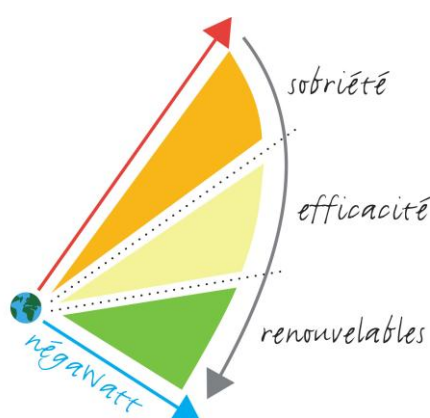




VERS UN SYSTEME ENERGETIQUE « 100% RENOUVELABLE »

Scénario et plans d'actions pour réussir la transition énergétique
en région Provence-Alpes-Côte d'Azur

Rapport méthodologique du scénario négaWatt régionalisé



Partie 3 – Résultats du scénario négaWatt pour Provence-Alpes-
Côte d'Azur - version finale

Principaux membres de l'équipe :

Vincent LEGRAND, Institut négaWatt (mandataire)

Olivier SIDLER, Enertech

Thomas LETZ, Enertech

Christian COUTURIER, Solagro

Anne RIALHE, AERE

Pascal STEPHANO, AERE

Antoine BONDUELLE, E&E

Simon METIVIER, E&E

Yves MARIGNAC, WISE-Paris

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION	8
I- LES SECTEURS DE CONSOMMATION	9
1- Bâtiments résidentiels et tertiaires	9
1-1 Rénovation thermique du parc de logements existants.....	9
1-2 Construction de bâtiments neufs	10
1-3 Maîtrise des consommations d'électricité spécifique	10
1-4 Maîtrise des consommations de climatisation	11
1-5 Maîtrise des consommations de cuisson	11
1-6 Maîtrise des consommations d'Eau Chaude Sanitaire (ECS)	11
1-7 Evolution des sources de chauffage et d'ECS	12
1-8 Synthèse des consommations du bâtiment	12
2- « Transports » : mobilité des personnes et déplacement de marchandises.....	15
2-1 Mobilité des personnes	15
2-2 Transport de marchandises	18
2-3 Test de sensibilité démographique	20
2-4 Synthèse des consommations des transports.....	22
3- Production industrielle	23
4- Synthèse des consommations d'énergie	27
II- LA PRODUCTION D'ENERGIES RENOUVELABLES	28
1- Energies renouvelables hors biomasse.....	28
1-1 Hydroélectricité.....	28
1-2 Eolien	29
1-3 Solaire photovoltaïque	29
1-4 Solaire thermique	31
1-5 Récupération de chaleur en géothermie de surface ou sur eaux usées	33
1-6 Synthèse des scénarios pour la production d'énergies renouvelables hors biomasse.....	35
2- Production issue de la biomasse-énergie	36
2-1 La biomasse solide	36
2-2 Le biogaz.....	39
2-3 Autres ressources biomasse	41
2-4 Synthèse de la production de biomasse-énergie.....	41
III- SYNTHESE DES RESULTATS.....	42
1- Synthèse en énergie finale	42
2- Synthèse par secteur.....	42
3- Synthèse par usage énergétique	43
4- Synthèse en énergie primaire	44
5- Synthèse de la production d'énergie.....	45
6- Couverture des besoins par les énergies renouvelables	48
7- Synthèse des émissions de CO ₂	48
CONCLUSION	50

