mobilisable de 2000 km² sur les quelques 32 270 km² de superficie régionale, soit environ 6 % du territoire régional. A raison de 400 mètres entre chaque éolienne alignée dans le sens des vents dominants et de 250 m dans les autres cas, nous pouvons considérer qu'une éolienne nécessite 0,1 km² (10 hectares) pour un fonctionnement techniquement opérationnel. Pour une machine standard de 2,5 MW, un MW a besoin de 4 ha soit 0,04 km². Le potentiel éolien terrestre maximum qu'offre la région Pays de la Loire est donc de 50 000 MW !

2°/ Une évaluation sociopolitique de l'acceptation de l'éolien analyse les puissances proposées dans les dossiers de ZDE (zone de développement éolien) sur un département type et extrapole à l'échelle de la région.

L'analyse des dossiers de ZDE déjà établis, avec prise en compte des contraintes environnementales et techniques et de la proximité des habitations, révèle un potentiel d'environ 1500 MW pour le seul département Loire-Atlantique (44). En parallèle, une résolution départementale porte à 600 MW l'objectif de ce département.

Le potentiel total des ZDE des Pays de la Loire a été estimé à 1500 MW, en multipliant le potentiel de la Loire Atlantique par 2.5. Ce facteur a été choisi afin de rendre compte du fait que la Loire Atlantique et la Vendée ont un potentiel plus « venté » que les trois autres départements de la région. Nous estimons ainsi un potentiel installé de 3000 MW. Ce chiffre correspond à l'objectif de 600 MW appliqué aux 5 départements de la région et semble donc refléter à la fois une réalité politique et une réalité sociale portée par les dossiers de ZDE.

3°/ Une évaluation technico-économique est réalisée grâce au positionnement des professionnels de l'éolien.

Une évaluation interne prudente de la part des professionnels de l'éolien donne un potentiel d'environ 2000 MW à l'horizon 2020. Cette évaluation est basée sur les projets en cours et réalisables à court terme, identifiés dans le cadre de la concertation menée par les instances décisionnaires en charge du Schéma Régional Éolien, dans le cadre du volet éolien du SRCAE.
La maturité technologique de l'éolien terrestre est maintenant avérée. Néanmoins, dans une logique de scénarisation à l'horizon 2050, nous devons anticiper les progrès technologiques à venir. Pour ce faire, nous partons du constat que la progression de l'efficacité du service rendu par les éoliennes réside dans les dimensions du rotor, leur puissance nominale et le nombre d'heure par an où la machine produit à l'équivalent de sa pleine puissance.

## Ils l'ont fait !

**2006 – Implantation d'un parc éolien relié au réseau électrique national[100] – Soudan (44)**

3 aérogénérateurs de puissance nominale 2,3 MW, 12,4 GWh produits par an

Bilan environnemental sur 15 ans :

270 GWh électriques produits

81 000 Tonnes de $CO_2$ évitées

Les parcs éoliens dans les Pays de la Loire sont déjà une réalité, mais dans les prochaines années, il paraît indispensable d'augmenter significativement le nombre d'aérogénérateurs, afin de produire de l'énergie électrique en adéquation avec les besoins des Ligériens.

100 http://s299787989.onlinehome.fr/index.php?id=48 et http://eoliennes.ancenis.free.fr/

Le graphique ci-dessous montre qu'à partir de 2030, compte tenu de l'amélioration des performances des aérogénérateurs et au passage à des machines de plus grande taille (ou 'repowering'), le nombre de machines du parc global tendra à se stabiliser, voire même à diminuer (Figure 44). Celles-ci seront plus puissantes et permettront au grand éolien terrestre de continuer à fournir à la région des quantités importantes d'énergie électrique, avec moins de machines.

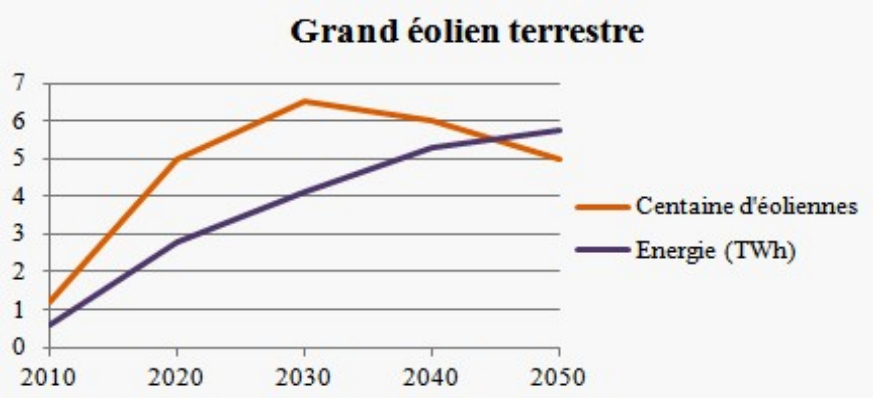



*Figure 44. Évolution de la production d'énergie issue du grand éolien terrestre dans les Pays de la Loire entre 2010 et 2050. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.*

Ainsi, nous estimons qu'en 2050, le grand éolien terrestre pourrait fournir 5,75 TWh, soit 0,5 Mtep. Les parcs éoliens terrestres totaliseront alors 500 aérogénérateurs

7.3.3.2.2. Potentiel du grand éolien en mer

La façade océanique des Pays de la Loire est dotée d'un gisement éolien très favorable. Quoique plus coûteuses que les parcs éoliens terrestres, les installations éoliennes off-shore bénéficient désormais d'une technologie éprouvée. De nombreuses contraintes administratives et d'usage réduisent cependant fortement les zones d'implantation d'éoliennes off-shore.

Deux catégories d'aérogénérateurs off-shore sont à distinguer :

- L'éolien off-shore planté

Ces machines, dont les mâts sont plantés dans les fonds marins (à moins de 40 m de profondeur), fonctionnent près des côtes (souvent, environ 10 à 15 km). Le littoral de la Loire-Atlantique et de la Vendée autorise la mise en place de plusieurs parcs éoliens de ce type. L'un d'entre eux, d'une puissance installée de 480 MW, sera réalisé au large du Croisic dans les prochaines années.

Suivant une étude menée par la DREAL[101], la puissance mobilisable en off-shore est de 2400 MW, à raison d'une éolienne de 6 MW par km². Du fait de la faible rugosité de la surface océanique, pour un fonctionnement à puissance nominale, le facteur de charge s'avère plus élevé que sur terre. Il dépasse les 2200 heures/an sur la période 2015-2035, soit 20% de plus que dans les terres.
Au cours des années 2035-2045, se produira une augmentation du potentiel dû au 'repowering', qui correspond au passage à des machines de plus grande taille, avec des puissances nominales proches de 10 MW. Parallèlement, il y aura une augmentation du temps de fonctionnement estimé à 3000 heures à pleine puissance. La voilure des machines augmentant, l'écartement entre les mâts devra s'accroître aussi. Le ratio d'une éolienne tous les km² estimé par la DREAL pour 2020 passera à 1,2 km² (au plus) pour des machines de 10 MW dans les années 2030-2050.

## Ils l'ont fait !

**2003 – Parc éolien off-shore Rodsand (Nysted) relié au réseau électrique - Danemark.[102]**

72 aérogénérateurs de 2,3 MW, soit 166 MW, installés à 11 km de la côte.

Production annuelle : 570 GWh

500 000 tonnes de $CO_2$ évitées par an

En 2010, extension du parc : 90 turbines, soit 207 MW ; production annuelle : + 800 GWh

- L'éolien off shore flottant

L'éolien off shore flottant est encore en phase de test et d'expérimentation. La mise au point d'éoliennes « flottantes » permettra d'installer des machines au-delà de 40 m de profondeur ; cela se traduira par un élargissement des zones propices aux aérogénérateurs et par une augmentation très importante du potentiel éolien offshore.

De telles machines flottantes sont en test au large de la Norvège et du Portugal ; des projets pilotes au large de la Bretagne sont prévus à l'horizon 2015. La plate-forme régionale d'expérimentation des EMR (Énergies Marines Renouvelables) au large du Croisic prévoit aussi l'installation de ce type d'équipement, pour les phases de test, avant leur lancement industriel.

Nous prévoyons que les parcs éoliens flottants, mis en service à l'horizon 2025-2030, seront composées de machines équivalentes à celles de l'off-shore planté prévues pour 2035, c'est à dire des éoliennes d'une puissance moyenne de 6 MW, fonctionnant 2800 heures/an et requérant un périmètre de 1,2km².

101 (site de l'étude DREAL : http://www.pays-de-la-loire.developpement-durable.gouv.fr/article.php3?id_article=881
102 http://eolienne.f4jr.org/parcs/nysted

A partir de 2020, l'offshore flottant devrait renforcer de plus en plus significativement la contribution du grand éolien à la production d'énergie électrique régionale.

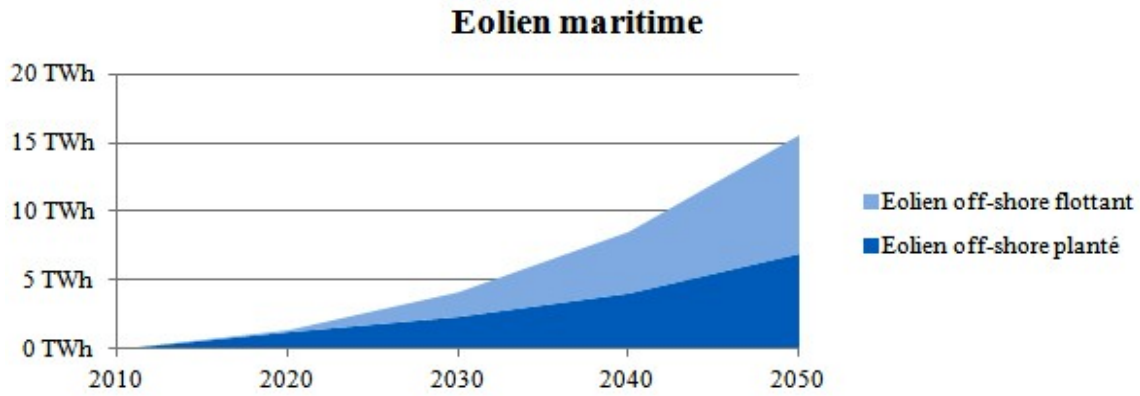



*Figure 45. Évolution de la production d'énergie issue de l'éolien maritime (off-shore flottant et off-shore planté) dans les Pays de la Loire entre 2010 et 2050. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.*

En 2050, nous estimons que l'éolien off-shore produira au total 15,6 TWh, soit 1,34 Mtep.
Le dispositif comprendra alors environ 480 éoliennes.

**Ils l'ont fait !**

**2011 – Eolienne off-shore (flottant) - Projet WindFloat[103] - Portugal**

Aérogénérateur de puissance nominale 2 MW installé à 4 km de Aguçadoura.

Première phase d'un parc de 150 MW.

7.3.3.2.3. Petit éolien domestique

Dans ce domaine, sont considérés des aérogénérateurs de puissance nominale de 4 kW, ce qui correspond à des machines montées sur un mât d'environ 20 mètres; ces 20 mètres correspondent à une hauteur suffisante pour bénéficier d'un vent plus puissant et plus régulier.
Avec 1500 heures de fonctionnement par an (équivalent au régime nominal), une machine de ce type produirait ainsi 6000 kWh par an.

Le nombre de machines à installer sur la région est lié aux nombres de logements particuliers et d'exploitations agricoles susceptibles d'être équipés dans de bonnes conditions physiques.

103 http://www.offshorewind.biz/2012/08/15/portugal-abs-certifies-first-windfloat-facility/

Le nombre de logements sur la région est actuellement d'environ 1,5 millions. Pour estimer le potentiel du petit éolien domestique, à échéance 2050, nous prenons les hypothèses suivantes :

- parc de 2,5 millions de logements ;
- 20 % des logements, notamment en milieu rural, seraient dans des conditions favorables ;
- 10 % de ces logements favorables décideraient de s'équiper.

Ces hypothèses équivalent à équiper un total de 50 000 logements en petites éoliennes domestiques, soit 2 % de la totalité de logements.

Concernant l'installation du petit éolien domestique sur des exploitations agricoles, nous estimons que :

- 22,5 % des 35 000 exploitations agricoles pourraient accueillir une éolienne de puissance 8 kW, soient 7 875 aérogénérateurs.
- 25% des 35 000 exploitations agricoles pourraient accueillir, compte tenu de l'espace disponible, une éolienne de 36 kW, soient 8 750 aérogénérateurs.

Ainsi, en 2050, la puissance totale installée pour le petit éolien domestique s'élèverait à 578 MW. La production annuelle en 2050 est alors estimée à environ 0,9 TWh , soit à peine 0,08 Mtep (Figure 46).

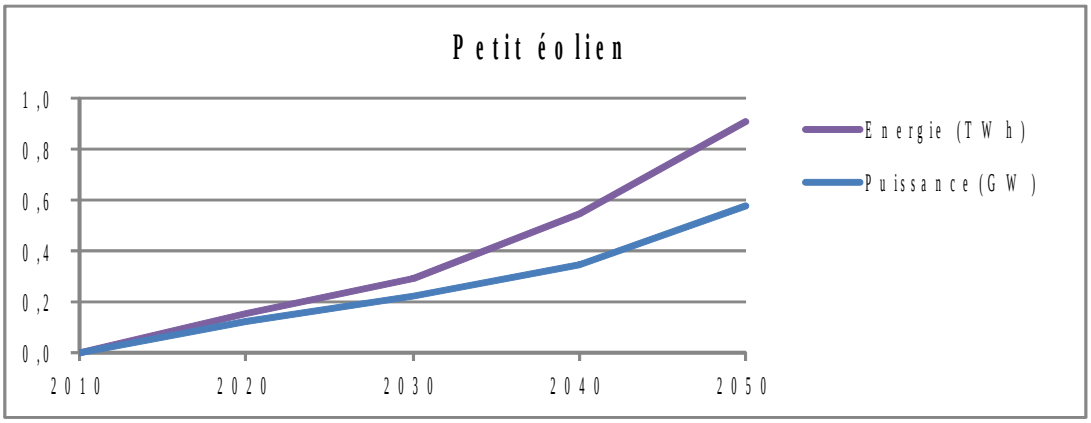



*Figure 46. Évolution de la production d'énergie issue du petit éolien dans les Pays de la Loire entre 2010 et 2050. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.*

<u>Remarques sur le développement du petit éolien terrestre</u> :

- La majorité des installations actuelles sont bloquées par la contrainte des 12 mètres de hauteur d'axe, au-delà de laquelle l'obtention d'un permis de construire est nécessaire. Un assouplissement de cette réglementation permettrait une efficacité accrue du petit éolien domestique.
- Pour satisfaire le besoin d'énergie électrique de proximité, il serait souhaitable de voir se développer des projets d'implantation d'aérogénérateurs de puissance moyenne (entre 50 kW et 500 kW), portés par des collectifs citoyens, des collectivités locales, des petites entreprises, des agriculteurs.

#### *7.3.3.3. Le gisement biomasse*

Les végétaux produisent par photosynthèse de la matière organique (ou biomasse végétale), à partir de sels minéraux et d'eau, en utilisant l'énergie de la lumière du soleil. Cette biomasse végétale est ensuite consommée et assimilée par tous les autres êtres vivants, qui la convertissent en biomasse animale. La biomasse peut être utilisée sous forme de bois, de biogaz ou d'agrocarburants liquides à des fins énergétiques.

Actuellement, la biomasse répond essentiellement aux besoins de chauffage de nos concitoyens, sous forme de combustibles solides (bois-énergie). Sous forme de biogaz ou d'agrocarburant facilement transportables, la biomasse s'avère également bien adaptée aux besoins de mobilité.

La biomasse est aussi une énergie renouvelable qui permet de produire de l'électricité à la demande (et non de façon intermittente comme l'éolien ou le solaire). Elle peut donc prendre une place plus importante dans la gestion de l'équilibre du réseau électrique.

##### 7.3.3.3.1. Potentiel bois-énergie

La ressource bois énergie, à usage exclusivement thermique, dépend de trois filières :

- la ressource forestière et bocagère diffuse,
- la ressource issue de l'industrie de transformation du bois,
- les déchets industriels banals.

Notre étude sur le potentiel en approvisionnement de la filière a permis de confirmer que la ressource en bois était bien présente en Pays de la Loire.
Le bois énergie correspond à une production actuelle de 3,7 TWh (source Atlanbois).

**Ils l'ont fait !**

**1986 – Chaufferie bois énergie[104] - Quartier Monplaisir - Angers (49)**

Chaufferie pour 500 logements sociaux

Puissance thermique 2,2 MW

Un potentiel complémentaire important est mobilisable ; d'après le scénario Afterres2050, la ressource bois-énergie en 2050 s'élevera à 7,2 TWh (soit 0,62 Mtep) et sera constitué par :

- des bois issus de la forêt (5,9 TWh),
- des produits connexes de l'industrie du bois (0,2 TWh),
- des bois rémanents de coupe d'espaces arborés (0,7 TWh),
- des déchets de bois divers (0,5 TWh)

104 http://paysdelaloire.ademe.fr/domaines-dintervention/energies-et-matieres-renouvelables/exemples-suivre

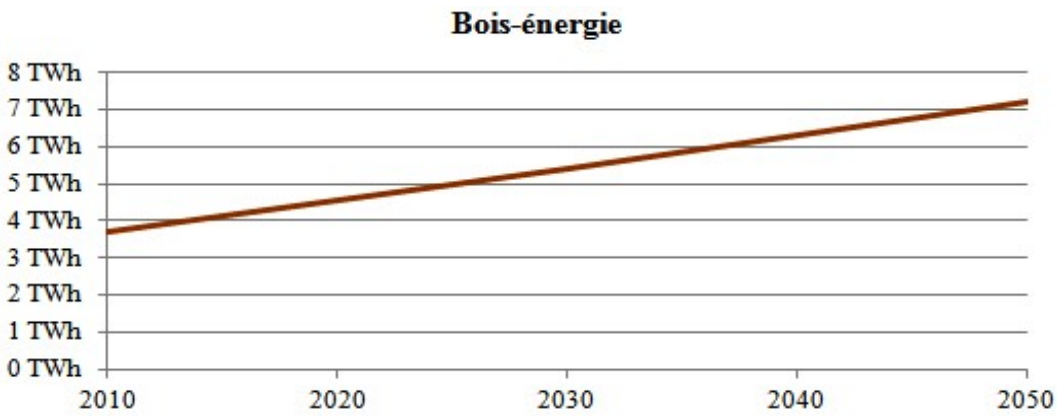



*Figure 47. Évolution de la production d'énergie issue du bois-énergie dans les Pays de la Loire, entre 2010 et 2050. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.*

La part la plus significative proviendra donc de la forêt, tant publique que privée, mieux gérée et en accroissement.
La reconstitution de haies bocagères et les espaces arborés permettront également d'augmenter sensiblement le potentiel bois-énergie, à partir des années 2030.
Enfin, les multiples déchets de bois (connexes de scierie, rebus, etc.) seront correctement valorisés.

Il est à noter que la majeure partie du bois-énergie sera utilisée directement comme combustible solide pour petites ou moyennes installations de chauffage et quelques installations plus conséquentes alimentant des réseaux de chaleur, dont certaines en cogénération.
La part restante pourra être valorisée sous forme de biométhane, après processus de gazéification ; une installation de ce type fonctionne déjà à Güssig, en Autriche..

**Ils l'ont fait !**

**2012 – Cogénération bois énergie[105] - Biowatts – Quartiers Angers-sud (49)**

**2 réseaux de chaleur – 14 000 logements**

**Production électrique annuelle : 50 GWh**

**40500 tonnes de $CO_2$ évité**

Remarque : le scénario Afterres2050 préconise de mieux valoriser les résidus de culture ; ainsi, ces sous-produits pourraient servir à la combustion (production de chaleur pour chauffage ou process industriels). Pas encore valorisés en 2020, nous estimons que ces résidus pourraient progressivement produire 0,1 TWh en 2030 ; 0,2 TWh en 2040 ; pour atteindre 0,3 TWh en 2050.

105 http://www.angers.fr/biowatts

7.3.3.3.2. Potentiels en biogaz

La méthanisation de composés organiques débouche sur la production de biogaz. Celui-ci peut être valorisé énergétiquement de différentes façons :

- production directe de chaleur pour chauffage ou process industriel,
- production simultanée de chaleur et d'électricité (cogénération),
- injection de méthane sur le réseau local de gaz naturel,
- alimentation de véhicules routiers.

Dans la région, des gisements de matières organiques pourraient être valorisés par méthanisation :

- les matières agricoles : fumiers, lisiers, résidus de cultures,
- les déchets et sous-produits des industries agroalimentaires,
- les sous-produits des collectivités (boues, déchets verts, fraction fermentescible des ordures ménagères, etc.).

Des installations de méthanisation existent déjà en Pays de la Loire, mais restent encore peu nombreuses, malgré la présence de sources importantes liées, notamment à l'agriculture et à l'agroalimentaire.

Le chapitre « Agriculture » de notre scénario, basé sur Afterres2050 appliqué à notre région, montre que la ressource biogaz d'origine agricole est très conséquente en Pays de la Loire (5,3 millions de tonnes de matières sèches en 2050, réparties en 4 postes équivalents : déjections d'élevage (paille inclue), cultures intermédiaires et herbe de fauche).

**Ils l'ont fait !**

**2008 – Unité agricole de méthanisation en voie sèche discontinue[106] - Gaec Bois-Joly à La Verrie (85)**

1400 tonnes de substrats traités, produisant 130000 $m^3$ de biogaz.

Production de 200 MWh électrique

et production de 400 MWh thermique

106 http://www.aile.asso.fr/valorisation-de-la-biomasse/biogaz/methanisation-a-la-ferme/presentations-des-unites-de-methanisation/Fiche%20A4_GAEC_Bois_Joly_31072008.pdf/view

***Utilisation du biogaz en cogénération***

Pour chiffrer le potentiel d'utilisation du biogaz en cogénération, nous prenons en compte les hypothèses de l'association AILE (Association d'Initiatives Locales pour l'Energie et l'Environnement)[107]. Nous nous plaçons dans un contexte volontariste de développement des unités de méthanisation avec cogénération, dans le prolongement des politiques de soutien actuelles et avec les technologies connues à ce jour.

Ainsi, en 2020, en tenant compte du rythme de développement des unités et de la maturité de chaque filière, le biogaz régional pourrait être valorisé en cogénération dans :

- 7 unités centralisées industrielles,
- 8 unités de collectivités,
- 87 unités centralisées agricoles 300 kW ou 26 unités de 1 MW,
- 74 unités à la ferme sur lisiers,
- 48 unités à la ferme sur fumiers.

En 2050, compte tenu de son potentiel agricole et suivant les estimations d'Afterres2050, la région Pays de la Loire pourrait produire 11,8 TWh de biogaz, dont 5 TWh serait valorisés en cogénération. La production correspondante d'électricité s'élèverait à 1,65 TWh (environ 0,14 Mtep) et la production de chaleur à 2,1 TWh (environ 0,18 Mtep) (Figure 48).