TABLE DES TABLEAUX

Tableau I-1: Nombre de rénovations thermiques dans le scénario négaWatt régionalisé (cumul)	10
Tableau I-2: Evolution des surfaces habitables par personne dans les scénarios tendanciel et négaWatt	10
Tableau I-3: Consommations d'électricité spécifique domestique par ménage	10
Tableau I-4: Consommations d'eau chaude sanitaire domestique par ménage	12
Tableau I-5: Synthèse des consommations d'énergie dans les secteurs résidentiel et tertiaire	14
Tableau I-6: Sensibilité des besoins de mobilité à la variable démographique	21
Tableau I-7: Sensibilité des consommations d'énergie à la variable démographique.....	21
Tableau I-8: Synthèse des consommations d'énergie du secteur des transports, en fonction des scénarios et des hypothèses démographiques	22
Tableau I-9: Evolution des consommations d'énergie de l'industrie en Provence-Alpes-Côte d'Azur.....	24
Tableau I-10: Cogénération industrielle	25
Tableau I-11: Synthèse des consommations d'énergie finale dans l'industrie, suivant les différents scénarios	26
Tableau I-12: Synthèse des consommations d'énergie finale par secteur selon les différents scénarios (hypothèse démographique haute)	27
Tableau I-13: Synthèse des consommations totales d'énergie finale selon les différents scénarios	27
Tableau II-1: Evolution de la puissance installée et de la production hydraulique en Région Provence-Alpes-Côte d'Azur, ainsi que du nombre d'installations correspondant.....	28
Tableau II-2: Evolution de la puissance installée, de la production annuelle de l'éolien et du nombre d'éoliennes en Région Provence-Alpes-Côte d'Azur	29
Tableau II-3: Evolution de la puissance installée et de la production annuelle du photovoltaïque en Région Provence-Alpes-Côte d'Azur	30
Tableau II-4: Evolution de la surface photovoltaïque par habitant en région Provence-Alpes-Côte d'Azur	30
Tableau II-5: Evolution des surfaces en photovoltaïque sur toiture et au sol en région Provence-Alpes-Côte d'Azur....	30
Tableau II-6: Evolution des surfaces en photovoltaïque au sol en région Provence-Alpes-Côte d'Azur	31
Tableau II-7: Evolution du nombre de logements équipés en photovoltaïque en région Provence-Alpes-Côte d'Azur ..	31
Tableau II-8: Evolution des surfaces en solaire thermique et des ratios d'équipement en Région Provence-Alpes-Côte d'Azur.....	33
Tableau II-9: Evolution de la puissance installée et de la production annuelle des pompes à chaleur en région Provence-Alpes-Côte d'Azur	34
Tableau II-10: Autres indicateurs de résultats pour la thalassothermie.....	35
Tableau II-11: Synthèse des productions d'énergie renouvelable hors biomasse	35
Tableau II-12: Potentiel de bois-énergie en région Provence-Alpes-Côte d'Azur	36
Tableau II-13: Evolutions des usages de la biomasse solide en région Provence-Alpes-Côte d'Azur.....	37
Tableau II-14: Evolutions des durées de fonctionnement par usage	37
Tableau II-15: Nombre d'installations de production d'énergie à partir de biomasse solide en région Provence-Alpes-Côte d'Azur suivant différents scénarios de puissance	38
Tableau II-16: Potentiel de biogaz en région Provence-Alpes-Côte d'Azur	40
Tableau II-17: Nombre d'installations de production d'énergie à partir de biogaz en région Provence-Alpes-Côte d'Azur suivant différents scénarios de puissance	40
Tableau III-1: Synthèse des consommations d'énergie finale en région Provence-Alpes-Côte d'Azur	42

Tableau III-2: Taux de couverture des consommations régionales par les énergies renouvelables 48

TABLE DES FIGURES

Figure I-1: Etat initial (2007) des consommations d'énergie en résidentiel et tertiaire en région Provence-Alpes-Côte d'Azur - Source : Energ'Air	9
Figure I-2: répartition des consommations d'électricité spécifique en résidentiel et tertiaire (2010 et 2050, en hypothèse haute de population)	11
Figure I-3: Répartition des consommations d'énergie finale en chauffage et ECS en résidentiel et tertiaire, par énergie (hypothèse haute)	12
Figure I-4 : Répartition actuelle des modes de transports pour la mobilité de personnes	15
Figure I-5 : Répartition des sources d'énergies utilisées pour la mobilité de personnes	15
Figure I-6 : Répartition des consommations énergétiques par mode de transport	15
Figure I-7: Evolution des kilomètres parcourus par mode de transport.....	17
Figure I-8: Evolution des parts modales indépendamment du besoin total de mobilité	17
Figure I-9: Détails de l'évolution des besoins de mobilité par type de commune.....	17
Figure I-10: Evolution des consommations annuelles d'énergie	18
Figure I-11 : Evolution des consommations par sources d'énergie	18
Figure I-12: Etat initial des consommations par source d'énergie	18
Figure I-13: Etat initial des consommations par mode de transport	18
Figure I-14: Evolution absolue de chaque mode de transport	19
Figure I-15: Evolution des tonnages transports en région Provence-Alpes-Côte d'Azur.....	19
Figure I-16 : Evolution des parts modales du transport de marchandises	19
Figure I-17: Evolution des consommations des différentes sources d'énergie par le transport de marchandises	20
Figure I-18 : Evolution des consommations énergétiques des différents modes de transport.....	20
Figure I-19: Evolution des besoins de mobilités selon les hypothèses démographiques.....	21
Figure I-20: Evolution des besoins de mobilités selon les hypothèses démographiques.....	22
Figure I-21: Evolution de la consommation d'énergie finale de l'industrie en Provence-Alpes-Côte d'Azur, par secteur, dans le scénario négaWatt (graphe du haut) et dans le scénario tendanciel (graphe du bas) - Source : E&E	23
Figure I-22: Mise en œuvre de la démarche négaWatt dans l'industrie en Provence-Alpes-Côte d'Azur - Source : E&E, négaWatt.....	26
Figure II-1: Evolution de la puissance installée et de la production annuelle pour l'hydraulique en Région Provence-Alpes-Côte d'Azur	28
Figure II-2: Evolution de la puissance installée et de la production annuel de l'éolien en Région Provence-Alpes-Côte d'Azur.....	29
Figure II-3: Evolution de la puissance installée et de la production annuel du photovoltaïque en Région Provence-Alpes-Côte d'Azur	30
Figure II-4: Evolution des surfaces de capteurs solaires thermiques installés pour les différents usages envisagés en Provence-Alpes Côte d'Azur	32
Figure II-5: Evolution des surfaces de capteurs solaires thermiques installés et de l'énergie produite en Provence-Alpes Côte d'Azur	33
Figure II-6: Evolution de la puissance installée et de la production annuelle des pompes à chaleur en région Provence-Alpes-Côte d'Azur	34
Figure II-7: Evolution de la consommation annuelle d'électricité imputable aux pompes à chaleur en Région Provence-Alpes-Côte d'Azur	35

Figure II-8: Bilan de l'évolution de la production annuelle régionale des énergies renouvelables hors biomasse	36
Figure II-9: Bilan de la production de biomasse-énergie régionale (TWh PCI, énergie primaire)	41
Figure II-10: Bilan de la consommation primaire de biomasse-énergie en Provence-Alpes-Côte d'Azur (TWh PCS)	41
Figure III-1: Synthèse des consommations d'énergie finale en région Provence-Alpes-Côte d'Azur, en hypothèse démographique basse (à droite) et haute (à gauche), en fonction des scénarios	42
Figure III-2: Synthèse des consommations d'énergie par secteur en région Provence-Alpes-Côte d'Azur, en hypothèse démographique haute	43
Figure III-3: Synthèse des consommations d'énergie finale par usage en région Provence-Alpes-Côte d'Azur (hypothèse démographique haute)	44
Figure III-4: Synthèse des consommations d'énergie primaire dans les scénarios tendanciel (à gauche) et négaWatt (à droite) en région Provence-Alpes-Côte d'Azur (hypothèse démographique haute).....	45
Figure III-5: Evolution des consommations d'énergie primaire en région Provence-Alpes-Côte d'Azur, par source d'énergie, dans le scénario négaWatt (hypothèse démographique haute)	45
Figure III-6: Synthèse des productions d'énergie renouvelable dans le scénario négaWatt en région Provence-Alpes-Côte d'Azur	46
Figure III-7: Evolution de la consommation d'énergies non renouvelables consommées en région Provence-Alpes-Côte d'Azur dans le scénario négaWatt (hypothèse démographique haute)	47
Figure III-8: Evolution des émissions de CO ₂ du secteur énergétique (hypothèse démographique haute)	49

Introduction

La présente partie détaille les résultats du scénario négaWatt régionalisé pour la région Provence-Alpes-Côte d'Azur. Ces résultats doivent être considérés avec prudence et pour ce qu'ils sont : un regard 40 ans en arrière nous invite à la modestie, en nous conduisant avant le premier choc pétrolier, à un moment où l'informatique ou le nucléaire étaient inexistantes, et le pétrole à un coût dérisoire.