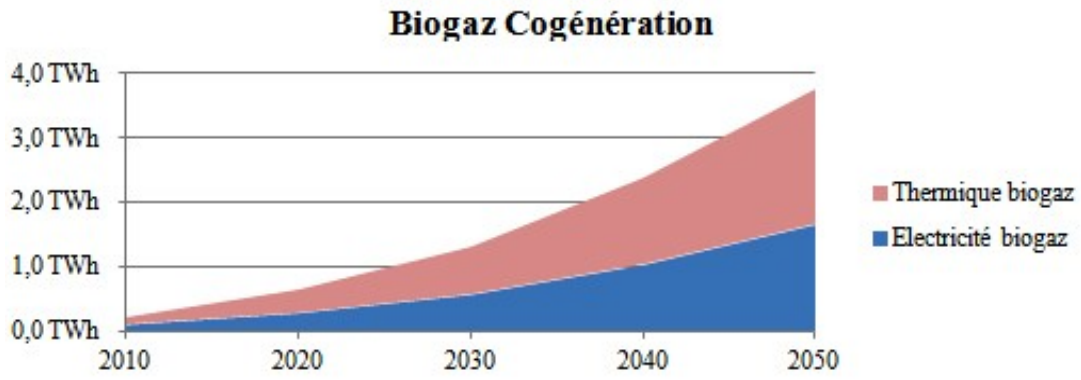



*Figure 48. Évolution et répartition de la production d'énergie issue du biogaz en cogénération dans les Pays de la Loire, entre 2010 et 2050. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.*

L'énergie électrique est à injecter sur le réseau national.
L'énergie thermique peut alimenter un réseau de chaleur pour du chauffage d'habitation ou de tertiaires collectifs, et ponctuellement pour subvenir aux besoins de certains process industriels.

107 Association AILE (Association d'Initiatives Locales pour l'Energie et l'Environnement) : http://www.aile.asso.fr/

***Production de biométhane à partir de biogaz.***

Le biométhane, extrait de biogaz, peut être injecté dans le réseau national de gaz naturel pour des usages thermiques ou comme 'Gaz Naturel Véhicule' (GNV) pour les véhicules routiers.
Ce biogaz provient de décharges d'ordures ménagères et d'unités de méthanisation regroupant des surplus organiques agricoles et des résidus d'origine agroalimentaire ou paysagère ou industrielle.

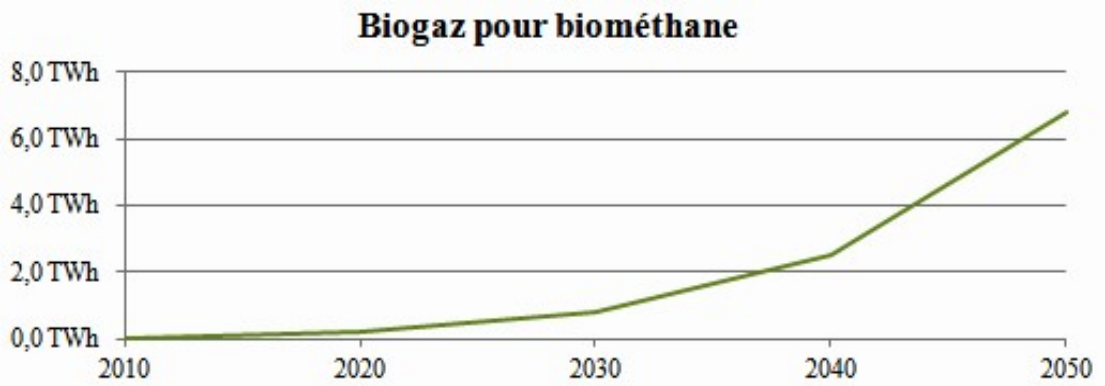



*Figure 49. Évolution de la production de biogaz carburant dans les Pays de la Loire entre 2010 et 2050 (TWh en bleu, Mtep en rouge). Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.*

En 2050, le potentiel de ce biogaz s'élèverait à 6,8 TWh, soit 0,58 Mtep (Figure 49).

Couplée à la mise en place de systèmes de gazéification du bois, la reconstitution de haies bocagères et le développement de l'agroforesterie pourrait permettre d'augmenter sensiblement le gisement de biogaz. Cette intégration de bois (bocager et agroforestier) dans les pratiques agricoles ligériennes est considérée dans le volet 'Agriculture' de notre scénario.

7.3.3.3.3. Potentiels en agrocarburants

La biomasse liquéfiée est de plus en plus utilisée comme carburant pour véhicules routiers. Les agrocarburants utilisés actuellement, dits de 1ère génération, sont essentiellement l'éthanol (issu de betteraves ou de céréales) et le diester (issu de plantes oléagineuses comme le colza ou le tournesol). Ces cultures, dites énergétiques, nécessitent des surfaces agricoles considérables et viennent concurrencer directement les cultures agroalimentaires[108]. De plus, les bilans énergétiques de ces filières se révèlent plus que médiocres. Aussi est-il indispensable d'envisager la mise en œuvre d'agrocarburants de 2nde (ou de niéme…) génération ne présentant pas de conflits d'usages agricoles.

Les biocarburants de 2nde génération sont produits à partir de la lignocellulose contenue dans certains végétaux à usage non alimentaire (résidus forestiers, paille de céréales, cultures spécifiques). Deux grandes voies de production sont développées :

- la filière biochimique (cellulose transformée en glucose) pour la production d'éthanol,
- la filière thermochimique (végétaux transformés en gaz) pour la production de biodiesel et de kérosène.

Nous avons évalué le potentiel régional de production d'agrocarburants à partir de l'étude Afterres2050. Selon ce calcul, le potentiel en agrocarburants de 2nde génération pourrait s'élever en 2050 à 0,1 Mtep, soit environ 1,1 TWh (Figure 50).

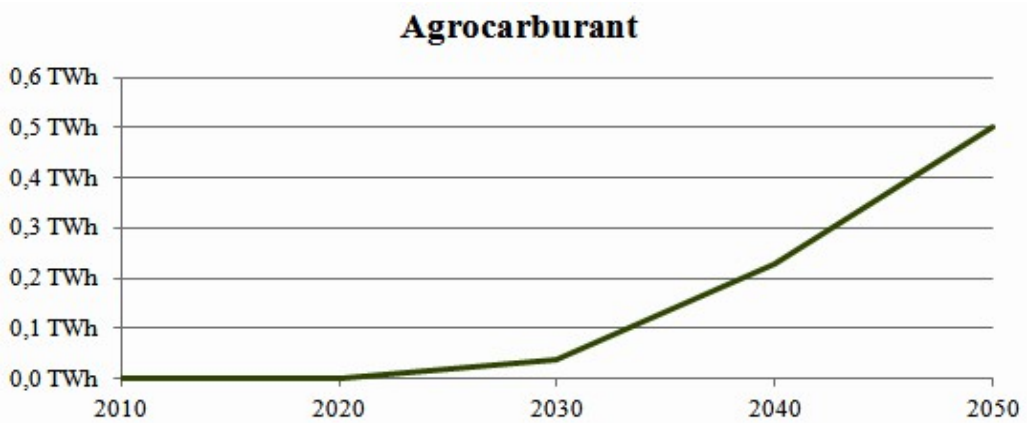



*Figure 50. Évolution de la production d'agrocarburant dédié à la mobilité dans les Pays de la Loire, entre 2010 et 2050. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.*

Au regard de sa facilité d'utilisation, cette production serait entièrement dédiée aux usages de mobilité. Par ailleurs, il convient de signaler que d'importantes recherches sont menées actuellement en termes d'algocarburants, c'est à dire de carburants liquides issus de cultures de microalgues produisant des lipides et/ou de l'amidon. Ces efforts pourraient déboucher dans les prochaines décennies sur une production significative, mais encore difficile à quantifier.

108 http://www.actu-environnement.com/ae/news/objectifs-incorporation-agrocarburants-commission-16827.php4

#### *7.3.3.4. L'hydroélectricité*

Compte tenu de la géographie des Pays de la Loire, les ressources hydroélectriques s'avèrent limitées. Néanmoins, certaines rivières, et notamment la Mayenne, permettent de générer de l'énergie électrique décentralisée et utile pour les utilisateurs locaux.

Les sites les plus intéressants (en termes de débit et/ou hauteur de chute d'eau) sont déjà équipés en turbines hydroélectriques. La plupart de ces installations sont reliées au réseau ; quelques petites installations fonctionnent de façon autonome. Cependant, de nombreux barrages existants pourraient être mis à profit pour générer de l'énergie électrique, et ce, avec peu d'impacts environnementaux.

Fin 2011, dans le cadre de la préparation du SRCAE Pays de la Loire, une rencontre a réuni des structures compétentes dans le domaine et a permis d'établir un état des lieux de l'hydroélectricité en Pays de la Loire en 2011. La puissance électrique installée est actuellement de 12 MW et l'énergie annuelle produite est estimée entre 12 et 22 GWh (suivant la pluviométrie).
Lors de cette rencontre, des améliorations (dont certaines sont en cours) ont été considérées, notamment :

- l'optimisation des chutes d'eau en service (avec mise en place de turbines performantes),
- la réactivation de sites anciennement exploités,
- la reconversion de moulins à eau.

A échéance 2020, ces améliorations permettraient un accroissement de puissance installée de 2 MW, ce qui induirait la production de 3 à 8 GWh supplémentaires.

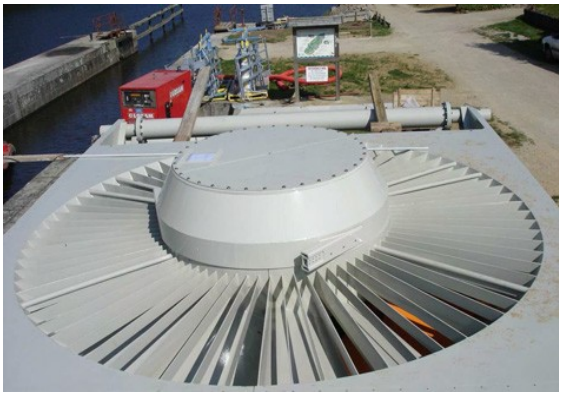
Ainsi, une estimation réaliste du potentiel hydroélectrique régional serait comprise entre 15 et 30 GWh, pour une puissance installée de 14 MW, en 2050.

**Ils l'ont fait !**

**2008 – Rénovation de la centrale du Moulin de la Roche [109]- Commer (53)**

Turbine ichtyophile de type VLH (basse vitesse : 34 tr/mn)

Puissance installée : 146 kW



109 http://www.eau-loire-bretagne.fr/Sage/r_animateurs_Sage/Moulin_Roche.pdf

http://www.ouest-france.fr/actu/actuLocale_-12-millions-pour-moderniser-les-centrales-hydroelectriques_40806-2005301------53130-aud_actu.Htm

#### *7.3.3.5. Les énergies marines*

La proximité de l'Océan Atlantique incite à envisager la récupération d'énergies marines. Celles-ci sont liées à différents apports physiques :

- les vagues,
- les courants sous-marins,
- la marée,
- les convections thermiques,
- les gradients salins,
- la biomasse marine.

Les recherches et développements de prototypes de capteurs houlomoteurs et de turbines sous-marines permettront probablement dans les prochaines années de réaliser des générateurs électriques.
Parallèlement, il serait pertinent d'étudier certains courants marins, notamment près de l'Ile d'Yeu, et d'envisager une production électrique par hydroliennes.

Cependant, le productible énergétique reste encore difficile à chiffrer ; c'est la raison pour laquelle cette version du scénario VEC-PdL ne prend pas en compte ces éventuels apports énergétiques.

### 7.3.4. Synthèse des potentiels bruts d'énergies renouvelables

En résumant les données précédentes, et sans tenir compte de l'émergence de certaines filières (énergies marines, algocarburants, etc.), il apparaît que les principales sources d'énergies renouvelables disponibles dans les Pays de la Loire pourraient représenter un potentiel de production énergétique de 11,9 TWh (environ 1 Mtep) en 2020 (Figure 51).

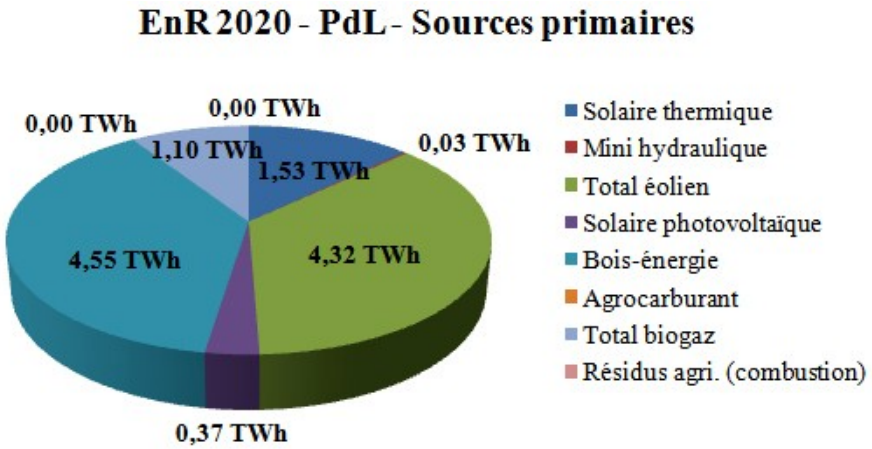



*Figure 51. Estimation et répartition de la production d'énergie renouvelable en Pays de la Loire en 2020. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.*

Le bois-énergie et l'éolien sont les principales sources d'énergie primaire renouvelable en 2020.

En 2050, l'ensemble des sources renouvelables primaires pourrait fournir 63,5 TWh (5,46 Mtep) Figure 52, Tableau 68).

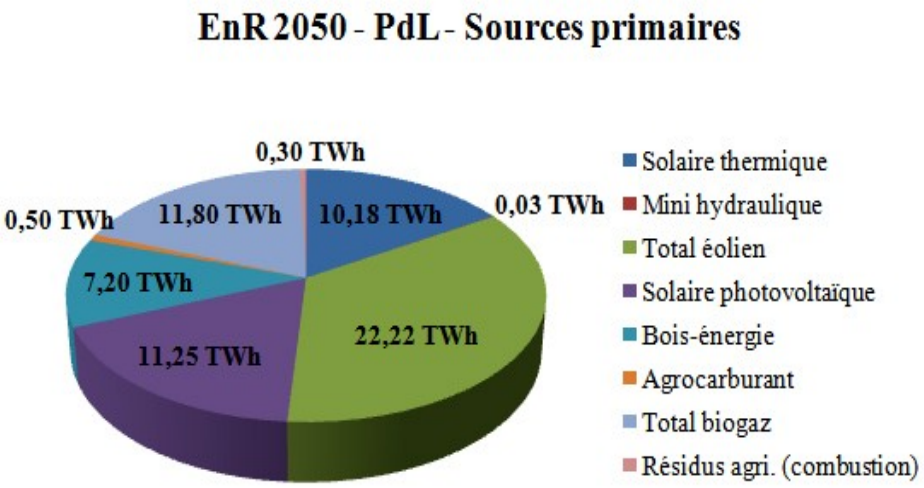



*Figure 52. Estimation et répartition de la production d'énergie renouvelable en Pays de la Loire en 2050. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.*

Le graphique de la figure précédente montre bien le mix d'exploitation des énergies renouvelables dans notre scénario régional en 2050. Dans l'ordre d'importance décroissante, l'éolien, le biogaz, le solaire photovoltaïque, le solaire thermique et le bois-énergie constituent les principaux contributeurs. Les agrocarburants et la mini-hydraulique restent beaucoup moins conséquents.

| Sources primaires | Potentiels d'énergie | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 2010 | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 |
| Solaire thermique | 0,04 TWh | 1,53 TWh | 3,05 TWh | 6,11 TWh | 10,18 TWh |
| Mini hydraulique | 0,02 TWh | 0,03 TWh | 0,03 TWh | 0,03 TWh | 0,03 TWh |
| Total éolien | 0,58 TWh | 4,32 TWh | 8,54 TWh | 14,37 TWh | 22,22 TWh |
| Solaire photovoltaïque | 0,07 TWh | 0,37 TWh | 1,46 TWh | 4,98 TWh | 11,25 TWh |
| Bois-énergie | 3,70 TWh | 4,55 TWh | 5,40 TWh | 6,30 TWh | 7,20 TWh |
| Agrocarburant | 0,00 TWh | 0,00 TWh | 0,04 TWh | 0,23 TWh | 0,50 TWh |
| Total biogaz | 0,30 TWh | 1,10 TWh | 2,60 TWh | 5,70 TWh | 11,80 TWh |
| Résidus agri. (combustion) | 0,00 TWh | 0,00 TWh | 0,10 TWh | 0,20 TWh | 0,30 TWh |
| **Total EnR** | **4,70 TWh** | **11,89 TWh** | **21,23 TWh** | **37,91 TWh** | **63,48 TWh** |

Tableau 68. Scénario de mobilisation du potentiel de production d'énergie renouvelable des Pays de la Loire. Source : Virage Energie-Climat Pays de la Loire.

### 7.3.5. La gestion des flux d'énergies produits

L'énergie est produite afin de répondre à des besoins répartis dans tous les secteurs de la société et doit donc être distribuée sur le territoire. Le tableau ci-dessous rappelle les consommations d'énergie des Pays de la Loire prévues dans le scénario Virage Energie-Climat..

| Besoins | 2010 | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 |
|---|---|---|---|---|---|
| Habitat | 2,76 | 1,86 | 1,44 | 1,22 | 1,16 |
| Transport | 3,04 | 2,52 | 1,99 | 1,47 | 0,95 |
| Industrie | 1,36 | 1,36 | 1,04 | 0,78 | 0,75 |
| Tertiaire | 1,02 | 0,75 | 0,66 | 0,58 | 0,49 |
| Agriculture | 0,85 | 0,77 | 0,69 | 0,61 | 0,52 |
| Total (Mtep) | 9,03 | 7,26 | 5,83 | 4,66 | 3,87 |
| Total (TWh) | 105,0 | 84,4 | 67,7 | 54,1 | 45,1 |

Tableau 69. Estimation et évolution des consommations d'énergie par secteur d'activité en Pays de la Loire entre 2006 et 2050. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.

#### *7.3.5.1. Adéquation entre production et besoins d'énergie et les alternatives possibles*

En termes de gestion d'énergie, l'idéal consiste à mettre en adéquation production et consommation ; c'est particulièrement vrai pour l'énergie électrique, difficile à stocker en tant que telle.

Le bois-énergie et le biogaz sont d'excellents moyens de stockage de l'énergie et, de plus, assez peu onéreux ; ces sources d'énergie doivent donc être privilégiées en termes logistiques.

Certaines sources d'énergie renouvelables, dépendantes du vent (éolien) ou du soleil (solaires thermique et photovoltaïque), génèrent une production irrégulière dans le temps.
L'ajustement plus fin aux prévisions météorologiques et la mise en place de « smart grids » (réseaux électriques intelligents capables de coupler plusieurs sources d'énergie) permettront de pallier en partie aux variations de ces productions.

Il s'avère cependant nécessaire d'envisager des phases de stockage d'énergie, en cas de productions excédentaires, puis de déstockage pour alimenter les usages exceptionnels (lesquels ne sont pas toujours prévisibles).
L'introduction de systèmes de stockage énergétique, agissant comme des amortisseurs et des régulateurs dans les réseaux, permet de résoudre efficacement le problème des fluctuations et d'augmenter significativement la qualité de la distribution d'énergie.

Par ailleurs, l'interconnexion des réseaux 'électricité' et 'gaz' autorise une gestion plus efficace des énergies renouvelables qui s'y raccordent.

Enfin, signalons que le bilan énergétique global est d'autant plus favorable que toutes les pertes (de nature thermique, essentiellement) sont valorisées, par exemple en cogénération.

#### *7.3.5.2. L'adaptation directe production/consommation*

Afin d'améliorer les rendements de transferts d'énergie, il est préférable de produire l'énergie :
- au plus près des lieux de consommation,
- lors des phases de consommation,
- en quantité adéquate.

La proximité entre lieux de production et de consommation d'énergie amène à décentraliser judicieusement les sources d'énergie. Cela suppose une bonne synergie des décideurs dans les choix des équipements et des sites d'implantation des générateurs et des récepteurs.

Le second point (production lors des phases de consommation) nécessite de gérer au mieux les énergies dans le temps. L'usage des réseaux d'énergie, dits « intelligents », doit permettre, avec l'aide des outils informatiques et télécommunicants, d'optimiser les disponibilités.

Le troisième point, concernant l'adéquation entre gisements naturels d'énergie et besoins humains, nécessite à la fois de bons choix d'orientation d'aménagement du territoire et sur un dimensionnement correct des équipements mis en œuvre.

Compte tenu des pertes d'énergie et des coûts, l'idéal est de minimiser le stockage de l'énergie (notamment électrique). Cependant, certaines applications et/ou situations nécessitent le recours à des moyens de stockage.

#### 7.3.5.2.1. Le stockage de l'énergie

Sauf dans des cas bien particuliers, il est difficile de stocker directement l'électricité. L'excédent d'électricité produit doit être transformé en une autre forme d'énergie, qui pourra être stockée. Les énergies stockables incluent :

- l'énergie mécanique : cette catégorie regroupe les moyens les plus connus de stockage à grande échelle, par exemple les stations de transfert d'énergie par pompage (STEP) et les cavité de stockage d'air comprimé (CAES ou CASP). Elle inclut aussi les volants d'inertie, les ressorts, les accumulateurs hydrauliques et tout type de stockage d'énergie potentielle.
- L'énergie thermique : il existe de nombreuses solutions de stockage de froid (glace, liquides cryogéniques) et de chaud (sels fondus, accumulateurs de vapeur, graviers ou billes à changement phase), qui permettent de stocker l'énergie sous forme thermique avant de la restituer. Cette restitution se fait le plus souvent directement sous forme de chaleur ou de froid, mais peut aussi de faire sous forme électrique, par exemple en utilisant une pompe à chaleur à la charge et un système turbine-compresseur à la décharge.
- L'énergie électrostatique/magnétique : certains systèmes stockent l'énergie directement sous forme électrique : les condensateurs et super-condensateurs accumulent des électrons. Les stockages magnétiques à supraconducteurs (SMES) utilisent l'énergie magnétique.
- L'énergie électrochimique : Cette catégorie concerne les batteries. C'est la voie la plus connue, les batteries ayant de nombreuses applications quotidiennes (véhicules, téléphones portables, etc.). Les caractéristiques et voies d'utilisations sont très variables. Cette catégorie comprend aussi les flow-batteries, basées également sur le principe des piles, mais dont les solutions actives sont contenues dans des réservoirs séparés.
- L'énergie chimique : il s'agit d'utiliser l'électricité pour constituer un composant chimique, une molécule, qui a ensuite la capacité, en brûlant (turbines à gaz, moteurs thermiques) ou via une pile à combustible, de restituer de l'énergie. L'hydrogène (gazeux ou liquide) et le méthane en sont des exemples.

#### 7.3.5.2.2. La méthanation

La méthanation est une transformation chimique qui peut être utilisée afin de stocker de l'énergie. Elle permet de disposer d'énergie sous forme de méthane de synthèse ($CH_4$), obtenu à partir d'hydrogène et de dioxyde de carbone dans la réaction chimique de Sabatier ::

$$\mathbf{4\ H_2 + CO_2 \ \text{----->}\ CH_4 + 2\ H_2O}$$

Le dihydrogène ($H_2$) peut provenir de différentes sources d'énergie, notamment renouvelables. Il apparaît judicieux de valoriser, au moins en partie, les surproductions d'énergie électrique d'origine éolienne, voire photovoltaïque, en produisant du hydrogène par des électrolyseurs. Afin de limiter le recours aux réservoirs de dihydrogène coûteux, il sera préférable de réaliser de suite les opérations de méthanation.

Le dioxyde de carbone ($CO_2$) peut être extrait de l'air ; sa consommation permet ainsi de résorber une quantité de ce gaz surabondant et préjudiciable dans l'atmosphère. Mais il peut aussi provenir de gaz de combustion ; ainsi, le captage de $CO_2$ en sortie d'une installation cogénératrice élimine la participation de ce gaz à l'effet de serre et peut alimenter la méthanation.

En respectant les normes en vigueur, le méthane synthétisé peut être injecté directement dans le réseau de gaz naturel national (Figure 53).

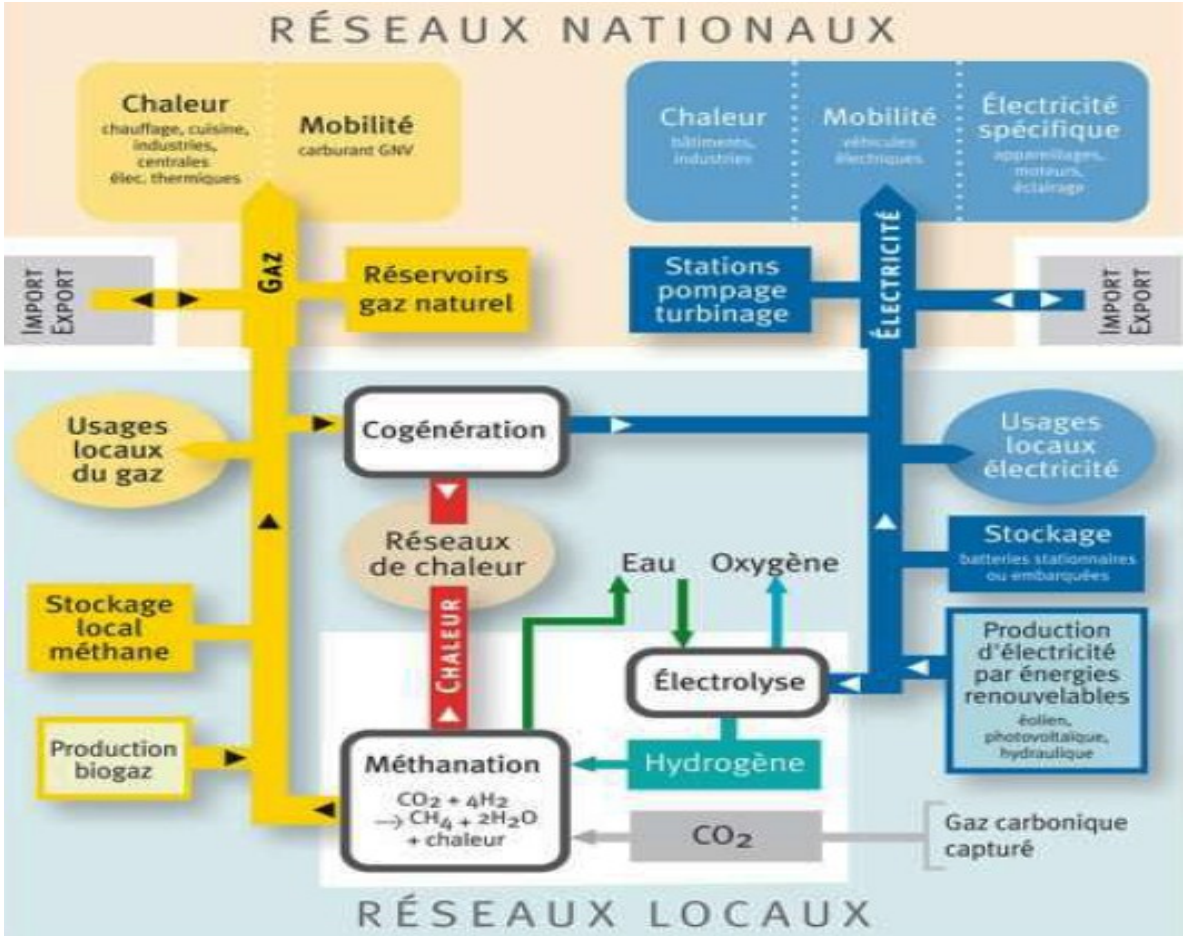



*Figure 53. Réseaux nationaux et méthanation. Source : négaWatt (scénario 2011)*

L'inconvénient de la méthanation est son rendement relativement faible (de 40 à 60%).

Les avantages de la méthanation sont en revanche nombreux :

- capacité d'absorption de grosses quantités d'énergie 'irrégulière' (éolienne notamment),
- 'recyclage' de CO2 (issu de la cogénération, par exemple),
- stockage d'énergie sous forme de méthane, vecteur qui peut répondre aux besoins énergétiques tant électriques que thermiques, mais également de mobilité (véhicules au gaz naturel). Qui plus est, le méthane est stockable dans le réseau national de gaz.

Dans les Pays de la Loire, il est tout à fait envisageable d'utiliser la méthanation dans les années à venir. En 2050, ce procédé pourrait fournir environ 1,2 TWh d'énergie, essentiellement destinée aux besoins de véhicules de transport (Clouet et al., 2012)[110].

Il est à noter que les actuels sites industriels de l'estuaire de la Loire pourraient avantageusement être utilisés. En effet, ces sites consacrés à l'approvisionnement énergétique, Donges, Cordemais, Montoir, possèdent déjà des infrastructures intéressantes, des ressources humaines compétentes et des liaisons avec les réseaux d'électricité et de gaz.

Une unité de méthanation pourrait ainsi être installée sur le site de la centrale thermique de Cordemais, reconvertie au biogaz et équipée d'un système de captage de $CO_2$. Le $CO_2$ capté pourrait alimenter l'unité de méthanation, qui bénéficierait également des apports d'électricité des parcs éoliens offshores proches.
Clouet et al. (2012) estiment ainsi que tout le $CO_2$ produit en 2050 par la centrale de Cordemais pourrait être capté et utilisé à des fins de méthanation.

#### *7.3.5.3. Les pertes d'énergies*

Entre sources d'énergie et usages (qu'ils soient électriques spécifiques, thermiques ou mobiles), se produisent inévitablement des pertes. L'enjeu est de minimiser celles-ci.
Pour simplifier, et selon la démarche utilisée par l'association négaWatt pour quantifier les flux d'énergie, on peut distinguer trois grandes familles de pertes d'énergie :

- les pertes à la production ou par autoconsommation,
- les pertes de transformation d'énergie,
- les pertes de stockage et de distribution.

Suivant les générateurs, les dispositifs de transformation, de stockage et de distribution, les rendements énergétiques varient et les coefficients de pertes peuvent être plus ou moins grands.

En 2020, les pertes d'énergie, liées aux énergies renouvelables, ont été évaluées à 1,19 TWh (0,10 Mtep), essentiellement lors de la phase de production (0,85 TWh) (Tableau 70, Figure 54).

| | 2010 | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 |
|---|---|---|---|---|---|
| Pertes production | 0,54 TWh | 0,85 TWh | 1,28 TWh | 1,96 TWh | 3,00 TWh |
| Pertes transformation | 0,00 TWh | 0,02 TWh | 0,25 TWh | 0,99 TWh | 2,77 TWh |
| Pertes stockage distribution | 0,06 TWh | 0,32 TWh | 0,65 TWh | 1,19 TWh | 1,94 TWh |
| Total pertes d'énergie | 0,60 TWh | 1,19 TWh | 2,18 TWh | 4,14 TWh | 7,71 TWh |

Tableau 70. Estimation et évolution des pertes d'énergie, liées aux énergies renouvelables dans les Pays de la Loire entre 2010 et 2050. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.

110 http://www.virageenergieclimatpdl.org/?q=le-potentiel-de-m%C3%A9thanation-des-pays-de-la-loire-en-2050

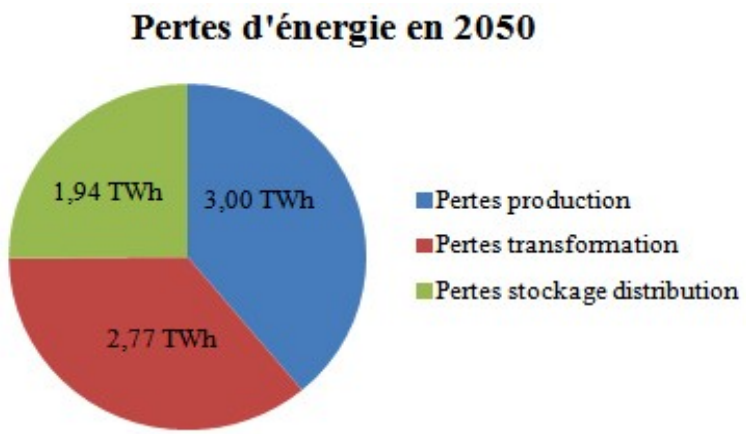



*Figure 54. Estimation et répartition des pertes d'énergie, liées aux énergies renouvelables dans les Pays de la Loire en 2050. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.*

En 2050, nous prévoyons que les quantités d'énergies renouvelables produites seront plus importantes, ce qui entraînera des pertes plus importantes en valeurs absolues : 7,71 TWh (0,66 Mtep). Cet accroissement proviendra surtout des pertes inévitables de transformation et de stockage d'énergie (électrolyse, méthanation).

#### *7.3.5.4. Sources et flux d'énergie en 2050.*

VEC-PdL a conçu un tableur regroupant toutes les données précédentes. Cet outil permet de réaliser les différentes simulations nécessaires à la mise en adéquation des productions et des consommations des Pays de la Loire.
La présentation des résultats de ces calculs est inspirée des graphiques présentés dans le scénario négaWatt 2011.

Les sources primaires, apparaissant sur la colonne gauche de ce tableau, correspondent aux énergies délivrées par les ressources naturelles régionales.
Les vecteurs primaires de la colonne centrale représentent les énergies exploitables, suite au captage des énergies primaires.
Les vecteurs secondaires désignent les formes d'énergies finales disponibles pour couvrir les besoins en énergie.

La Figure 55 présente l'exemple de la filière éolienne de production d'énergie en 2050, dans le scénario Virage Énergie-Climat Pays de la Loire.

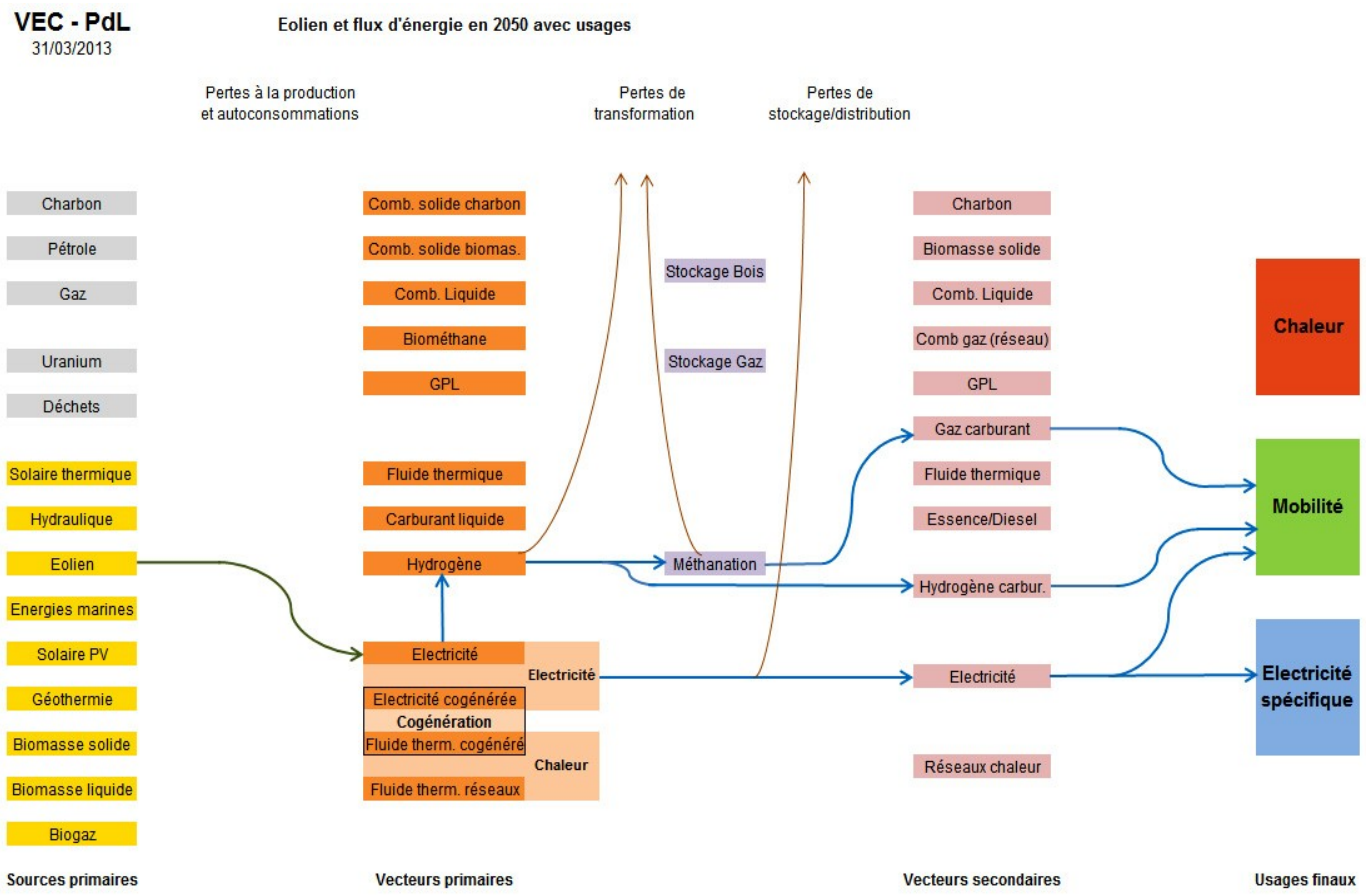



*Figure 55. Éolien et flux d'énergie (production et usage en Pays de la Loire en 2050). Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.*

L'éolien, énergie primaire d'origine solaire, fournit de l'électricité, qui constitue un vecteur primaire.

Une partie de ce vecteur énergétique donne directement un vecteur secondaire qui satisfait directement des usages électriques spécifiques (éclairage, moteurs, appareils informatiques, etc.) et des besoins de mobilité (véhicules électriques).

Une autre partie du vecteur primaire électrique éolien est utilisée dans des électrolyseurs pour générer de l'hydrogène. Ce gaz permet de stocker de l'énergie produite par les éoliennes, afin de satisfaire ultérieurement des usages de mobilité ;

- soit par stockage direct et alimentation de piles à hydrogène pour véhicules électriques,
- soit après transformation en gaz carburant, via la méthanation, afin d'alimenter des moteurs thermiques de véhicules.

La Figure 56 présente les mêmes résultats en 2050 pour l'ensemble des filières de production d'énergie considérées dans notre scénario.

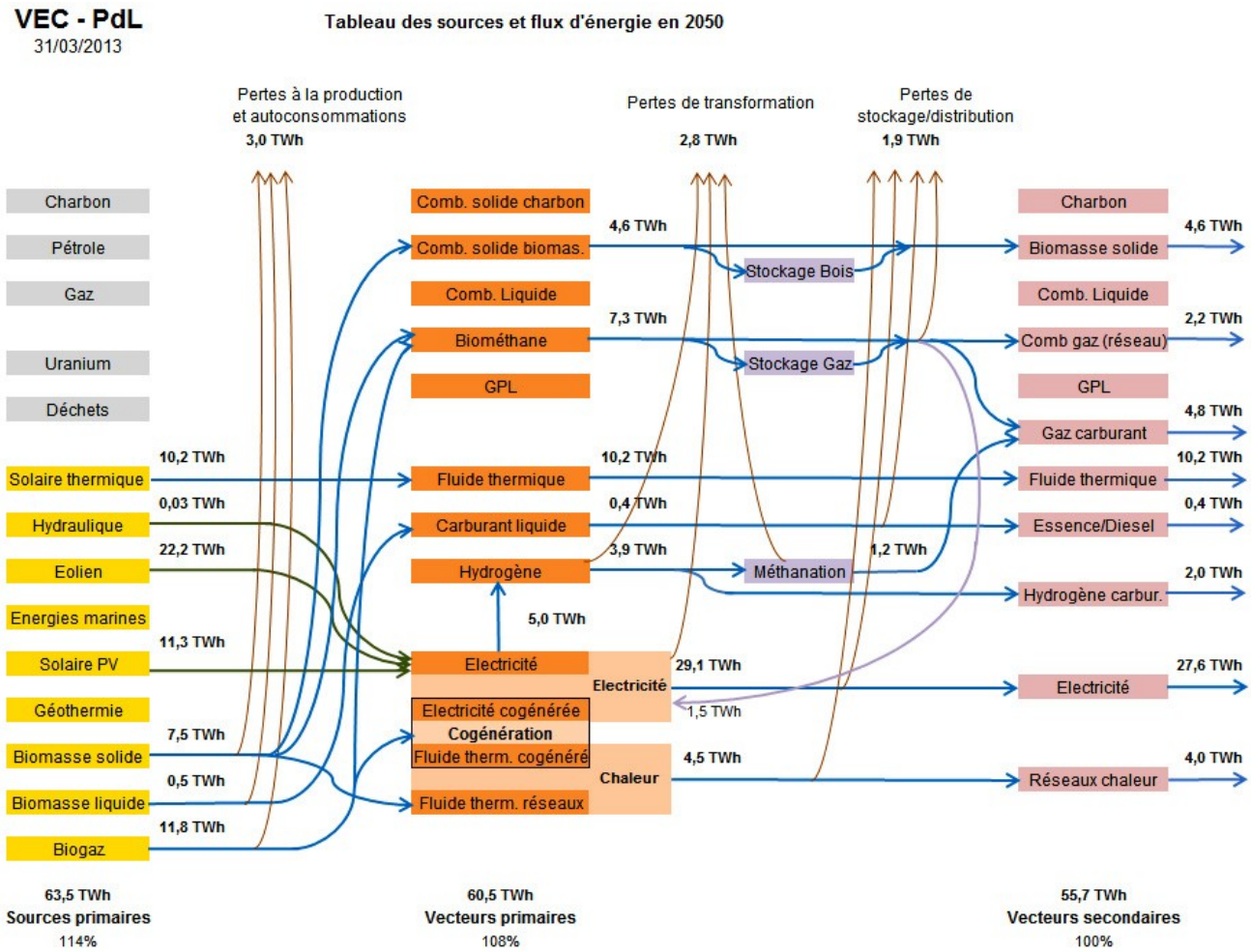



*Figure 56. Tableau général des sources et flux d'énergie dans les Pays de la Loire en 2050. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.*

- La biomasse, le solaire direct et l'éolien seront les plus gros contributeurs d'ENR dans la région Pays de la Loire, en 2050.
- Nous considérons que les énergies fossiles, fissiles, ainsi que l'usage énergétique des déchets auront alors disparus du paysage énergétique.
- Nous prévoyons que la mini-hydraulique, les énergies marines et la géothermie profonde constitueront un potentiel faible de production d'ENR dans la région.
- Nous estimons que les pertes de production, de transformation et de stockage seront d'environ 14 %. du total d'énergies primaires renouvelables.
- Pour répondre à la problématique du stockage, nous aurons recours au stockage du bois-énergie, au réseau de gaz avec ses cavités souterraines et à la méthanation.
- Compte tenu des moyens de stockage et de distribution à mettre en œuvre, les énergies renouvelables permettront de disposer de ressources nettes de l'ordre de 10,7 TWh (0,92 Mtep) en 2020, évoluant jusqu'à 55,7 TWh (4,8 Mtep) en 2050.

## 7.4. Discussion

### 7.4.1. Le scénario négaWatt 2011

Le scénario 'négaWatt 2011' prévoit d'abandonner définitivement l'usage des énergies fissiles en 2032. Et le même scénario préconise un recours marginal aux énergies fossiles en 2050. Il s'agit de satisfaire les besoins en énergie des Français, en limitant drastiquement les émissions de gaz à effet de serre, tout en évitant de produire toujours plus de déchets radioactifs.

Pour les Pays de la Loire, Virage Énergie Climat adhère totalement à cette option de sortie des énergies fissiles au plus tard dans vingt ans. Mais l'association va plus loin encore en ce qui concerne l'abandon des énergies fossiles, abandon jugé réalisable complètement dans trente trois ans.

### 7.4.2. Le Schéma Régional Climat Air Energie (SRCAE)

Encore en élaboration, le Schéma Régional Climat Air Énergie ne donne pas d'objectif précis pour 2050. Mais les orientations actuelles restent peu ambitieuses quant à l'émergence de solutions efficaces concernant la réduction des gaz à effet de serre d'origine énergétique.
De plus, le SRCAE 2012 n'inclut pas de synthèse, ni de mise en cohérence entre production et besoins en énergie pour une gestion énergétique globale.

## 7.5. Conclusions

A partir d'estimations réalistes et chiffrées des potentiels d'économies d'énergie et d'énergies renouvelables, le présent scénario Virage Énergie-Climat Pays de la Loire apporte une vue d'ensemble de la gestion de l'énergie dans les Pays de la Loire.

Il met en évidence l'existence d'un potentiel très important de production d'énergie renouvelable non polluante dans la région, fondé sur un bouquet énergétique dominé par les apports éoliens, solaires et de biomasse.
Notre scénario met également en exergue que l'irrégularité de la fourniture d'énergie de certaines sources renouvelables peut être compensée par du stockage et une gestion plus intelligente des réseaux de distribution (notamment gaz et électricité).

Le scénario Virage Énergie-Climat Pays de la Loire suppose la prise de décisions volontaristes et soutenues afin de réussir des objectifs hautement souhaitables pour les générations à venir.

## 7.6. Références

CLOUET F.-M., DUONG T., FESTE J. (2012) -*Etude du potentiel de méthanation en région des Pays de la Loire*, 2012 Consultable à http://www.virageenergieclimatpdl.org/?q=le-potentiel-de-m%C3%A9thanation-des-pays-de-la-loire-en-2050.

EXPLICIT (2009) - Etude régionale sur l'énergie et l'effet de serre - Pays de la Loire, Consultable à http://paysdelaloire.ademe.fr/sites/default/files/files/ADEME%20en%20Pays%20de%20la%20Loire/Domaines%20d%27intervention/Changement%20climatique/T%C3%A9l%C3%A9chargements/Rapport_Bilan_PDL.pdf.

HLADIK J. (2011) - Editions Ellipses - *Les **énergies renouvelables** aujourd'hui et demain*. Ouvrage collectif.

BONAL J., ROSETTI P. (ECRIN 2011) – Editions Omnisciences – *Energies alternatives*. Ouvrage collectif.

MACKAY D., (2012) - Editions De Boeck - *L'énergie durable Pas que du vent !* Traduit de l'anglais par l'AMIDES.

PAILLARD M., LACROIX D., LAMBLIN V (2009) - Editions Quae - *Energies renouvelables marines Etude prospective à l'horizon 2030.* Ouvrage collectif

LENOIR D. (2007) - Editions Terre vivante - *Energie, changeons le cap ! Scénario pour une France durable*.

ASSOCIATION NÉGAWATT (2012) - Editions Actes Sud - *MANIFESTE NÉGAWATT* Ouvrage collectif.

MULTON B. - Revue TECHNOLOGIE n°181 (septembre-octobre 2012): article « Vers une production d'électricité 100% renouvelable ».

MULTON B. Diaporama : http://w3.bretagne.ens-cachan.fr/pdf/multon2011.pdf

GUERASSIMOF G., MAIZI N. (2012) - Editions Presse des Mines - *Smart Grids, Au delà du concept, comment rendre les réseaux plus intelligents.* - Ouvrage collectif

# 8. INDUSTRIE

## 8.1. Résumé

Ce chapitre présente les potentiels d'économies d'énergie et de réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) dans le secteur de l'industrie en Pays de la Loire. Ce secteur consommait 17 % de l'énergie de la région et émettait 9 % de la totalité des émissions de GES en 2006.

Les données sur les consommations énergétiques de l'industrie sont insuffisantes pour évaluer finement les économies d'énergie possibles dans chaque branche d'activité et pour chaque process industriel.

Les principales mesures d'économies d'énergie sont les suivantes :

- production de biens durables, en privilégiant l'usage à la production de biens ;
- généralisation de l'éco-conception, la facilité de réparation, le recyclage et l'écologie industrielle ;
- recherche d'efficacité énergétique dans les opérations transverses ;
- recherche d'efficacité énergétique dans les process.

Nous évaluons globalement le potentiel d'économies d'énergie dans l'industrie des Pays de la Loire en 2050 à 45 % des consommations d'énergie de 2010 (Tableau 71).

| | Unités | 2006 | % de la région en 2006 | Scénario VEC 2050 | Économies en 2050 sur 2006 |
|---|---|---|---|---|---|
| Consommation d'énergie | Mtep | 1.35 | 17% | 0.75 | -45% |
| | TWh | 15.7 | | 8.7 | |
| Émissions de GES | téqCO2 | 3 | 9% | | |

Tableau 71. Consommation d'énergie en 2006 et potentiel d'économie d'énergie en 2050. Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.

## 8.2. Introduction

Le secteur de l'industrie consommait 17 % de l'énergie des Pays de la Loire et émettait 9 % de la totalité des émissions de gaz à effet de serre (GES) régionales en 2006. Bien que les activités industrielles soient inégalement consommatrices d'énergie et émettrices de GES, les solutions proposées supposent une transformation en profondeur du secteur, afin de favoriser les produits durables, recyclables et éco-conçus, moins transformés et produits localement.
Cette réorientation du secteur s'applique également aux activités transverses (alimentation des moteurs, éclairage, chauffage des locaux, production de froid etc...) et aux process industriels qui représentent un potentiel important d'économies d'énergie.

## 8.3. Données et méthode utilisée

### 8.3.1. Les sources de données

Plusieurs sources de données donnent des indications sur les consommations d'énergie et les émissions de GES pour le secteur de l'industrie en Pays de la Loire. Nos travaux s'appuient sur les études suivantes :

- l'étude régionale sur les consommations d'énergie et les émissions de GES des Pays de la Loire de 2006, publiée par le bureau d'études Explicit en 2008. A noter que cette étude comporte très peu d'informations et d'analyses détaillées croisant familles d'activités, usages énergétiques et sources d'énergie sur le secteur de l'Industrie (p.88) [111] :
- les données de l'atelier 5 : Industrie, artisanat, tertiaire - Journées régionales énergie-climat Pays de la Loire - 7 Avril 2009 (Bureau d'études Explicit)[112] ;
- les documents préparatoires à l'élaboration du Schéma Régional Climat Air Energie (SRCAE) des Pays de la Loire, piloté par la Direction Régional de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL). Ces documents incluent l'inventaire 2008 des émissions de polluants, de GES et de consommations énergétiques produit par Air Pays de la Loire à partir de la base de données BASEMIS, le portrait régional « Environnement » à partir de la base de données Pegase (Ministère de l'Écologie MEDDTL – SOeS) et l'observatoire économique de la Chambre Régionale de Commerce et d'Industrie (CRCI) ;
- l'Enquête Annuelle sur les Consommations d'Énergie dans l'Industrie en 2010 (EACEI)[113]
- le scénario négaWatt 2011, dont le chapitre consacré à l'industrie présente le potentiel d'économies d'énergie prévu en 2050.

111 Étude régionale sur l'énergie et l'effet de serre - étude publiée en 2009 et réalisée pour le compte de l'Ademe et la Region des Pays de la Loire : http://ademe-pdll.typepad.fr/files/rapport-bilan-pdl-v4---26-mar-09-2.pdf
112 Journées régionales énergie-climat Pays de la Loire - 7 Avril 2009 : http://ademe-pdll.typepad.fr/files/pdl---7-avril-2009-entreprises.pdf
113 Entreprises interrogées selon leur appartenance à 27 classes d'activités industrielles (la NCE – Nomenclature de Consommation Energétique) à propos de 4 familles d'usages pour les combustibles et 3 familles d'usages pour l'électricité et en distinguant une quinzaine de combustibles différents. Les données sont disponibles à l'échelle de la France, mais ces informations détaillées ne le sont pas pour la région Pays de la Loire.

### 8.3.2. Méthodologie employée

#### *8.3.2.1. Périmètre de notre étude*

- Le secteur de la production d'énergie (usines de production électrique de Cordemais et de raffinage de Donges en Loire Atlantique) n'est pas compté ; il représente une consommation d'énergie de 1,5 Mtep et des émissions 5,4 mtéqCO2[114] (SRCAE, note préparatoire, novembre 2011).
- Nous ne présentons pas ici les solutions de substitution prenant en compte les énergies renouvelables ; elles sont abordées dans le chapitre qui présente la relation entre les besoins en énergie et l'apport des énergies renouvelables.

**Tendances principales retenues à long terme :**

Notre étude s'appuie sur les hypothèses d'évolution à long terme suivantes :

- augmentation de la population : +28 % d'ici à 2050 ;
- relocalisation possible d'une partie des activités industrielles ;
- modification des comportements et des habitudes alimentaires (à mettre en relation avec le chapitre agriculture) ;
- nous ne faisons pas de prévisions sur le taux de croissance de l'économie, jugeant que le produit intérieur brut (PIB) est un indicateur trop rudimentaire de la « richesse » d'un territoire.

#### *8.3.2.2. Méthode globale*

Dans le domaine de l'industrie, la méthode de scénarisation comporte les étapes suivantes :

- **étape 1** : comparaison des sources et estimation de la consommation d'énergie de l'industrie des Pays de la Loire en 2010 ;
- **étape 2** : inventaire des différentes actions en faveur des économies d'énergie ;
- **étape 3** : comparaison avec d'autres études similaires ;
- **étape 4** : évaluation du potentiel d'économies d'énergie à 2050 ;
- **étape 5** : définition d'un calendrier de réalisation des économies d'énergie par décade entre 2010 et 2050.

114 SRCAE PAYS DE LA LOIRE, note préparatoire, novembre 2011

### 8.3.3. Les données de base

#### *8.3.3.1. Les données disponibles*

Le Tableau 72 regroupe des estimations des consommations d'énergie et des émissions de GES de l'industrie des Pays de la Loire issues de différentes sources (étude Explicit, MEDDTL, Basemis 2008).

**Consommation d'énergie et émissions de GES par le secteur de l'industrie en Pays de la Loire**

| sources et quantités | unité | 1990 | 1996 | 1999 | 2002 | 2006 | 2008 | 2009 | 2010 | 2030 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **consommation d'énergie finale** | sources | Explicit | | Explicit | | Explicit | Basemis | MEDDTL | EACI | prospective Explicit |
| | TEP | 1 008 599 | | 1 115 107 | | 1 355 889 | 1 327 000 | 1 244 000 | 1 202 000 | 1 200 000 |
| **évolution des consomations d'énergie** | sources | MEDDTL | MEDDTL | | MEDDTL | | | MEDDTL | | |
| industrie Pays de la Loire | % | 100 | 98 | | 122 | | | 110 | | |
| total énergie Pays de la Loire | % | 100 | 109 | | 129 | | | 138 | | |
| **émission des GES** | sources | Explicit | | Explicit | | Explicit | Basemis | | | |
| origine energie | teqCO2 | 2 155 336 | | 2 193 903 | | 2 377 483 | | | | |
| origine procédés industriels | teqCO2 | | | 565 992 | | 585 724 | | | | |
| gaz fluorés (principalement industriels) | teqCO2 | | | | | 247 375 | | | | |
| total GES | teqCO2 | | | | | 3 210 582 | 3 924 000 | | | |

Tableau 72: Consommations d'énergie et émissions de GES selon diverses sources - Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.

On remarque des écarts significatifs entre les différentes estimations de consommation d'énergie de 2006 à 2010, ainsi qu'entre les émissions totales des GES pour les années 2006 et 2008. Le MEDDTL donne des consommations d'énergie de l'industrie « hors le secteur de la construction » qui représentent 13 % du total des consommations d'énergie de la région, contre 17 % dans l'étude Explicit. L'étude Basemis 2008, fournit une estimation des émissions de GES incluant la décarbonatation dans les cimenteries en Mayenne.

L'intensité énergétique (quantité d'énergie consommée par unité de PIB) a diminué de 33 % dans la région entre 1990 et 2008 (SOeS, MEDDTL, base Pegase). Cette baisse des consommations d'énergie par unité de richesse produite s'explique d'une part par un effort en faveur des économies d'énergie des industriels et d'autre part par la délocalisation des activités industrielles dans des pays à bas coût de main d'oeuvre. Ces deux phénomènes agissent simultanément et se révèlent difficiles à distinguer.

Nous basons notre scénario sur l'étude Explicit, qui fournit des estimations de consommations d'énergie et d'émissions de GES pour 1990, 1999 et 2006.

Nous faisons l'hypothèse qu'une faible augmentation de la production industrielle, combinée à une baisse de l'intensité énergétique, avait débouché sur une stabilisation des consommations d'énergie industrielles entre 2006 et 2010. Nous avons donc reporté les estimations de 2006 en 2010.

#### *8.3.3.2. Données générales sur l'industrie en région Pays de la Loire*

Le graphique et les deux tableaux suivants présentent l'activité industrielle des Pays de la Loire.

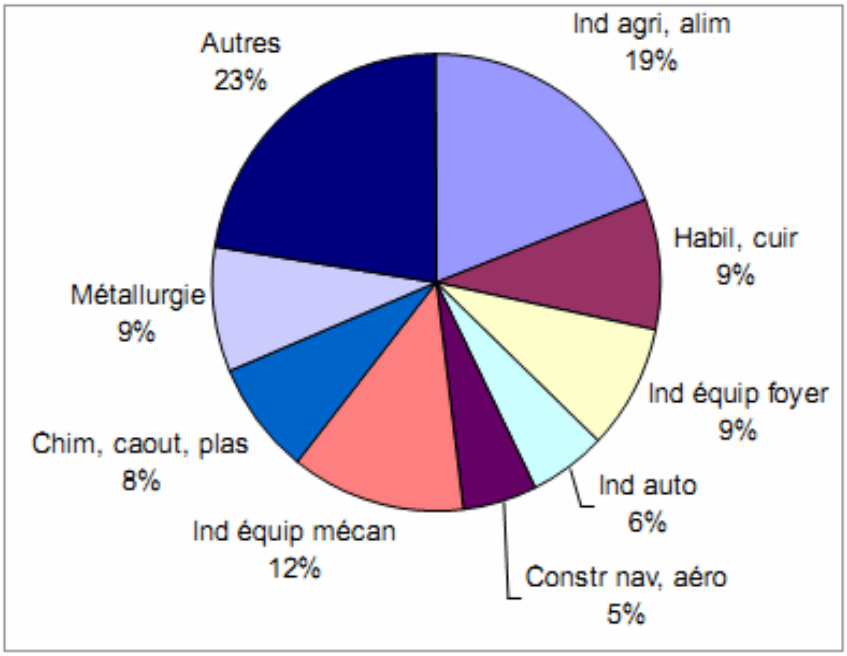



*Figure 57. Part des branches industrielles dans l'emploi salarié industriel en 1999 - Source : Insee (enquête emploi au lieu de travail)*

L'emploi industriel est réparti de façon assez homogène entre de nombreuses branches d'activités (Figure 57). L'agroalimentaire est le principal employeur industriel, avec 20 % des salariés.

L'agroalimentaire et l'industrie des minéraux représentent près de 50 % de la consommation d'énergie et des émissions de GES industrielles régionales (Tableau 73).

| **répartition par secteurs** | **% energie finale consommée** | **% émissions de ges** |
|---|---|---|
| agro alimentaire | 30 | 29 |
| industrie des mineraux | 19 | 21 |
| bois papier | 12 | 11 |
| chimie caoutchouc plastique | 10 | 8 |
| metallurgie | 10 | 10 |
| autres | 22 | 21 |

Tableau 73: Consommation d'énergie et émissions de GES en Pays de la Loire - Source : Explicit 2006

L'électricité et le gaz fournissent près de 80 % de l'énergie consommée par l'industrie des Pays de la Loire (Tableau 74). Nous n'avons pas d'indications sur les usages de l'énergie (chaleur, motricité ou électricité spécifique).

| source d'énergie | % |
|---|---|
| electricite | 44 |
| charbon | 1 |
| gaz | 34 |
| produit pétrolier | 16 |
| autres | 5 |

Tableau 74: Sources d'énergie utilisée dans l'industrie des Pays de la Loire – source Explicit 2006

### 8.3.4. Les gisements d'économies d'énergie

Les mesures en faveur des économies d'énergie sont basées sur les principes suivants :

- diminution du volume de production ;
- amélioration de l'efficacité des opérations transverses ;
- amélioration de l'efficacité des process.

#### *8.3.4.1. Ajuster le volume de la production industrielle*

##### 8.3.4.1.1. Produire des biens durables et selon une logique d'usage

Durabilité

Fabriquer des biens de bonne qualité permet d'augmenter leur durée de vie et de diminuer la quantité à produire par unité de temps. En ce sens, des associations de consommateurs et des laboratoires indépendants devraient être associés aux phases de conception, afin d'améliorer la qualité et la durabilité des produits et diminuer la production des biens jetables ou irréparables.

L'éco-conception peut prendre en compte la durabilité d'un bien, à travers sa capacité d'évolution et de réparation. Elle favorise aussi la réduction des emballages.

Logique d'usage

Passer d'une logique de propriété à une logique d'usage et de service permettrait d'augmenter la fiabilité et la durée de vie des équipements et d'en réduire le taux de renouvellement. En effet, la logique d'usage et de service implique que la société ou l'organisme, qui met à disposition l'équipement ou le service, en reste propriétaire.

Le client n'est que l'utilisateur de ce bien[115]. Un service global à domicile basé sur l'usage (installation, maintenance, évolution) pourrait intervenir pour des équipements domestiques.

115 Par exemple la société Rank Xerok fournit un service de photocopie à ses clients usagers. Michelin Fleet Service loue des pneus à de grandes flottes de véhicules et en assurent l'entretien.

Service de location

Un service local de location (à l'échelle d'un quartier ou d'un habitat collectif) peut favoriser un usage partagé de certains équipements. Dans cet esprit, l'auto-partage (qui peut prendre la forme d'une coopérative ou être porté par des organismes liés aux collectivités) mutualise un nombre restreint de véhicules entre un grand nombre d'usagers qui n'ont plus besoin d'être propriétaires.

La mise en place de ces actions permet une diminution globale du volume des biens produits, tout en offrant un même niveau d'usage et de service.

#### 8.3.4.1.2. Recycler et valoriser les flux d'énergie et de matière

Le recyclage des matériaux permet souvent d'importantes économies d'énergie. On consomme 15 fois moins d'énergie pour recycler de l'aluminium, que pour le produire à partir du minerai de bauxite.

Dans la phase d'éco-conception d'un produit ou d'une filière, le concept de l'économie circulaire favorise les actions de recyclage sur les produits, sous-produits et les flux. On peut aussi valoriser la cogénération sur des sites utilisant chaleur et électricité, favorisant ainsi un meilleur usage global de l'énergie utilisée[116].

#### 8.3.4.1.3. Favoriser l'usage de produits économes en énergie grise

Pour améliorer l'isolation des bâtiments, on peut utiliser des matériaux isolants d'origine naturelle (chanvre, laine de bois, etc.), dont la production peut être locale (cf. chapitre agriculture) et demande moins d'énergie que celle d'isolants de synthèse. La construction de logements à ossature bois permet un moindre usage des bétons et ciments, qui demandent une forte consommation d'énergie et dont la décarbonatation produit d'importantes émissions de CO2.

#### 8.3.4.1.4. Des aliments moins transformés

De nouvelles habitudes alimentaires se développent, basées sur la consommation d'aliments de saison produits localement. Ces produits sont moins transformés, et leur fabrication consomme donc moins d'énergie.

L'agriculture biologique ou l'agriculture intégrée permettent de diminuer drastiquement la consommation d'intrants agricoles (engrais, produits phytosanitaires et aliments pour le bétail). Ces modes de production agricole sont donc à privilégier afin d'économiser l'énergie nécessaire à la fabrication des intrants agricoles (cf. chapitre agriculture).

116 Exemple d'une expérience de cogénération dans la ville danoise de Kalundbord : ttp://www.ecoparc.com/ecologie-industrielle/kalundborg.php
Exemple d'une centrale à cycle combiné entre deux grands industriels : http://www.comite21.org/docs/economie/axes-de-travail/innovation/fiche-innovation-gaz-de-france.pdf

8.3.4.1.5. Comportement des consommateurs

Certaines des actions précédentes correspondent à de nouvelles demandes de la part des consommateurs. L'affichage environnemental[117], mis en route progressivement suite au Grenelle de l'environnement, devrait indiquer la quantité d'énergie et de GES incorporé dans un produit. Les consommateurs pourraient ainsi choisir des produits sobres en énergie et peu émetteurs de GES, favorisant ainsi les économies d'énergie dans ce secteur.

#### *8.3.4.2. Amélioration de l'efficacité sur les opérations transverses*

Les opérations transverses, ou « utilities », sont les activités industrielles qui ne sont pas liées à des process industriels spécifiques à chaque secteur ou entreprise. Nous présentons ci-dessous les résultats de l'étude nationale du CEREN, présentée en novembre 2010, sur les gisements d'économies d'énergie dans les opérations transverses de l'industrie[118].

**Présentation de l'étude CEREN :**

L'étude porte sur 10 opérations transverses, qui représentent 78 % de la consommation d'électricité et 12 % des consommations de combustibles du secteur industriel en France.

Le « gisement » d'économie d'énergie mobilisable dans ces opérations transverses est défini comme la somme des économies d'énergie d'actions techniquement réalisables (c'est à dire ayant fait l'objet au moins d'une réalisation industrielle). C'est un gisement technique, hors contraintes économiques. Son horizon est en partie à long terme.

Les 7 opérations transverses pour l'électricité concernent les moteurs, les transformateurs électriques, l'éclairage, la production d'air comprimé, la production de froid, la ventilation, le pompage.

Les 3 opérations transverses pour les combustibles concernent les pertes de chaufferie, les pertes de réseau, le chauffage des locaux.

**Résultats de l'étude :**

Les actions offrant les gisements les plus élevés sont :

- les moteurs synchrones à aimants permanents et la vitesse variable pour les moteurs ;
- la dé-stratification et l'intermittence du chauffage pour le chauffage des locaux ;
- le réchauffeur d'air et l'économiseur pour les chaufferies ;
- la suppression des fuites des réseaux ;
- l'optimisation du réseau hydraulique pour les installations de pompage.

117 COMMISSARIAT GÉNÉRAL AU DÉVELOPPEMENT DURABLE : Le point sur : Expérimentation de l'affichage environnemental sur les produits agro-alimentaires, premier retour d'expériences, mai 2012 http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/LPS125.pdf

118 Étude CEREN - Les gisements d'économies d'énergie dans les opérations transverses de l'industrie : télécharger la présentation : http://www.ceren.fr/actu/dossiers.aspx (voir également la lettre du CEREN, n°17, mai 2010)

La Figure 58 et le Tableau 74 ci-dessous présentent les gisements d'économies d'énergie combustibles et électricité dans le domaine de l'industrie, mobilisables grâce à la mise en œuvre des actions précédemment citées.

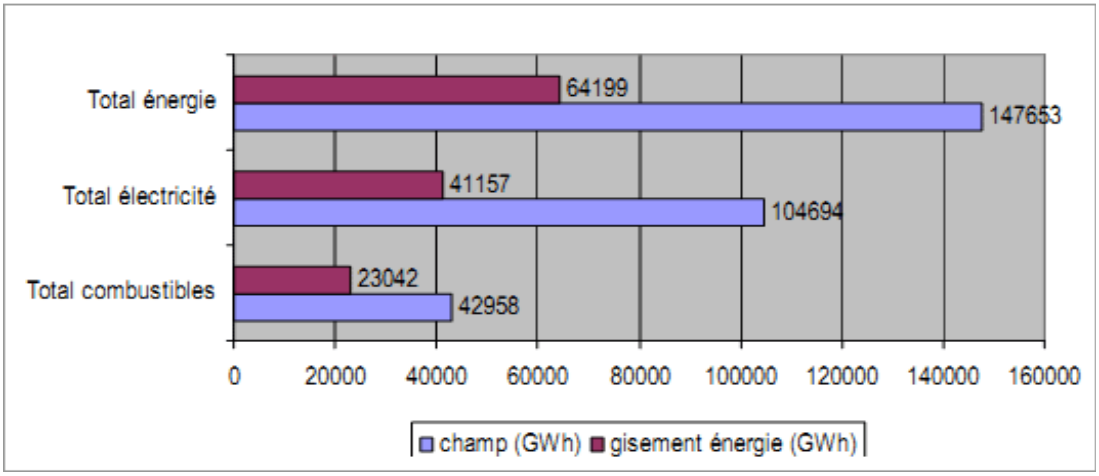



*Figure 58. Gisements d'économies d'énergie combustibles / électricité (GWh) - Source : Document de présentation CEREN du 16 novembre 2010 - Journée AFITE-ATEE sur le management de l'énergie.*

| | % économie |
|---|---|
| électricité | 39 |
| combustible | 54 |
| total énergie | 43 |

Tableau 75: Gisements d'économies d'énergie combustibles / électricité en % - Source : Document de présentation CEREN du 16 novembre 2010 - Journée AFITE-ATEE sur le management de l'énergie

Ces résultats indiquent qu'il est possible d'atteindre une économie de 39 % sur l'électricité et 54 % sur le combustible dans les opérations industrielles transverses.

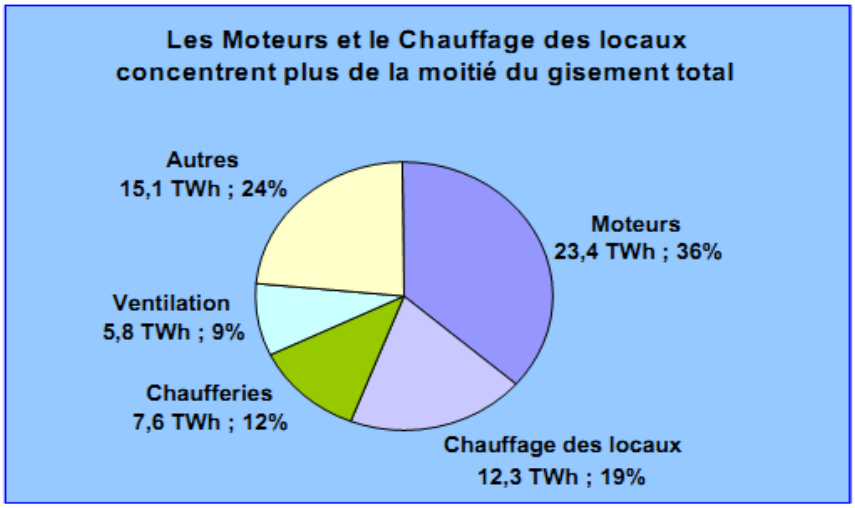



*Figure 59. Répartition des gains selon les actions - Source : Lettre du CEREN, n°17, mai 2010*

La Figure 59 précédente présente le potentiel des actions d'économie d'énergie dans les activités industrielles transverses estimé par le CEREN. Les moteurs et le chauffage des locaux concentrent ainsi 55 % du gisement total d'économies d'énergie (Figure 59).

La Figure 60 présente le gisement d'économie d'énergie en GWh, par opération et temps de retour.

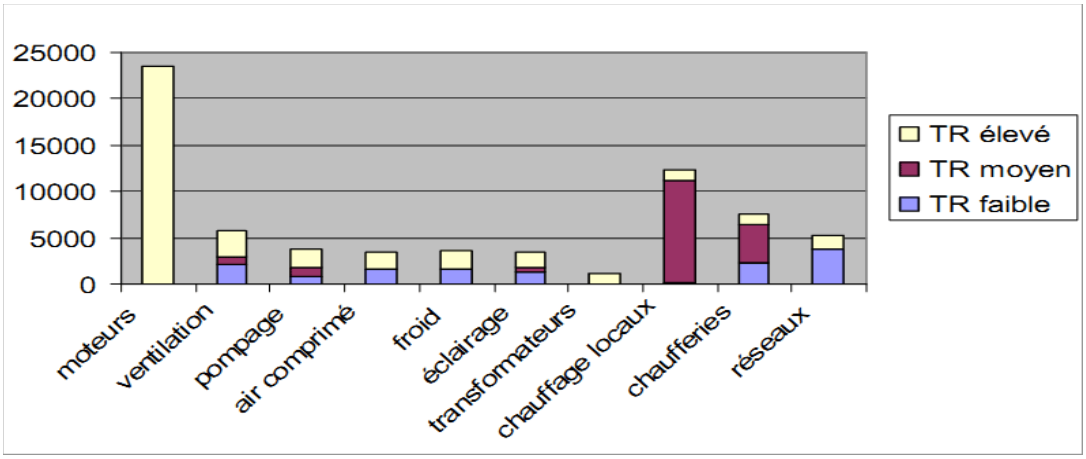



*Figure 60. Gisement d'économie d'énergie en GWh, par opération et temps de retour - Source : Lettre du CEREN, n°17, mai 2010.*

On constate que plus de la moitié du gisement potentiel peut être mobilisée par des opérations ayant un temps de retour court à moyen (de 1 à 10 ans). Les gisements d'économie les plus importants (moteurs et chauffage) ne peuvent cependant pas être mobilisés à court terme.

La Figure 61 présente la répartition par opération du gisement français d'émissions de CO2 évitables dans les opérations industrielles transverses.

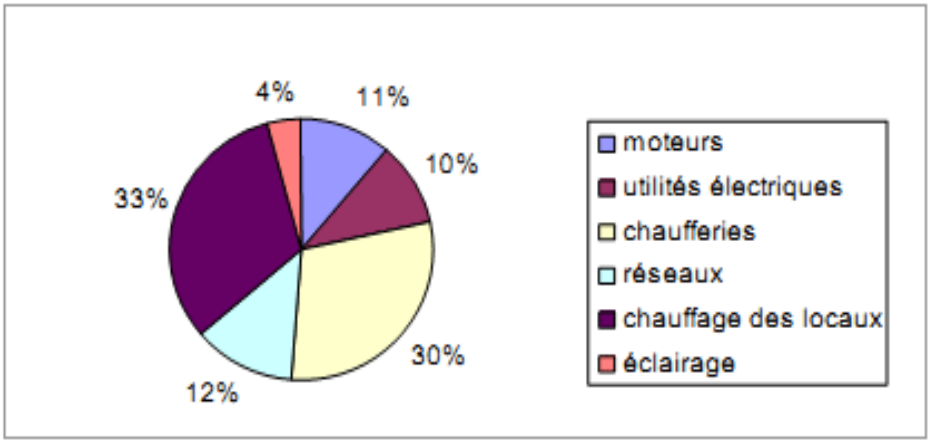



*Figure 61. Gisement d'émissions évitables de CO2 (8,6 Mt) )(potentiel national - Source : Lettre du CEREN, n°17, mai 2010.*

Le potentiel national d'émissions de CO2 évitables dans les opérations industrielles transverses est de 8,6 Mt., sur la base d'un contenu carbone de l'électricité de 51 kg/ MWh, hors éclairage et chauffage des locaux. Les plus gros gisement d'économie d'émissions de CO2 concernent la gestion des réseaux (30%) et le chauffage des locaux (33%).

#### *8.3.4.3. Économies d'énergie sur les process industriels*

Comme dans les activités transverses, il existe un gisement important d'économies d'énergie sur les process. Cependant, il est moins connu et quantifié, car il concerne directement des techniques de fabrication, souvent couvertes par le secret industriel.
De plus, chaque branche et chaque entreprise dans une même branche utilisent des process spécifiques, parfois très technologiques ; la généralisation est donc difficile en l'absence d'étude précise.

Dans le cadre de la directive européenne IPPC, les documents techniques BREF rassemblent les meilleures techniques disponibles (MTD), pour chaque type de process. Même cantonnés à des principes et informations généraux, ces documents constituent un bon outil pour évaluer la pré-faisabilité et pour assurer une sensibilisation-vulgarisation sur les économies d'énergie dans les process industriels.

Selon une étude réalisée pour le Schéma Régional Climat Air Énergie (SRCAE) en Rhône Alpes[119], les procédés industriels recèlent de gisements d'efficacité énergétique très élevés et parfois mal estimés. Les gains unitaires estimés allaient de 20 % à 90 %, sachant qu'un effet non cumulatif de certaines préconisations est à prendre en compte, et que la majorité des temps de retour sur investissement associés à ces gains varient de 1 à 3 ans.

Nous n'avons pas connaissance d'une autre étude recensant et quantifiant les économies d'énergie correspondantes aux différents process industriels.

#### *8.3.4.4. Économies et substitution d'énergie*

La substitution d'énergie est possible, notamment pour des usages liés à la chaleur. Selon l'étude *L'énergie Solaire Thermique pour Applications de Froid et de Chaleur Industrielle*, menée par Olivier Drücke[120] :

- environ 20 % de la demande d'énergie finale allemande et européenne est utilisé pour produire de la chaleur à usage industriel ;
- environ 1/3 de cette énergie peut être mise à disposition à des températures en dessous de 100°C.

Cet exemple est cité ici à titre d'information ; nous ne valorisons pas cet aspect dans ce chapitre.

119 L'efficacité énergétique, un investissement bénéfique pour l'industrie en Rhône-Alpes http://srcae.rhonealpes.fr/static/cms_page_media/24/efficacite_energetique_industrie_vf_24022011.pdf (voir page 20 et suivantes)

120 L'énergie Solaire Thermique pour Applications de Froid et de Chaleur Industrielle, étude menée par Olivier Drücke : http://*marokko.ahk.de/uploads/media/Druecke.pdf*

### 8.3.5. Gisement d'économie d'énergie dans l'industrie du scénario negaWatt

Le scénario ***négaWatt*** version 2011[121] contient une analyse fine des capacités d'économies d'énergie dans les principaux secteurs de l'industrie en France. Ces gisements d'économies pourraient être mobilisés au travers des actions suivantes :

- réduction importante des emballages, qui représentent 40 % des plastiques, 50 % des papiers-cartons et 65 % du verre produit ;
- une augmentation du taux de réutilisation : 30 % des plastiques et 90 % de l'acier sont recyclés en 2050 dans négaWatt, contre respectivement 4,5 et 52 % aujourd'hui.

La mise en œuvre de ces actions entraînerait une diminution des besoins de 8 % pour l'acier, 36 % pour les ciments, et 59 % pour le verre. Le gain global en efficacité serait de 32 % en 2050, par rapport à la consommation d'énergie de 2010.
En s'appuyant sur le trio d'actions « sobriété / efficacité / recyclage », le scénario négaWatt prévoit une division par 2 des consommations d'énergie de l'industrie en 2050.

## 8.4. Discussion : synthèse et résultats retenus pour notre étude

### 8.4.1. Discussion

Dans notre exposé, une part importante des gisements d'économies et de réduction de GES réside dans une réorientation du secteur impliquant des modifications et une relocalisation de la production (produits durables, recyclables et éco-conçus, importance de l'éco-conception, produits alimentaires moins transformés et locaux, etc.).
Il est cependant difficile de quantifier le gain correspondant. Différentes études proposent des chiffrages, sur lesquels nous pouvons cependant nous baser :

- L'étude CEREN indique un gain de 43 % en efficacité dans les « opérations transverses »
- L'étude SCRAE Rhône-Alpes indique un gisement existant sur les process, mais sans valorisation globale.
- Le scénario négaWatt prévoit une réduction globale de 50 % d'ici à 2050.
- L'étude Efficacité énergétique en Nord-pas-de-Calais[122] prévoit une réduction de 39 à 50 % (sans le secteur sidérurgique) et de de 35 à 41 % (avec le secteur sidérurgique).

De manière générale, les professionnels, qui travaillent sur le sujet des économies d'énergie possibles dans le secteur de l'industrie, reconnaissent qu'il y a un manque d'informations coordonnées, alors que des expériences ont été menées depuis plus de 10 ans. Il faudrait un vrai plan de travail sur ce sujet à l'échelle nationale, mis en musique dans les régions, s'appuyant sur un observatoire statistique sérieux, suivi d'une exploitation et une valorisation des retours d'expériences déjà réalisés dans les entreprises.

121 ASSOCIATION NEGAWATT, Thierry SALOMON, Marc JEDLICZKA et Yves MARIGNAC - Manifeste Négawatt - Réussir la transition énergétique - janvier 2012 – (voir chapitre « une mutation de l'industrie, p.160)

122 Étude Efficacité énergétique dans l'industrie du Nord-Pas-de-Calais - réalisée par Énergie Demain et E&E consultant pour le Conseil régional Nord-Pas-de-Calais et l'ADEME Nord-Pas-de-Calais – 2011 http://www.ee-consultant.fr/IMG/pdf/Extrait_Industrie_-_Rapport_efficacite_energetique_en_Nord-Pas-de-Calais_-_2011.pdf

### 8.4.2. Notre évaluation

A partir des travaux cités précédemment, nous envisageons un gain en économie d'énergie de 45 %. Cet objectif est plus faible que la valeur retenue par négaWatt, car nous prenons en compte :

- l'augmentation importante de la population dans notre région ;
- et une relocalisation possible de certaines activités industrielles.

Ce gain de 45 % en 2050 correspond à une prévision de consommation de 0,75 Mtep .
Nous ne connaissons pas d'étude similaire pour la région Pays de la Loire et le SRCAE n'a pas encore publié de projection.

### 8.4.3. Calendrier d'évolution par décade

Comme dans les autres secteurs, certaines économies d'énergie sont facilement accessibles et pourraient être mise en œuvre à court et moyen terme [123]. Le tableau 6 et l'illustration ci-dessous présentent notre scénario de mise en œuvre des économies d'énergie dans l'industrie des Pays de la Loire.

| | 1990 | 2000 | 2010 | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| source | Explicit | Explicit | Explicit / VEC | VEC | VEC | VEC | VEC |
| Mtep | 1,01 | 1,18 | 1,36 | 1,04 | 0,84 | 0,78 | 0,75 |
| Twh | 11,7 | 13,71 | 15,73 | 12,01 | 9,71 | 9 | 8,65 |

Tableau 76: Prévisions d'évolution de la consommation d'énergie du secteur industriel dans les Pays de la Loire entre 1990 et 2050 - Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.

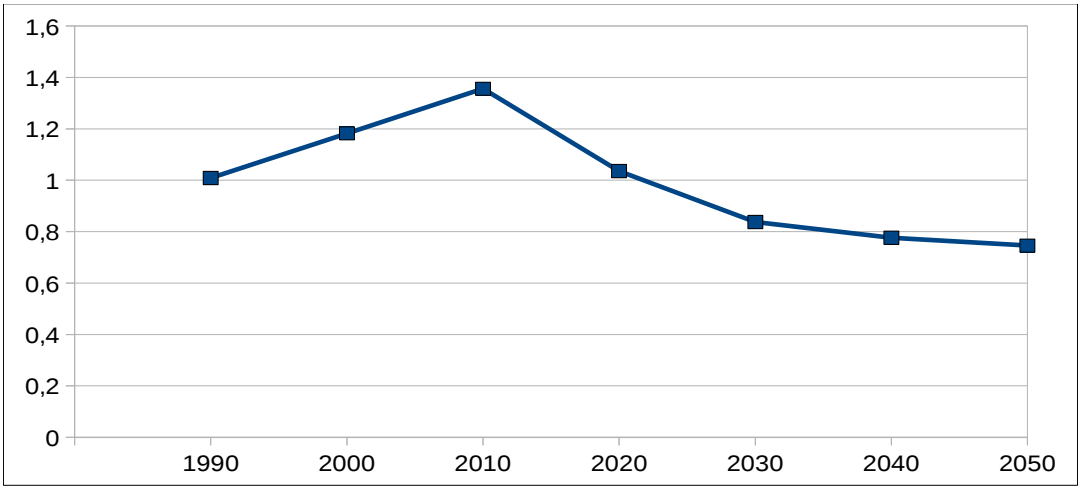



*Figure 62. Évolution de la consommation d'énergie (en Mtep) de l'industrie des Pays de la Loire de 2010 à 2050.- Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.*

La mobilisation du gisement d'économies d'énergie est plus soutenue au début de la période, du fait de la mise en œuvre rapide d'actions à court et moyen terme, dont les effets se font sentir jusqu'en 2030.

123 Étude CEREN - Les gisements d'économies d'énergie dans les opérations transverses de l'industrie : télécharger la présentation : http://www.ceren.fr/actu/dossiers.aspx (voir graphique sur les temps de retour)

### 8.4.4. Répartition entre formes d'énergie chaleur et électrique

Nous n'avons pas d'indication précise, quant aux usages et formes d'énergie (chaleur, électricité spécifique et motricité). Nous prenons en compte le fait que l'électricité couvre actuellement 44 % de la consommation d'énergie et le gaz et autres combustibles pour 56%. Par défaut, nous gardons la même proportion pour les usages de l'électricité et nous affectons les autres usages à la chaleur. Le tableau ci-dessous (Tableau 77).présente la répartition des usage en 2050 et propose un besoin en chaleur de 0,42  Mtep et de 0,33 Mtep en électricité en 2050.

| | total (Mtep) | chaleur | électricité |
|---|---|---|---|
| répartition des usages | | 56% | 44% |
| Mtep | 0.75 | 0.42 | 0.33 |

Tableau 77. Nature des besoins en énergie de l'industrie des Pays de la Loire en 2050- Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.

## 8.5. Références

Étude régionale sur l'énergie et l'effet de serre - étude publiée en 2009 et réalisée pour le compte de l'Ademe et la Region des Pays de la Loire
http://ademe-pdll.typepad.fr/files/rapport-bilan-pdl-v4---26-mar-09-2.pdf

Journées régionales énergie-climat Pays de la Loire - 7 Avril 2009
http://ademe-pdll.typepad.fr/infos/2010/04/journ%C3%A9e-r%C3%A9gionale-energie-et-effet-de-serre-7-avril-2009.html

EACEI - Enquête Annuelle sur les Consommations d'Energie dans l'Industrie en 2010
http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/lessentiel/ar/333/1200/consommation-denergie-lindustrie.html

SRCAE PAYS DE LA LOIRE, note préparatoire, novembre 2011, documents de travail remis aux participants

ADEME, 49 exemples de bonnes pratiques énergétiques en entreprise, décembre 2011
http://www2.ademe.fr/servlet/getDoc?sort=-1&cid=96&m=3&id=81458&ref=&nocache=yes&p1=111

Site Internet de l'ADEME, page dédiée aux entreprises
http://www2.ademe.fr/servlet/list?catid=12424

Site Internet de l'ADEME, données générales sur l'utilisation de l'énergie dans les procédés industriels
http://www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow?sort=-1&cid=96&m=3&catid=19772

GARNIER Alain, *Et si on s'attaquait aux économies d'énergie dans l'industrie ?* portail Xpair, mai 2012
http://conseils.xpair.com/actualite_experts/attaquer-economies-energie-dans-industrie.htm

Ceren – Dossier : Gisement des économies d'énergie dans les opérations transverses de l'industrie
http://www.ceren.fr/actu/dossiers.aspx (voir également la lettre du CEREN, n°17, mai 2010)

Étude Efficacité énergétique dans l'industrie du Nord-Pas-de-Calais - étude réalisée par Énergie Demain et E&E consultant pour le conseil régional Nord-Pas-de-Calais et l'ADEME Nord-Pas-de-Calais - 2011
http://www.ee-consultant.fr/IMG/pdf/Extrait_Industrie_-_Rapport_efficacite_energetique_en_Nord-Pas-de-Calais_-_2011.pdf

Étude L'efficacité énergétique, un investissement bénéfique pour l'industrie en Rhone-Alpes – étude réalisée dans le cadre du SRCAE Rhône-Alpes, février 2011
http://srcae.rhonealpes.fr/static/cms_page_media/24/efficacite_energetique_industrie_vf_24022011.pdf

ODRU Pierre (Agence Nationale de la Recherche) - Efficacité énergétique industrie, janvier 2012
http://www.fondation-tuck.fr/Reunions/IDees-30-01-2012/Presentation-Pierre-Odru.pdf

Des réalisations d'économies d'énergie dans l'industrie agroalimentaire - Forum régional pour l'optimisation de l'utilisation des fluides dans les procédés de fabrication de l'industrie agroalimentaire (synthèse) – juin 2010
http://certia-interface.fr/wp-content/uploads/2011/10/Synthese_efficacitenergetique1.pdf

GlobalChance cahier n°27 (chapitre sur le secteur de l'industrie), *Du gâchis à l'intelligence. Le bon usage de l'électricité*, janvier 2010
http://www.global-chance.org/spip.php?article47

Étude L'énergie Solaire Thermique pour Applications de Froid et de Chaleur Industrielle, étude menée par Olivier Drücke
http://*marokko.ahk.de/uploads/media/Druecke.pdf*

ASSOCIATION NEGAWATT, Manifeste négaWatt - Réussir la transition énergétique - janvier 2012

Expériences d'écologie industrielle : ville danoise de Kalundbord[124] et centrale à cycle combiné entre deux grands industriels[125].

124 http://www.ecoparc.com/ecologie-industrielle/kalundborg.php

125 http://www.comite21.org/docs/economie/axes-de-travail/innovation/fiche-innovation-gaz-de-france.pdf

# 9. GESTION DES DECHETS

## 9.1. Résumé

Les déchets représentent une faible consommation d'énergie, mais plus de 5 % de la totalité des émissions de GES de la région (selon l'étude Explicit de 2006 pour la région). Ces émissions de GES correspondent notamment à la production de méthane par la fermentation des déchets organiques.

Nous prévoyons de tendre vers une société du zéro déchet, dans la mesure où le déchet représente un échec culturel, révélateur d'une société de gaspillage et un échec technique dans l'organisation de la production.

**Ainsi, les émissions de GES dues aux déchets seront proches de 0**, via des mesures comme :

- l'éco-conception, le recyclage et le tri pour les déchets de type solide,
- le compostage pour la plus grande part des déchets fermentescibles,
- l'incorporation de la part non compostée des déchets fermentescibles, dans les traitements de méthanisation, en lien avec le traitement de matières d'origine agricole, permettant de produire de l'énergie.

## 9.2. Introduction

Les déchets sont à la fois source d'énergie et source d'émissions de GES. Du point de vue de l'énergie, la situation est complexe. D'un coté, la gestion des déchets consomme de l'énergie (pour la collecte, le transport, le tri, le traitement). De l'autre, certains déchets produisent de l'énergie, par exemple par incinération, voire la valorisation énergétique du biogaz de décharge et/ou la méthanisation.

Certains processus de la gestion de déchets ont également un effet indirect sur les consommations d'énergie, mais ils sont pour la plupart difficiles à quantifier. Ainsi, nous parlerons plutôt d'effet positif ou négatif.

- effet positif : le recyclage est souvent moins énergivore que la production à partir de matériaux primaires. C'est par exemple le cas pour le verre ou encore les amendements organiques, qui sont moins énergivores que les engrais minéraux.
- effet négatif : une gestion des déchets "efficace" (collecte, recyclage) n'incite pas au réemploi des objets. Or, le réemploi (avec ou sans réparation) est quasiment toujours plus favorable en termes d'énergie grise, que le fait de remplacer un objet usagé par un neuf, même si tout ou partie de ses matériaux sont recyclés.

Du point de vue des émissions de GES, la situation est moins complexe : les déchets, en tant que source d'énergie (lorsqu'ils sont incinérés ou par production de biogaz), peuvent se substituer à des énergies fossiles. Cependant, ils présentent un bilan carbone relativement proche des énergies fossiles. Par ailleurs, hors production d'énergie, la gestion des déchets induit d'autres émissions de gaz à effet de serre.
Les deux postes principaux sont d'une part, les émissions des véhicules de collecte, et d'autre part les émissions de méthane issues de la fermentation de la matière organique dans les centres d'enfouissement lorsque ce méthane n'est pas valorisé.

Enfin, signalons que les données sur les déchets et leurs impacts énergie/climat sont assez disparates et lacunaires. Les résultats peuvent varier assez fortement selon les méthodes de calcul utilisées et le fait que l'on inclut ou non les énergies/émissions grises.

## 9.3. Méthode et données

### 9.3.1. Sources des données

En raison du caractère disparate des données, notre étude fait référence à de nombreuses sources, citées dans le texte et en notes de bas de page.

### 9.3.2. Méthode

#### *9.3.2.1. Périmètre de l'étude*

Il existe plusieurs types de déchets, selon leur nature (dangereux / non dangereux / inertes), leurs producteurs (ménages / activités économiques) ou leur mode de gestion (autogestion / collecte et traitement externes). Dans ce chapitre, nous nous intéresserons essentiellement aux déchets suivants :

- les déchets ménagers et "assimilés" (c'est à dire les effluents d'assainissement, les déchets municipaux et les déchets collectés en même temps que les déchets ménagers : petits commerces, artisans, etc.) ;
- les déchets des activités économiques, hors déchets inertes et hors déchets agricoles "autogérés" (cf infra).

Nous ne traiterons pas les déchets suivants :

- les déchets agricoles "autogérés", c'est à dire gérés directement dans les exploitations agricoles. Il s'agit essentiellement des effluents d'élevage et des résidus de récolte. Ces déchets sont traités dans le chapitre **Agriculture** du scénario.
- les déchets inertes (gravats, par exemple) et hors ménages, c'est à dire principalement issus du BTP, dont le seul impact sur l'énergie et le climat est lié à leur transport. Pour le moment, en l'absence de planification centralisée de leur gestion, les données sont lacunaires, raison pour laquelle ils sont exclus de la présente analyse.

Nous ne traitons pas les aspects environnementaux de la gestion des déchets, notamment les aspects sanitaires.

#### *9.3.2.2. Méthode globale*

**Étape 1** : Estimation de la production de déchets actuelle en Pays de la Loire.
**Étape 2** : Estimation de l'impact de la production de déchets actuelle sur le volet "énergie" et le volet "climat", les deux étant concomitants.
**Étape 3** : Caractérisation de la situation actuelle sur le volet "climat" pour les émissions énergétiques et non énergétiques.
**Étape 4** : Élaboration d'hypothèses d'évolution de la production de déchets, en quantité et en nature, en fonction de l'évolution de la population et de l'évolution des activités humaines. Les échéances projetées seront 2012, 2020 et 2050.
**Étape 5** : Projections en matière d'énergie et climat, à partir des hypothèses retenues. Les résultats obtenus pour 2050 seront un ordre d'idées, plutôt qu'un chiffre précis.

### 9.3.3. Production actuelle de déchets

Le tableau ci-après présente la production régionale et la répartition des déchets ménagers et assimilés. En 2007, la production régionale de déchets ménagers et assimilés a été la suivante :

| | Milliers de tonnes |
|---|---|
| Déchets en mélange collectés en porte à porte | 870 |
| Déchets verts et bio-déchets collectés en porte à porte | 22 |
| Encombrants collectés en porte à porte | 9 |
| Verre collecté sélectivement | 110 |
| Autres déchets collectés sélectivement (papiers, emballages…) | 213 |
| Collectes en décheteries | 880 |
| TOTAL | 2104 |

Tableau 78: Production régionale de déchets ménagers et assimilés - Source : ADEME, enquête "collecte" 2007, via IFEN-EIDER

Les déchets collectés en décheteries sont très variés. Les Plans Départementaux d'Élimination des Déchets Ménagers et Assimilés (PDEDMA) proposent une analyse de leur répartition par nature. En prenant les ratios de répartition de la Loire-atlantique, on peut ventiler, en première approche, les 880 000 tonnes régionales issues des déchetteries comme suit :

| | Déchetteries Loire-atlantique 2005 (milliers de tonnes) | Part (Loire-atlantique) | Ventilation déchetteries Pays de la Loire 2007 (milliers de tonnes) |
|---|---|---|---|
| Déchets verts | 101 | 35 % | 309 |
| Inertes | 91 | 32% | 280 |
| Encombrants (mélange) | 71 | 25% | 220 |
| Déchets métalliques | 13 | 4% | 39 |
| Papiers cartons | 9 | 3% | 28 |
| Déchets électroniques et dangereux | 1,5 | 0,5% | 4 |
| TOTAL | 286,5 | | 880 |

Tableau 79: Ventilation des déchets produits en déchetterie en 2009 en région Pays de la Loire - Source : pour la Loire-atlantique, PDEDMA 44, juin 2009

Les chiffres concernant les boues des stations d'épuration, traitant principalement les eaux usées des ménages, sont difficiles à obtenir. En affectant les chiffres de la Loire-atlantique (20 000 t de matière sèche en 2005, source PDEDMA 2009) au prorata de la population régionale, on peut estimer une production régionale d'environ 60 000 t de matière sèche par an, soit 600 000 t de matière brute sur la base d'une siccité de 10%.

La tableau suivant présente la répartition des déchets non dangereux produits par les entreprises (établissements de plus de 10 salariés de l'industrie et du commerce, hors construction et services) en région Pays de la Loire. En 2008, la production régionale de déchets est répartie comme suit :

| | Milliers de tonnes |
|---|---|
| Boues de stations d'épuration | 322 |
| Métaux | 313 |
| Bois (imprégnés ou non) | 232 |
| Papiers, cartons | 222 |
| Déchets en mélange | 147 |
| Minéraux | 66 |
| Caoutchouc, plastiques | 41 |
| Verre | 16 |
| Alimentaires, déchets verts | 3 |
| Textiles, cuirs | 2 |
| **Total** | **1 448** |

Tableau 80 : Production 2008 des Déchets non dangereux des entreprises en pays de la Loire - Source : ADEME, enquête "déchets des entreprises" 2008, via IFEN-EIDER

Pour compléter les données de ce tableau, qui ne fait pas apparaître les déchets dangereux, nous pouvons faire référence aux données fournies par le Ministère du Développement durable et de l'Énergie (DGPR), via IFEN-EIDER[126]. Elles indiquent que les déchets dangereux produits par les entreprises régionales (qui produisent plus de 10 tonnes de déchets dangereux par an) se sont élevés à 109 kt en 2009, soit 7,5 % du tonnage de déchets non dangereux.

126 Source: Ministère du Développement durable et de l'Énergie (DGPR), via IFEN-EIDER

Ainsi, sur la base des différentes données présentées, on peut faire le récapitulatif global suivant, avec une répartition par typologie et suivant l'impact énergie-climat :

| Type de déchets | Milliers de tonnes |
|---|---|
| Déchets inertes, non incinérables, non méthanisables.<br>Valorisables uniquement en remblais. | |
| Collectés en déchetteries (particuliers et parfois artisans) | 280 |
| BTP | Non disponible |
| Déchets recyclables valorisables en matière | |
| Métaux (hors BTP) | 352 |
| verre | 126 |
| Emballages, papiers-cartons, plastique | 504 |
| Déchets fermentescibles valorisables pour la méthanisation | |
| Boues de STEP | 900 (poids humide)<br>90 (matière sèche) |
| Autres (déchets verts, déchets alimentaires...) | 335 (poids humide) |
| Déchets agricoles (effluents d'élevage et résidus de récolte) | Cf partie agricole du scénario |
| Déchets en mélange (ordures ménagères résiduelles, encombrants...),<br>non recyclables, non méthanisables*, à enfouir ou à incinérer | 1 246 |
| Autres déchets spécifiques | |
| Bois (traité ou non) pouvant éventuellement être valorisé en combustible (si traitement des fumées), ou en matière (panneaux...) | 232 |
| Déchets électroniques et dangereux (traitements spécifiques) | 113 |
| Autres (minéraux, textiles, cuirs....) | 68 |

Tableau 81 : Récapitulatif des Déchets (ménagers et entreprises confondus) produits en Pays de la Loire (données 2007/2008), par typologie

*sauf à envisager une extraction de la fraction fermentescible par "Tri Mécano Biologique". (nous ne préconisons pas cette technique du fait d'un bilan énergétique global mauvais et de l'absence d'assurance d'innocuité de la matière organique ainsi extraite, pouvant induire des problèmes pour la méthanisation ou la valorisation du digestat).

### 9.3.4. Impacts actuels sur l'énergie.

Selon l'évaluation environnementale du PDEDMA de Loire-atlantique[127], le bilan énergétique de la gestion des déchets est, hors effets indirects non quantifiables, quasiment neutre. En effet, en 2005 la consommation d'énergie est de 14 000 tep (dont 10 000 tep pour la seule collecte) et la production d'énergie par les incinérateurs en Loire-atlantique s'élève à un peu plus de 13 000 tep.

Cette neutralité ne signifie pas que la valorisation énergétique est inutile, puisque la production des déchets est inévitable (ou "fatale") : quoi qu'il arrive, les activités humaines génèrent des déchets, qui consommeront de l'énergie pour être collectés ou traités. Ainsi, d'un point de vue énergétique (et hors autres considérations, sanitaires notamment) il est préférable de les valoriser énergétiquement plutôt que les enfouir. Par ailleurs, une partie des déchets est considérée comme renouvelable. La fraction organique, bien que humide, est combustible et a un Pouvoir Calorifique positif. Ainsi, les conventions officielles considèrent que la moitié de l'énergie issue des incinérateurs est renouvelable. La convention peut être discutée, mais nous l'adopterons en première approche, et en l'absence de références plus précises.

#### *9.3.4.1. La production énergétique des incinérateurs en Pays de la Loire*

Le SOeS[128] nous renseigne sur l'énergie primaire produite par les déchets incinérés en Pays de la Loire. Elle est de 54 ktep en 2008, soit 627 500 MWh. Mais ceci ne nous renseigne pas sur la part de cette énergie qui est effectivement valorisée, c'est à dire qui n'est ni perdue, ni auto-consommée par les incinérateurs.
Une approche plus précise peut être réalisée par une synthèse des informations accessibles, via les rapports institutionnels sur les installations existantes sur la région. Ainsi, en pays de la Loire, 5 incinérateurs avec valorisation énergétique fonctionnaient en 2011, celui d'Angers ayant été fermé en 2010.
Les données trouvées sont rassemblées dans le tableau en annexe. A la lecture ce tableau, on peut constater, qu'en 2011 (sauf donnée 2010 pour Le Mans) :

- le tonnage de déchets incinérés s'élève à 534 t, ce qui représente une quantité d'énergie primaire (en prenant un Pouvoir Calorifique moyen des déchets à 2,6 MWh/t) d'environ 1 390 000 MWh, soit 119 ktep ;
- l'énergie effectivement valorisée est de 118 000 MWh en électricité et 320 000 MWh en chaleur, soit un total de 438 000 MWh, soit 38 ktep. Ainsi, seulement 32% de l'énergie primaire contenue dans les déchets (119 ktep, cf supra) est effectivement valorisée. Le reste est auto-consommé et surtout perdu, sous forme de chaleur non valorisée.

127 évaluation environnementale du PDEDMA de Loire-atlantique (juin 2010, page 84)
128 Service de l'Observation et des Statistiques du Ministère de l'Ecologie, du Dévt Durable et de l'Energie. http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/ Statistiques "toutes énergies"/résultats détaillés/données régionales sur l'énergie 2009.

#### *9.3.4.2. Production énergétique à partir de biogaz "de décharge" :*

Le site de Séché Eco-industries, situé à Changé en Mayenne, est un immense centre d'enfouissement qui récolte les déchets sur un périmètre de 300 km et pour une capacité annuelle de plus de 700 000 t. Depuis 2009, il est équipé d'une unité de cogénération qui fonctionne à partir du biogaz spontanément émis par les déchets enfouis et captés par un bâchage des massifs de déchets et par la mise en place d'un réseau de drains qui récupère le biogaz.
Cette unité a une puissance électrique de 8,4 MW et peut donc injecter sur le réseau environ 50 000 MWh par an (hypothèse d'un facteur de charge de 6 000 h). La chaleur est également valorisée en partie pour le séchage de fourrage agricole, mais les données concernant cet usage sont imprécises.

#### *9.3.4.3. Production énergétique via la méthanisation "contrôlée"*

Nb : ne pas confondre avec la méthanisation spontanée qui s'opère dans les centres d'enfouissement (cas traité au paragraphe précédent).

On peut méthaniser, spécifiquement ou en mélange, les boues de stations d'épuration. Cette technique est pertinente du fait de leur fort taux d'humidité. On peut citer l'exemple de la station de la "petite Californie" de Nantes Métropole, à Rezé, en service depuis 2011. La chaudière, alimentée par le biogaz issu de la méthanisation des boues, a une puissance électrique de 2,3 MW. Le site auto-consomme ou dissipe l'intégralité de la chaleur. Sur la base d'un facteur de charge de 6000h, la station pourrait produire environ 14 000 MWh d'électricité par an (sachant qu'elle en consomme plus du double....).

Hors boues de station d'épuration, la fraction organique des déchets (déchets verts, biodéchets collectés sélectivement) peut alimenter, (la plupart du temps en mélange avec d'autres substrats organiques) des méthaniseurs de moyenne capacité. A ce jour, il n'existe pas de méthaniseur en région Pays de la Loire intégrant des déchets autres que des résidus et effluents agricoles. La gestion de ces déchets est traitée dans le chapitre Agriculture du scénario.

**<u>Bilan production d'énergie</u>**

Au regard des éléments présentés, la production d'énergie (incinération, biogaz de décharge, méthanisation des boues de STEP) est d'environ 200 000 MWh (17 ktep) d'électricité et 350 000 MWh (30 ktep) de chaleur à l'échelle régionale, soit 47 ktep pour l'électricité et la chaleur confondues. Ces résultats sont hors auto-consommation et pertes.

**Bilan consommation d'énergie**

La gestion des déchets consomme de l'énergie, principalement pour la collecte. Cette consommation, difficile à établir, peut être quantifier par la méthode suivante :

- pour les déchets ménagers, nous proposons d'extrapoler les chiffres du département de la Loire Atlantique (730 kt en 2005, source PDEDMA 44 2009) au prorata du tonnage régional (2 104 kt), ce qui nous donne 40 ktep, dont 29ktep pour la seule collecte.
- pour les déchets des entreprises (hors BTP et hors effluents et résidus organiques), compte tenu de leur moindre dispersion, la collecte est vraisemblablement moins énergivore. Nous évaluerons, en première approche et de manière une peu arbitraire, les consommations d'énergie de leur gestion à 10 ktep.

**Ainsi, en bilan énergétique global, la production d'énergie est de 47 ktep contre une consommation de 50 ktep. La gestion actuelle des déchets régionaux est quasiment neutre.**

### 9.3.5. Impacts actuels sur le climat

Le tableau ci-dessous présente une comparaison des chiffres relatifs à l'impact sur le climat des déchets ménagers et assimilés en kteq CO2 selon deux sources (étude explicit et PDEDMA 44). Lorsque ce n'est pas précisé, il s'agit d'émissions directes.

| Source : | Étude régionale Explicit | | PDEDMA 44[129] |
|---|---|---|---|
| Année : | 2006 | | 2005 |
| | Région | Loire-atl. | Loire-atl. |
| CH4 fosses septiques | 98 | 32 | nc |
| N2O boues domestiques | 53 | 19 | 17 |
| Collecte | nc | nc | 37 |
| transport | nc | nc | 7,5 |
| Centres de tri (a) | nc | nc | 2,7 |
| Émissions évitées par recyclage (b) (indirect) | nc | nc | - 71 |
| Bilan tri (a +b) | nc | nc | -68 |
| compostage | nc | nc | 10 |
| Émissions directes incinération (c) | 423 | 155 | 79 |
| Émissions évitées incinération (d) | nc | nc | -37 |
| Bilan incinération (c+d) | nc | nc | 42 |
| CH4 décharges (en eq CO2, PRG à 100 ans) | 1 000 | 289 | 175 |
| Total | 1600<br>+ collecte<br>- recyclage | 457<br>+ collecte<br>- recyclage | 220<br>+ CH4 fosses |

Tableau 82: Émission de gaz à effet de serre issues de la gestion des déchets ménagers et assimilés en Pays de la Loire et en Loire-atlantique, selon Étude régionale Explicit et PDEDMA 44

129 Source: rapport d'évaluation environnementale du PDEDMA 44, juin 2009

Nous constatons une grande disparité selon les sources d'informations. liée en partie à des différences de méthode (types d'émissions considérées, émissions évitées quantifiées ou non). Par exemple, l'étude Explicit ne prend pas en compte :

- les émissions de GES évitées par le recyclage ;
- la collecte des déchets qui est, selon le PDEDMA44, la seconde source d'émission de GES des déchets après les émissions de méthane des centres d'enfouissement ("décharges").

Nous voyons également que, selon le PDEDMA44, le recyclage évite un peu plus d'émissions que la collecte n'en génère. Or, cet effet du recyclage n'est pas intégré dans l'étude Explicit.
**Au bilan, nous pouvons considérer que le chiffre avancé par l'étude Explicit (1 600 kteq CO2) est une estimation correcte pour les déchets ménagers et assimilés.**

A noter que cette évaluation est réalisée en prenant, par convention, le Pouvoir de Réchauffement Global (PRG) du méthane (CH4) à 100 ans, soit un facteur 25 (sur une durée de 100 ans, 1 kg de CH4 "réchauffe" autant que 25 kg de CO2). Or, la majeure partie des GES des déchets sont du méthane. Le PRG du méthane à 20 ans est égal à 72. En prenant cette autre convention (PRG à 20 ans), qui peut se justifier puisque l'emballement climatique pourrait advenir dans les 20 prochaines années, les émissions des déchets en équivalent CO2 font plus que doubler.

Pour les déchets des entreprises, nous ne disposons pas de données d'impact climatique. En considérant les tonnages respectifs des déchets des deux provenances (cf partie 3.3.), le fait que le ratio d'émissions à la tonne de déchets des entreprises est moindre du fait d'une moindre dispersion (moins d'émissions de collecte) et d'une fraction organique moindre (donc moins de CH4 dans les décharges), **nous évaluerons les émissions actuelles des déchets des entreprises en première approche à 500 kteq CO2.**

Au bilan, les déchets régionaux (ménages + entreprises, hors effluents et résidus agricoles) produisent donc environ 2 100 kteq CO2 par an (PRG à 100 ans), soit 6 % des émissions régionales totales de 2006 (34 Mteq CO2)[130].

### 9.3.6. Prospectives d'évolution de la production de déchets

L'existence de déchets en telle quantité est un constat d'échec sociétal. En effet, un déchet est un bien dont on ne veut plus, la plupart du temps parce qu'il est obsolète. Or, dans notre société, l'obsolescence est souvent programmée (techniquement) ou perçue/provoquée (effets de "modes"), pour inciter à la consommation de nouveaux biens.

Nos déchets sont ainsi les symboles de la société de consommation. Le gaspillage de biens et le gaspillage d'énergie relèvent d'une même logique. L'esprit même de la démarche VEC conduit donc nécessairement à la réduction à la source de la production de déchets.

130 Etude Explicit 2006

Les politiques pour y parvenir se nomment "prévention de la production de déchets", et sont devenues obligatoires et commencent à s'appliquer[131].

Au vu des objectifs de ces politiques (-7% entre 2008 et 2013) et des premières observations (-4% entre 2007 et 2009, et -1% en incluant les tonnages collectés en déchetteries) pour la réduction de la production de déchets ménagers et assimilés, nous faisons l'hypothèse d'une diminution de 20% de la production de déchets par habitant d'ici 2020, soit de 15% pour la production totale régionale, compte tenu de l'augmentation de la population.

Pour le long terme, les évolutions prennent en compte les 2 grandes familles de déchets :

**Pour les déchets de type solide** et/ou liés à des productions industrielles, nous prévoyons une baisse très forte, environ 80%, de la production globale de déchets par habitant d'ici 2050, soit de 70% pour la production totale régionale, compte tenu de l'augmentation de la population, à travers des actions comme :

- généralisation de l'éco-conception qui va intégrer les capacités de réparation, recyclage et diminution des emballages et généralisation du tri pour favoriser le ré-emploi,
- diminution du volume de la production industrielle, en relation avec une logique d'usage et non plus de production/consommation/élimination (voir aussi le chapitre industrie).

**Pour les déchets de type fermentescible**, ou bio-déchets (qui représentent environ 40 % du volume total des déchets) :

- diminution du gaspillage alimentaire,
- compostage au plus proche des utilisateurs (jardins, installations de quartier, centre de traitement des déchets verts, etc.). Le compost permet aussi un retour de la matière organique vers les sols, afin d'en limiter l'appauvrissement.
- intégration de la part restante non compostée dans des méthaniseurs alimentés par des matières d'origine agricole en vue d'une production d'énergie (voir les chapitres agriculture et ENR)

## 9.4. Synthèse des résultats

La baisse des déchets de type solide se traduira par une moindre consommation de l'énergie utilisée dans les phases de collecte et de traitement. Il y aura aussi la baisse correspondante de la production d'énergie produite par les traitements d'incinération de ces déchets. Mais ce bilan global restera équilibré, en forte diminution et avec de faibles valeurs.
Du point de vue des émissions de GES, elles seront proches de zéro et/ou remplacées par une production d'énergie par la production de méthane.

131 Fin 2011, plus de 61% de la population était couverte par un plan de prévention des déchets, source http://www2.ademe.fr/servlet/getBin?name=75F80B60C45D0198A4AA9F3D64FACEBB_tomcatlocal1355319367313.pdf

# 10. SYNTHESE DU SCENARIO VIRAGE ENERGIE-CLIMAT PAYS DE LA LOIRE

## 10.1. Résumé

Le scénario Virage Énergie-Climat a estimé les besoins en énergie pour le chauffage, les déplacements et l'électricité des Pays de la Loire en 2050, après application des mesures de descente énergétique qu'il préconise. Le potentiel régional de production d'énergie finale renouvelable a également été évalué dans le cadre du scénario, en prenant en compte l'intermittence de certaines énergies renouvelables et les pertes d'énergie.

La comparaison par usage des besoins régionaux avec le potentiel de production d'énergie finale renouvelable montre que tous les besoins énergétiques des Pays de la Loire pourraient être couverts par des énergies renouvelables (ENR), produites sur le territoire régional en 2046. La région deviendrait exportatrice nette d'électricité renouvelable, à partir de 2047, et pourrait notamment contribuer à alimenter d'autres régions fortement consommatrices, mais faiblement productrices d'ENR (par exemple l'Île-de-France).
Ce scénario de transition énergétique régionale n'est applicable qu'à la condition d'économiser en moyenne 56 % de l'énergie qui était consommée en 2010 dans tous les secteurs d'activités.
Le scénario Virage Énergie-Climat prévoit une diminution progressive de l'usage des énergies non renouvelables polluantes (fossiles et fissiles), qui seraient peu à peu remplacées par des énergies renouvelables produites dans la région. Les énergies non renouvelables disparaîtraient du bouquet énergétique régional en 2046, ainsi que toutes les émissions de gaz à effet de serre (GES) d'origine énergétique qu'elles engendraient.

Les émissions de GES non-énergétiques de l'agriculture et de la forêt diminuent parallèlement de 60 %, avec la mise en place de la transition alimentaire et agricole préconisée par Virage Énergie-Climat. Le système agricole et sylvicole durable qui se met en place, permet d'atteindre l'autosuffisance régionale pour l'alimentation humaine en 2050, et de fournir un tiers de l'énergie et des matériaux et molécules bio-sourcées aux autres secteurs d'activité régionaux.
Le scénario Virage Énergie-Climat aboutit à une réduction globale des émissions de GES des Pays de la Loire de 83 % en 2050. Ceci permet d'aller au-delà de l'obligation légale de diminution de 75 % des émissions de GES en 2050, inscrite dans la loi sur l'énergie de 2005, et de contribuer de façon exemplaire à limiter le dérèglement climatique.
Le nouveau système énergétique, agricole et sylvicole préconisé par le scénario Virage Énergie-Climat permet surtout d'assurer une sécurité d'approvisionnement en énergie, nourriture, matériaux et molécules aux Pays de la Loire, tout en relocalisant largement les activités. Le scénario Virage Énergie-Climat Pays de la Loire est donc un scénario de non-regret, dont les multiples dividendes prépareront les Pays de la Loire à traverser dans de bonnes conditions les chocs énergétiques, climatiques et alimentaires qui s'annoncent.

## 10.2. Introduction

Les besoins en énergie pour le chauffage, les déplacements et l'électricité des Pays de la Loire en 2050 ont été estimés dans les chapitres précédents, après application des mesures de descente énergétique préconisées par le scénario Virage Énergie-Climat. Les contributions en termes de production de nourriture, de matériaux, d'énergie et de GES de l'agriculture et de la forêt ont été évalués dans le chapitre 6. Le potentiel d'énergie renouvelable (ENR) disponible pour satisfaire ces mêmes usages a enfin été estimé par usage dans le chapitre 7.

Le présent chapitre vise en premier lieu à comparer, usage par usage, la production et les besoins en énergie renouvelable des Pays de La Loire, afin d'établir le bilan énergétique du scénario Virage Énergie-Climat de 2010 à 2050. Le bilan d'émissions de gaz à effet de serre (GES) des Pays de la Loire est ensuite calculé sur la base de la proportion d'énergie non-renouvelable émettrice de GES présente dans le bouquet énergétique régional de 2010 à 2050, ainsi que des émissions de GES non-énergétiques de l'agriculture et de la forêt.

## 10.3. Scénario d'adéquation entre besoins et production d'énergies renouvelables dans les Pays de la Loire de 2010 à 2050

### 10.3.1. Adéquation entre besoins et production d'énergies renouvelables dans les Pays de la Loire en 2050

Après avoir chiffré les sources primaires et les flux d'énergie renouvelables disponibles en 2050, il s'agit maintenant de les mettre en correspondance avec les besoins en énergie finale, qui ont été établis pour les cinq principaux secteurs (habitat, transport, industrie et tertiaire et agriculture/forêt), après des économies d'énergie importantes.
Les autres chapitres du scénario VEC-PdL ont permis d'estimer les besoins pour les décennies à venir. Le tableau ci-dessous résume ces estimations :

| Consommations d'énergie (TWh) | 1990 | 1999 | 2006 | 2010 | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 | Evolution ref. 2010 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Source* | *Explicit* | *Explicit* | *Explicit* | *VEC* | *VEC* | *VEC* | *VEC* | *VEC* | *VEC* |
| Habitat | 24 | 29 | 30 | 32 | 21 | 17 | 14 | 13 | -59% |
| Transport | 21 | 27 | 29 | 31 | 21 | 16 | 12 | 11 | -65% |
| Industrie | 12 | 13 | 16 | 16 | 12 | 10 | 9 | 9 | -45% |
| Tertiaire | 9 | 10 | 11 | 12 | 10 | 8 | 7 | 6 | -53% |
| Agriculture | 2 | 2 | 2 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | -38% |
| **Total (TWh)** | **68** | **81** | **89** | **100** | **73** | **58** | **49** | **44** | **-56%** |
| **Total (Mtep)** | **5.9** | **7.0** | **7.7** | **8.7** | **6.4** | **5.0** | **4.3** | **3.9** | **-56%** |

Tableau 83. Estimation des besoins en énergie dans les différents secteur entre 2010 et 2050 en Pays de la Loire. Les consommations d'énergie de l'agriculture d'Explicit sont sous-évaluées pour 1990, 1999 et 2006. Source : Explicit et Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.

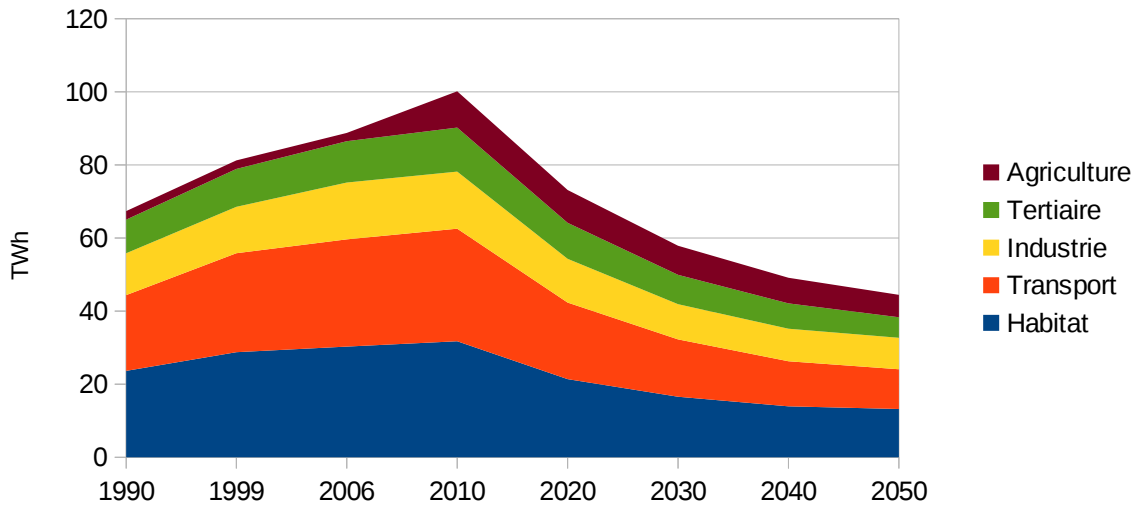



*Figure 63. Evolution des besoins en énergie dans les différents secteurs d'activités des Pays de la Loire entre 1990 et 2050. Les consommations d'énergie de l'agriculture d'Explicit sont sous-évaluées pour 1990, 1999 et 2006. Source : Scénario Virage Énergie Climat PdL*

Les économies d'énergie sont ainsi la première brique de notre scénario, qui prévoit des réductions des consommations énergétiques allant de 38 % (agriculture et forêt) à 65 % (transports). L'économie d'énergie globale prévue en 2050 pour l'ensemble des activités de la région est de 56 %.

Le rapprochement entre besoins et énergie disponible nécessite de préciser la nature de ces besoins énergétiques afin de déterminer par quelle sorte d'énergie ils peuvent être satisfaits.
Nous avons ainsi distingué trois grandes catégories d'usage : thermique, mobilité et électricité, et défini pour chacune les vecteurs énergétiques susceptibles de les alimenter.

Usage 'thermique' : La production de chaleur, issue de quatre vecteurs secondaires énergétiques, est estimée à 21 TWh. Les sources prépondérantes pour l'énergie thermique sont le bois-énergie et le solaire thermique.

Usage 'mobilité' :
La mobilité suppose une combinaison plus complexe de sources primaires d'énergie de base. Les composés organiques (biogaz et agrocarburant) permettent d'alimenter les véhicules entraînés par moteur à combustion interne. A l'avenir, nous estimons qu'une part croissante de véhicules sera motorisée électriquement, à partir de batteries électrochimiques ou de piles à hydrogène. Nous obtenons une production totale d'énergie renouvelable dédiée à la mobilité de 11,3 TWh.

Usage 'Electricité spécifique' :
Les sources de base pour la production d'électricité sont l'éolien, le solaire photovoltaïque et l'hydraulique. Ces trois sources d'énergie sont complétées par un recours au biogaz. La production totale d'électricité spécifique de 23,5 TWh.

L'adéquation par usage entre production et besoins en ENR dans les Pays de la Loire est présentée dans la Figure 64. Cette figure résume notre démarche, avec notamment la prise en compte des pertes, dues au stockage/déstockage des ENR intermittentes.

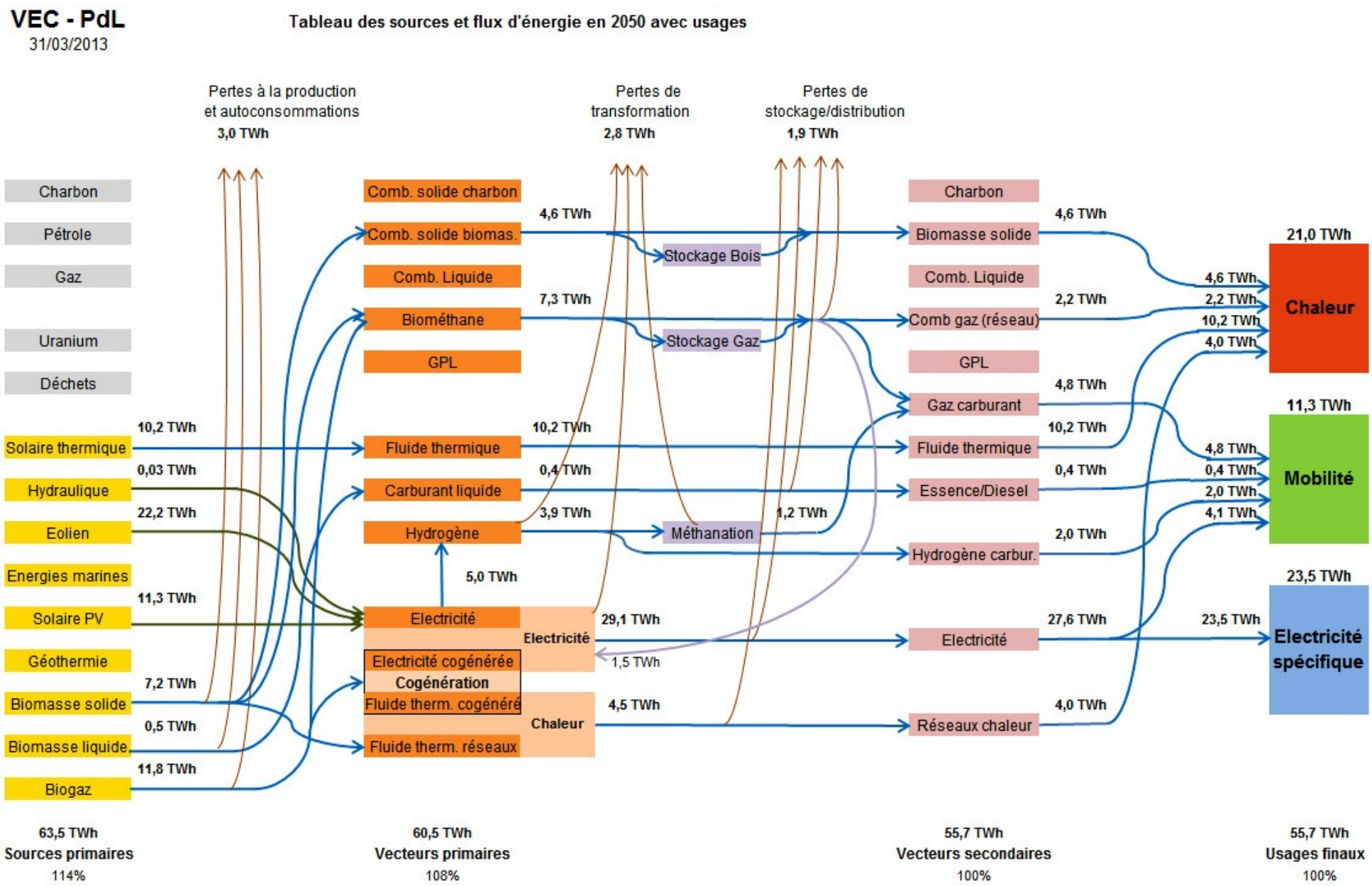



*Figure 64: Schéma des sources et flux d'énergie disponibles en Pays de la Loire en 2050 et mise en correspondance avec trois usages principaux : chaleur / mobilité / électricité spécifique - Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire*

### 10.3.2. Evolution des besoins et des production d'énergies renouvelables dans les Pays de la Loire de 2010 à 2050

Le Tableau 84 et la Figure 65 présentent l'évolution de la contribution des énergies renouvelables par usages au cours des prochaines décennies.

| Usages | 2010 | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 |
|---|---|---|---|---|---|
| Total Chaleur | 3,7 TWh | 6,2 TWh | 9,5 TWh | 15,0 TWh | 21,0 TWh |
| Total Mobilité | 0,0 TWh | 0,1 TWh | 0,9 TWh | 3,7 TWh | 11,3 TWh |
| Total Electricité | 0,6 TWh | 4,3 TWh | 8,6 TWh | 15,0 TWh | 23,5 TWh |
| **Total Energies** | **4,3 TWh** | **10,7 TWh** | **19,0 TWh** | **33,8 TWh** | **55,7 TWh** |

Tableau 84. Evolution de la répartition des énergies renouvelables selon les usages en Pays de la Loire entre 2010 et 2050 (TWh) - Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire

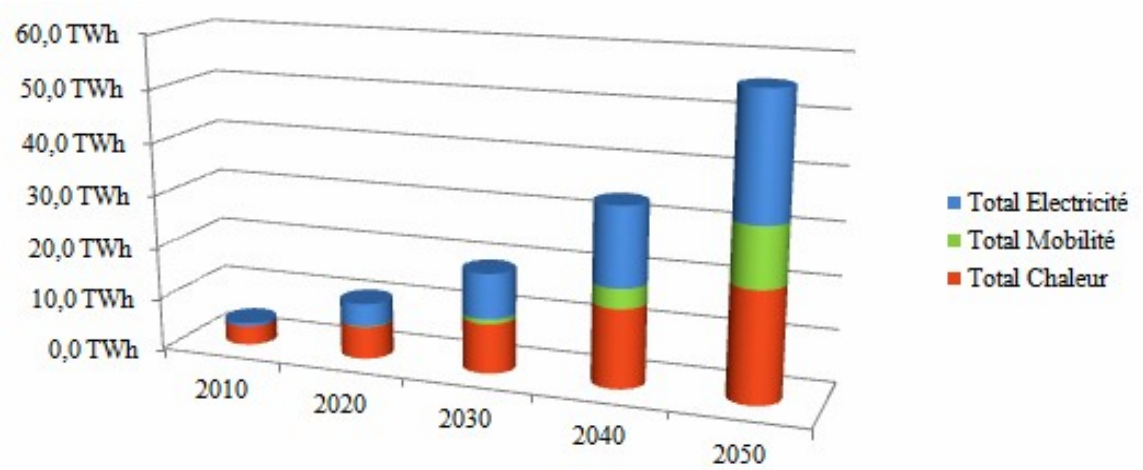



*Figure 65. Evolution de la répartition des énergies renouvelables selon les usages en Pays de la Loire entre 2010 et 2050 (TWh) - Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire*

Il apparaît naturellement que les sources permettant de satisfaire aux besoins de chaleur et d'électricité spécifique se révèlent abondantes ; les sources correspondant aux besoins de mobilité sont plus difficiles à mettre en œuvre.

L'étape suivante consiste à comparer le total des apports d'énergies finales provenant des énergies renouvelables et l'ensemble des besoins énergétiques des Pays de la Loire décade par décade (Tableau 85, Figure 66).

| | 2010 | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 |
|---|---|---|---|---|---|
| **Total Apports EnR** | 4.30 TWh | 10.69 TWh | 19.04 TWh | 33.76 TWh | 55.75 TWh |
| **Total Besoins** | 104.96 TWh | 84.38 TWh | 67.74 TWh | 54.13 TWh | 45.05 TWh |
| **Solde (énergies non-renouvelables)** | **-100.7 TWh** | **-73.7 TWh** | **-48.7 TWh** | **-20.4 TWh** | **10.7 TWh** |
| **% d'énergie non renouvelable** | **96%** | **87%** | **72%** | **38%** | **0%** |

Tableau 85. Comparaison entre les apports ENR et le total des besoins entre 2010 et 2050 en Pays de la Loire - Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire

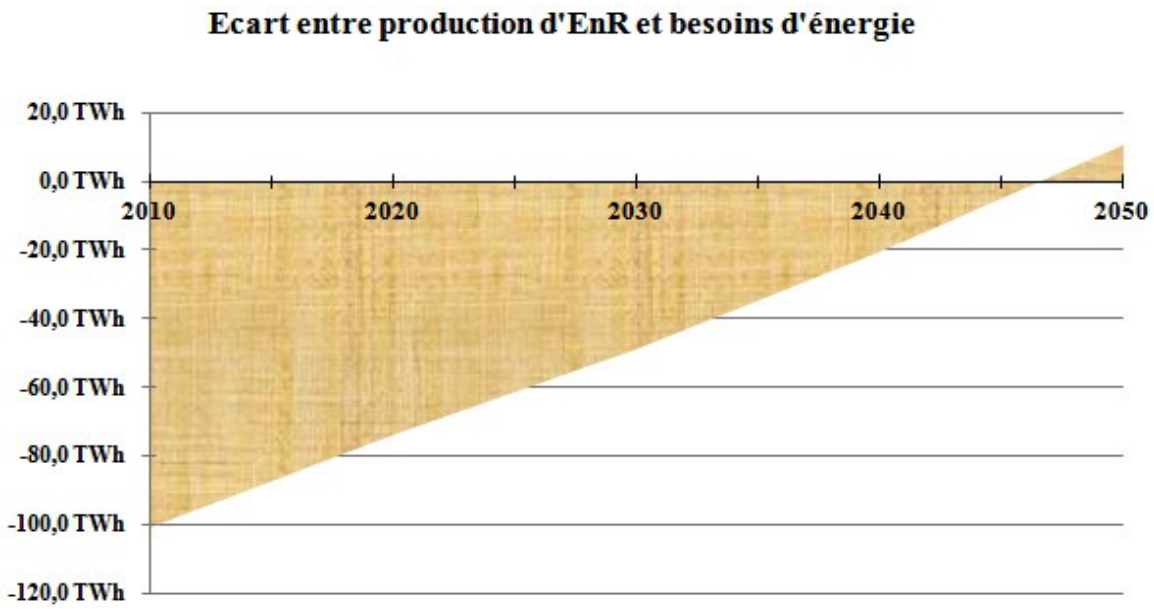



*Figure 66. Écart entre production d'ENR et besoins d'énergie entre 2010 et 2050 en Pays de la Loire - Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire.*

Ces résultats montrent qu'il est possible dans les Pays de la Loire de satisfaire des besoins énergétiques maîtrisés avec uniquement des d'énergies renouvelables, à condition de mettre en place une politique volontariste de transition énergétique.

La Figure 66 montre que, dans trente trois ans, la région Pays de la Loire pourrait produire toute l'énergie dont elle a besoin de façon renouvelable. Ce résultat devrait nous inciter à nous s'orienter sans tarder vers la transition énergétique, en soutenant le développement des différentes filières d'énergie renouvelables dans notre région.

Le graphique ci-dessous résume les aspects énergétiques du scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire pour les quatre décennies à venir.

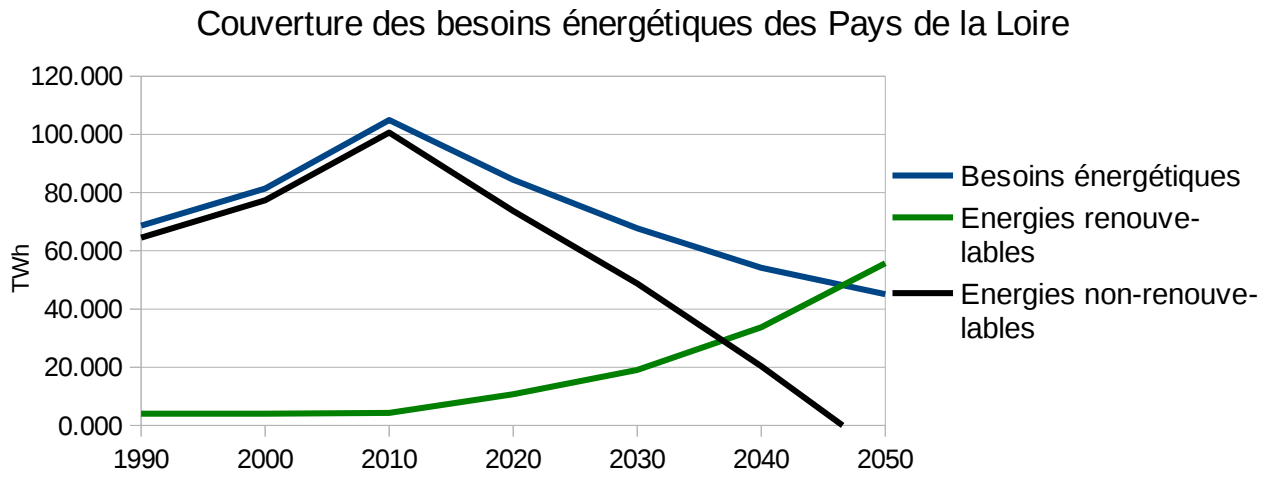



*Figure 67: Évolution du besoin en énergie et de l'apport des ENR entre 2010 et 2050 en Pays de la Loire - Source : Scénario Virage Énergie Climat Pays de la Loire*

Le besoin en énergie diminue à partir de 2010/2012, suite à la mise en œuvre des actions d'économie d'énergie. La production des ENR augmente rapidement, suite à l'application de mesures volontaristes de transition énergétique, ce qui permet de réduire progressivement l'utilisation des énergies non-renouvelables polluantes, qui disparaissent finalement du bouquet énergétique régional en 2046.

Ces résultats démontrent que les énergies renouvelables peuvent couvrir la totalité des besoins énergétiques des Pays de la Loire à partir de 2046. Dès lors, l'usage des énergies fossiles et donc les gaz à effet de serre, qui y sont liés, disparaîtront. Parallèlement, et conformément aux conclusions du scénario négaWatt2011, le recours à l'énergie électronucléaire s'avérera totalement inutile, car les Pays de la Loire produiront suffisamment pour subvenir à leurs besoins au plus tard en 2032.

En 2050, les énergies renouvelables permettront même de satisfaire entièrement les usages de mobilité. Les besoins en 'Chaleur' seront alors également largement couverts par les énergies renouvelables.

Bien qu'une part de l'électricité produite soit dédiée à la mobilité, un excédent de 10,7 TWh pouvant permettre de répondre à des usages d'électricité spécifique sera disponible. Cet excédent de production d'électricité pourra subvenir aux besoins de régions voisines déficitaires en énergie électrique (par exemple l'Île-de-France).

## 10.4. Scénario de réduction des émissions de gaz à effet de serre des Pays de la Loire de 2010 à 2050

### 10.4.1. Méthode employée pour l'estimation des émissions de GES

- **Etape 1.** Synthèse des émissions de GES historiques par secteur d'activité. Les émissions de GES énergétiques sont tirées de Explicit (2009). Les émissions de GES de l'agriculture et de la forêt ont été recalculées avec l'outil agRiGES élaboré par VEC, car les estimations d'Explicit n'étaient pas cohérentes pour ce secteur.
- **Etape 2.** Calcul des émissions de GES énergétiques de 2010 par secteur d'activité. Ces émissions ont été obtenues en multipliant les consommations énergétiques des différents secteurs estimés par VEC, par le pourcentage d'énergie non-renouvelable dans le bouquet régional et le contenu moyen en GES d'une unité d'énergie non renouvelable consommée par les différents secteurs d'activité des Pays de la Loire donnée par Explicit (2009) (Tableau 86).

| **Mt eq CO2/Mtep** | **1990** | **1999** | **2006** |
|---|---|---|---|
| *Source* | *Explicit* | *Explicit* | *Explicit* |
| Habitat | 1.9 | 1.8 | 1.7 |
| Transport | 3.1 | 3.1 | 3.1 |
| Industrie | 2.2 | 2.0 | 1.8 |
| Tertiaire | 2.1 | 2.1 | 2.1 |
| Agriculture | | | |
| **Total** | **4.2** | **3.9** | **3.5** |

Tableau 86. Contenu moyen en gaz à effet de serre d'une unité d'énergie non-renouvelable consommée par chaque secteur d'activités des Pays de la Loire (Mt eq.CO2/Mtep) . Source : Explicit (2009).

- **Etape 3.** Extrapolation des émissions de GES de 2010 à 2050. Les émissions de GES par secteur d'activité sont extrapolées linéairement entre les estimations de 2010 et les objectifs en 2050. L'évolution des émissions de GES par secteur est ensuite calculée par rapport aux émissions de 1990, année de référence pour les protocoles internationaux de réduction des émissions de GES (Kyoto) et de la loi sur l'énergie de 2005.

### 10.4.2. Résultats

Les résultats du scénario Virage Energie-Climat de réduction des émissions de gaz à effet de serre des Pays de la Loire de 2010 à 2050 est présenté ci-dessous (Tableau 87, Figure 68).

| Mt eq CO2 | 1990 | 1999 | 2006 | 2010 | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 | Evolution ref. 1990 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Source** | **Explicit/VEC** | **Explicit/VEC** | **Explicit/VEC** | **VEC** | **VEC** | **VEC** | **VEC** | **VEC** | **VEC** |
| Habitat | 3.9 | 4.5 | 4.5 | 4.8 | 2.8 | 1.8 | 0.8 | 0.0 | **-100%** |
| Transport | 5.7 | 7.4 | 8.0 | 8.4 | 5.0 | 3.1 | 1.3 | 0.0 | **-100%** |
| Industrie | 2.2 | 2.2 | 2.4 | 2.4 | 1.6 | 1.1 | 0.5 | 0.0 | **-100%** |
| Tertiaire | 1.7 | 1.9 | 2.1 | 2.2 | 1.6 | 1.1 | 0.5 | 0.0 | **-100%** |
| Agriculture | 11.1 | 11.2 | 10.4 | 10.4 | 8.9 | 7.3 | 5.8 | 4.3 | **-62%** |
| **Total GES** | **24.5** | **27.1** | **27.4** | **28.1** | **19.8** | **14.3** | **8.8** | **4.3** | **-83%** |
| ***dont GES énergétiques*** | ***13.4*** | ***15.9*** | ***17.0*** | ***17.7*** | ***11.0*** | ***7.0*** | ***3.0*** | ***0.0*** | ***-100%*** |
| ***dont GES non énergétiques*** | ***11.1*** | ***11.2*** | ***10.4*** | ***10.4*** | ***8.9*** | ***7.3*** | ***5.8*** | ***4.3*** | ***-62%*** |

Tableau 87. Scénario d'évolution des émissions de gaz à effet de serre (GES) des Pays de la Loire. Source : Explicit/Virage Energie-Climat Pays de la Loire.

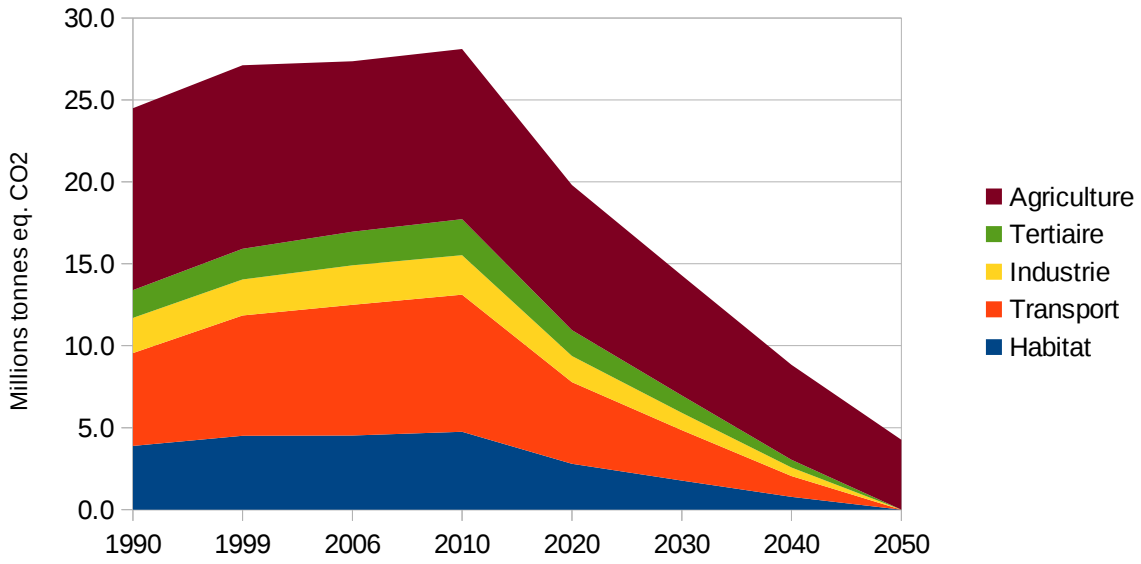



*Figure 68. Scénario d'évolution des émissions de gaz à effet de serre (GES) des Pays de la Loire. Source : Explicit/Virage Energie-Climat Pays de la Loire.*

Les énergies non renouvelables disparaîtraient du bouquet énergétique régional en 2046, ainsi que toutes les émissions de gaz à effet de serre (GES) d'origine énergétique qu'elles engendraient.

Les émissions de GES non-énergétiques de l'agriculture et de la forêt diminuent parallèlement de 62 %, avec la mise en place de la transition alimentaire et agricole décrite dans le chapitre 6.

Le scénario Virage Énergie-Climat aboutit à une réduction globale des émissions de GES des Pays de la Loire de 20 % en 2020 et 83 % en 2050 (soit 0.9 tonnes d'équivalent CO2 par habitant en 2050). Ceci permet d'aller au-delà de l'obligation légale de diminution de 75 % des émissions de GES en 2050, inscrite dans la loi sur l'énergie de 2005 et dans la loi Grenelle 2, et de contribuer régionalement de façon exemplaire à limiter le dérèglement climatique global.

## 10.5. Discussion et conclusions

En avril 2013, le scénario Virage Energie-Climat est le seul scénario officiellement publié offrant une vision prospective de l'avenir énergétique et climatique des Pays de la Loire. Il indique une direction claire permettant de se conformer à l'obligation réglementaire d'une réduction des émissions de GES régionales de 75 % en 2050 (« facteur 4 »). Il n'est donc pas un scénario de rupture utopiste, mais une vision du futur crédible et désirable.

L'impact social et économique du scénario Virage Energie-Climat n'est pas (encore) précisément chiffré. Les prévisions de l'effet net sur l'emploi du scénario négaWatt national (Quirion, 2013)[132], dont notre scénario est inspiré, laissent cependant penser que le scénario VEC pourrait contribuer à créer un nombre très significatif d'emplois dans la région dès 2020-2030. Si les Pays de la Loire lançaient une politique volontariste de transition énergétique, des emplois seraient en effet directement créés dans les secteurs du bâtiment (rénovation énergétique), des transports en commun et du fret, et des énergies renouvelables. Mais des emplois seraient également indirectement créés du fait de la réduction progressive des achats d'hydrocarbures, qui dégagerait des ressources financières nouvelles pour relancer d'autres secteurs d'activité.

Le nouveau système énergétique, agricole et sylvicole préconisé par le scénario Virage Énergie-Climat permettrait surtout d'assurer une sécurité d'approvisionnement en énergie, nourriture, matériaux et molécules aux Pays de la Loire, tout en relocalisant largement les activités. Le scénario Virage Énergie-Climat Pays de la Loire est donc un scénario de non-regret, dont les multiples dividendes prépareront les Pays de la Loire à traverser dans de bonnes conditions les chocs énergétiques, climatiques et alimentaires qui s'annoncent.

## 10.6. Références

EXPLICIT (2009) – Etude régionale sur l'énergie et l'effet de serre - Pays de la Loire, Consultable à http://paysdelaloire.ademe.fr/sites/default/files/files/ADEME%20en%20Pays%20de%20la%20Loire/Domaines%20d%27intervention/Changement%20climatique/T%C3%A9l%C3%A9chargements/Rapport_Bilan_PDL.pdf.

QUIRION P. (2013) –*L'effet net sur l'emploi de la transition énergétique en France : Une analyse input-output du scénario négaWatt*, 2013 Consultable à http://www.negawatt.org/etude-emplois-economie-p120.html.

132 http://www.negawatt.org/etude-emplois-economie-p120.html

# 11. NOTRE VIE QUOTIDIENNE EN 2050

## 11.1. Introduction

En guise de conclusion du scénario Virage Énergie-Climat Pays de la Loire, et d'introduction à la transition énergétique et climatique, nous avons tenté de répondre à une question essentielle :

**Quelle sera notre vie quotidienne en 2050 ?**

Exercice difficile, lorsque l'on connaît les changements qui sont survenus durant les trente dernières années... et que nous ne savons pas quels seront les impacts du dérèglement climatique. Pourtant, cet exercice est incontournable pour illustrer un avenir meilleur et moins vulnérable devant les crises écologiques, énergétiques et économiques qui s'annoncent.

Chaque territoire, avec ses atouts et ses ressources, doit être en capacité de trouver des solutions qui permettront à ses habitants de subvenir à leurs besoins vitaux. Ainsi, la transition reposera incontestablement sur le retour à l'humain, au lien social et au local. Le changement sera collectif et surtout, il ne réussira que si tous les acteurs de la société se rassemblent (politiques, entreprises, collectivités, associations, citoyens) pour atteindre un but commun de stabilité et de respect des équilibres écologiques et environnementaux. Il suppose également un partage équitable des richesses et du travail.

Le scénario VEC présente un certain nombre de leviers d'actions permettant d'atteindre des objectifs ambitieux en matière d'économies d'énergie et de réduction de gaz à effet de serre. Il préfigure les évolutions des modes de vie d'ici à 2050, permettant une réelle qualité de vie pour tous en Pays de la Loire.

## 11.2. Habiter autrement

En 2050, tous les logements sont très économes en énergie. Les besoins de chauffage sont réduits à leur strict minimum, car tout le parc ancien (d'avant 2010) a été rénové.

L'usage de matériaux d'origine locale (bois pour les charpentes et structures, terre pour l'inertie, paille, chanvre en isolation) s'accompagne d'une faible énergie grise et favorise des emplois dans les territoires au plus proche des habitations.
Les métiers du bâtiment (neufs et rénovation) ont été largement redynamisés, en relation avec les coopératives qui regroupent les auto-constructeurs. Les matériaux utilisés sont majoritairement des matériaux locaux et sains. Les filières de production de matériaux (bois, paille, chanvre) et les savoir faire ont été localement développés, afin de répondre à la forte demande de matériaux et de qualifications liés à la rénovation de l'habitat.
L'emploi dans le secteur de la construction est valorisé et source de revenus.

L'habitat est plus dense et les programmes immobiliers prévoient une large part d'habitat groupé. Les équipements électroménagers sont très performants et certains sont mis en commun entre plusieurs familles. Des espaces de vie communs sont prévus, dans un souci d'économie d'espace et renforcent le lien social et intergénérationnel.
La mixité des fonctions (résidentiel, activités professionnelles et commerciales) est désormais un critère dans tout programme immobilier, pour permettre aux habitants de réduire leurs déplacements, dans le cadre des « villes des courtes distances »
Les « forums de la transition » qui regroupent des habitants, des associations, des organismes font des propositions précises sur les thèmes de la transition énergétique et en deviennent des acteurs. Par exemple, les copropriétaires d'un ancien lotissement viennent de réinvestir les bénéfices de la production de l'électricité produite par leurs éoliennes dans la remise en état d'un minibus hybride. Ce véhicule sera disponible pour les activités de groupes, le week-end.

Pour les habitants éloignés et dispersés, des plateformes de travail partagées par plusieurs acteurs économiques locaux, sont implantées sur tout le territoire. Les nouvelles technologies de l'information, qui n'ont cessé de s'améliorer, permettent de travailler à distance, à son domicile ou sur l'une de ces plateformes de proximité, au minimum un jour par semaine.
Les réunions professionnelles se font quasi-exclusivement par visioconférences. Les déplacements, liés à l'activité professionnelle sont réduits, grâce à une réflexion active sur l'organisation du travail par les entreprises.

L'agriculture urbaine et péri-urbaine a retrouvé ses droits et permet une sécurité alimentaire accrue des territoires. Le sol et les toits sont aussi utilisés à des fins alimentaires. Cette végétalisation, associée aux parcelles boisées constitutives des forêts urbaines, permet également de rafraîchir les villes. Le compostage de jardin ou la mise en place de compost collectifs sont essentiels pour contrebalancer la moindre disponibilité des engrais chimiques.

## 11.3. Consommer et produire autrement

La recherche des circuits courts est devenue systématique, tant pour les citoyens que pour les entreprises. Ainsi, dans l'assiette, les produits et aliments de types surgelés et très transformés, nécessitant beaucoup d'énergie pour leur fabrication et leur transport, est réduite au profit de produits peu transformés, locaux et issus d'une agriculture biologique. Les légumes et les légumineuses, riches en protéines, y sont plus présents. L'agriculture, qui n'utilise plus d'engrais de synthèse et de pesticides, est à nouveau créatrice d'emplois.

Depuis longtemps, la généralisation des outils de type « bilans carbone familiaux » a favorisé la connaissance des ordres de grandeur des impacts des produits et achats. Les promotions commerciales respectent les obligations d'affichage de ces quantités.

## 11.4. Recycler, échanger

Le recyclage de matériaux et le réemploi sont systématiquement recherchés. Les métiers de récupérateurs, réparateurs, les centrales d'échanges, où les particuliers déposent leurs objets et que d'autres peuvent récupérer, se sont multipliés. L'obsolescence programmée est aujourd'hui derrière nous. Les coopératives de quartiers ont vu le jour et permettent de trier, recycler et réparer avec différents réseaux sociaux et professionnels.

## 11.5. Se déplacer autrement

Notre rapport au temps a évolué vers des proportions plus raisonnables ! Nous nous déplaçons moins, mieux, à plusieurs et parfois moins rapidement. En effet, le transport aérien est réservé aux déplacements de très longue distance, et surtout, il concerne des usages très spécifiques, au regard des coûts de l'énergie et des émissions de GES. Le maillage ferroviaire local a été restructuré, afin de palier à la disparition des lignes aériennes locales.

Les voitures à moteur thermique sont utilisées sur routes pour les longues et moyennes distances. L'évolution de la motorisation, par le passage au Gaz Naturel Renouvelable issu de la biomasse, a permis aux constructeurs nationaux de relancer la R&D et de fabriquer des véhicules plus légers et moins puissants laissant une grande place aux voitures électriques pour les déplacements en ville. Partager une voiture à plusieurs familles ou en association est monnaie courante. Le covoiturage est aussi une solution devenue réflexe pour les déplacements de moyennes et longues distances. Des services en ligne permettent de mettre en relation facilement les passagers et les conducteurs.

La souplesse permise par la diminution du temps de travail permet de mieux ajuster ces covoiturages et les « taxis à la demande » pour les personnes qui habitent en couronne péri-urbaine.

En centre-ville, les réseaux de transport en commun sont amplifiés et corrélés à un aménagement de l'espace public équilibré, laissant une large place aux déplacements à vélo et à pied. Le prêt de différents moyens de transports (vélos, voitures électriques, par exemple) est généralisé dans les centres-villes et facilite les déplacements. Les parkings à vélos sécurisés, proposant des services de qualité et les parkings relais sont implantés à proximité des pôles de déplacements.
On voit beaucoup de vélos « porteurs » électriques pour les personnes qui ont besoin de transporter par exemple des documents, des outils, des petits colis...

Les médecins confirment la baisse des maladies respiratoires dans les grandes villes. La santé des personnes âgées s'améliore, car les programmes de gymnastique sont couplés avec des séances de déplacements doux (marche à pied, vélo, trottinette…) dans des villes respectueuses des piétons.

## 11.6. Produire l'énergie

Nous dépendons moins des énergies fossiles et les dernières centrales nucléaires ont arrêté d'injecter leur électricité sur le réseau public vers 2030. Selon les possibilités et grâce à une politique volontariste, le développement des énergies renouvelables est aujourd'hui comparable à celui qu'à connu le nucléaire dans les années 1970.
Les énergies de flux renouvelables (solaire thermique et photovoltaïque et éolien) se sont fortement développées sur la région et les énergies de stock (bois de chauffage, énergie issue de la biomasse, méthanisation et méthanation) pallient à leur intermittence.
Les paysages des campagnes ligériennes gardent leur spécificité locale, mais chaque territoire a défini sa stratégie d'autonomie énergétique. Aussi, si l'adage « *un village : son église, son château d'eau et son éolienne* » est devenu une réalité, il n'est quasiment plus possible de voir des fermes agricoles dépourvues de panneaux solaires ou d'un méthaniseur individuel et /ou collectif.

Pays d'élevage traditionnellement, les Pays de la Loire conservent, de par la qualité agronomique des terres, cette spécificité, en diminuant toutefois le nombre de têtes de bétail par ferme, dans le cadre d'une politique agricole nationale, voire européenne. L'agriculture française n'est plus une agriculture d'export international, mais produit des biens alimentaires nécessaires à la population française et européenne, tout en assurant son complément de revenu par la production d'énergie.

Plus localement, le maintien de la qualité de nos zones humides et de nos prairies permanentes, stocks de carbone utiles, est encore assuré par le pâturage extensif. La haie conserve ainsi sa place à côté de l'élevage et est même renforcée par la vocation énergétique de ces coupes.

Le paysage énergétique s'est profondément modifié au cours des 40 dernières années, au profit d'un réseau électrique plus décentralisé et respectueux de l'environnement. En effet, les unités de production sont beaucoup plus nombreuses, beaucoup moins puissantes et directement présentes au sein des pôles de consommation, que sont les villes et hameaux. L'efficacité du réseau électrique est de fait renforcée, car l'auto-consommation est privilégiée.

Inversement, chaque consommateur devient son propre auto-producteur et réinjecte son surplus sur le réseau collectif. Les gestionnaires du réseau de distribution et de transport d'électricité ou de gaz, grâce au réseau intelligent, ont intégré cette part d'énergie « permanentes et aléatoires » dans leur métier.

Les groupements de quartiers et de zones industrielles sont en relation étroite avec ces gestionnaires d'énergie du territoire, pour ajuster les usages selon la météo, entre les énergies de flux (chaleur solaire, électricité éolienne) et les énergies de stocks disponibles (biomasse, combustible liquide gazeux). L'efficacité globale des réseaux, associée à une gestion intelligente des flux qui les irriguent, permettent de fait d'avoir une énergie bon marché sans aucune forme d'externalité négative. Ces changements ont été un moyen de valoriser les ressources locales et de créer des emplois non délocalisables et permanents.

# 12. L'ÉQUIPE VIRAGE ÉNERGIE-CLIMAT PAYS DE LA LOIRE

| | Contributeur(trice) | Compétences |
|---|---|---|
| **Coordination** | Stéphanie Le Dantec | Chargée de mission Ecologie Urbaine & Communication |
| | Denis Blanchard | Artisan, comptabilité |
| | Bernard Cottier | Enseignant, énergie |
| | Francis Delage | Conseiller Info-Energie |
| | Mathieu Doray | Chercheur, ingénieur agronome |
| | Charles Esmenjeaud | Conseiller Info-Energie |
| | François Orhan | Développeur éolien, ingénieur agronome |
| | Jérôme Solard | Bureau d'étude énergie, ingénieur agronome |
| **Rédaction des chapitres** | | |
| **Introduction** | Stéphanie Le Dantec | |
| | Mathieu Doray | |
| | Charles Esmenjeaud | |
| **Habitat** | Charles Esmenjeaud | |
| | Bureau d'étude INDDIGO | |
| **Tertiaire** | Charles Esmenjeaud | |
| | Bureau d'étude INDDIGO | |
| **Transports** | Charles Esmenjeaud | |
| | Bureau d'étude INDDIGO | |
| | Mathieu Doray | |
| | Damien Renault | Comptable |
| **Agriculture / forêt** | Mathieu Doray | |
| | Damien Renault | |
| | Association SOLAGRO | |
| **Energies renouvelables** | Bernard Cottier | |
| | Edouard Chesnel | Ingénieur énergie |
| | Charles Esmenjeaud | |
| | François Orhan | |
| | Nicolas Delallande | Ingénieur méthanisation |
| **Industrie** | Charles Esmenjeaud | |
| | Yves Royer | Bureau d'étude énergie |
| **Déchets** | Charles Esmenjeaud | |
| | Blaise Clément | Chargé de mission énergie-climat |
| | Bernard Allagnat | Chargé de mission, bureau d'étude INDDIGO |
| **Synthèse** | Mathieu Doray | |
| | Bernard Cottier | |
| | Charles Esmenjeaud | |
| **Vie quotidienne** | Stéphanie Le Dantec | |
| | Jean-Yves Le Thérizien | Ingénieur forestier |
| **Relecture du scénario** | | |
| **Coordination** | Stéphanie Le Dantec | |
| | Mathieu Doray | |
| **Relecteurs** | Damien Renault, Denis Larrazet, Marie-Laure Nauleau, Sylvain Houpert, Patrice Blin, Jean-Yves Le Thérizien, Thomas Painchaud, Martin Fonteneau | |
| **Communication** | Stéphanie Le Dantec | |
| **Site internet** | Maël Theulière | |