Ces résultats n'ont donc pas l'ambition de prévoir l'avenir énergétique ; ils sont un moyen d'intégrer dans la vision à court terme les contraintes du long terme, d'identifier les principaux leviers d'actions et de quantifier les principaux efforts à fournir pour mettre en œuvre la transition énergétique. En ce sens, les ordres de grandeur seront plus importants que les chiffres après la virgule.

Un effort est également fait pour donner systématiquement la trajectoire à suivre, et pas seulement une photographie à 2030 ou 2050 – seule la trajectoire permet d'estimer le réalisme des résultats.

Nous souhaitons également insister sur l'importance de bien prendre en compte les hypothèses décrites dans le rapport associé, non reprises dans les résultats, mais qui en sont indissociables.

Les résultats sont présentés pour les deux scénarios (négaWatt et tendanciel), avec les deux hypothèses démographiques (basse et haute). Ils sont décrits en secteurs de consommation, puis en secteurs de production d'énergie renouvelable, et une synthèse générale met ces résultats en perspective.

I- Les secteurs de consommation

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

1- Bâtiments résidentiels et tertiaires

En 2007, le secteur du bâtiment représente 51,2 TWh, soit un peu plus de 31% des consommations régionales d'énergie.

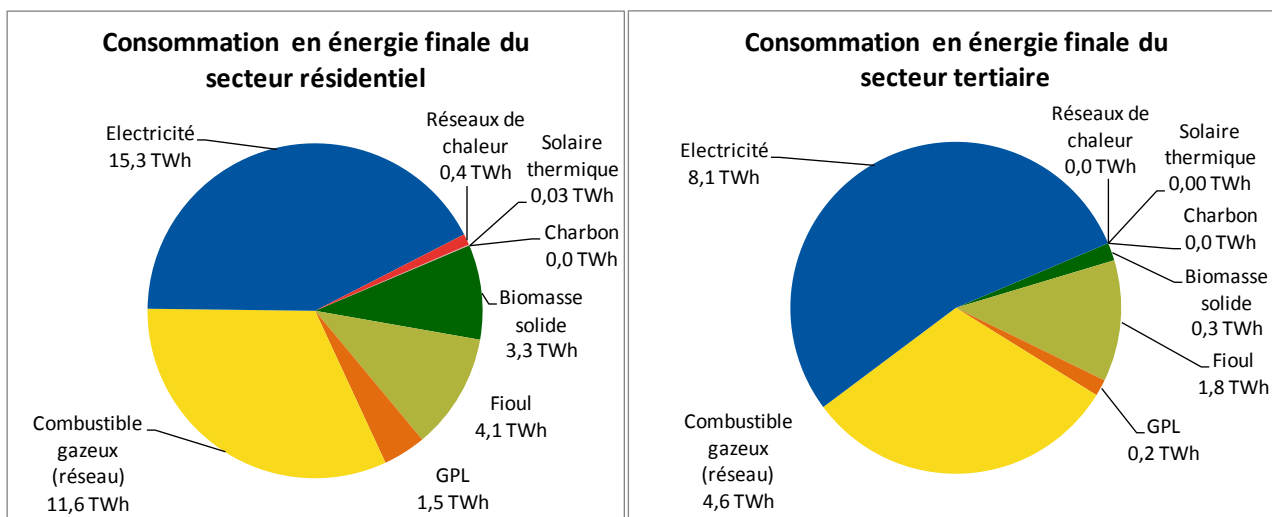


Figure I-1: Etat initial (2007) des consommations d'énergie en résidentiel et tertiaire en région Provence-Alpes-Côte d'Azur - Source : Energ'Air

Par rapport aux consommations au niveau national, le secteur consomme davantage d'électricité, et moins de fioul, de gaz et de biomasse solide. L'usage de la climatisation est par ailleurs davantage développé.

Plusieurs points clés sont à prendre en compte pour la consommation des bâtiments résidentiels et tertiaires, à travers les rénovations thermiques et les constructions neuves : le chauffage bien sûr, mais aussi l'électricité spécifique, la climatisation, l'eau chaude sanitaire (ECS) et la cuisson.

1-1 Rénovation thermique du parc de logements existants

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

Pour les maisons individuelles, le nombre de rénovations thermiques augmente très progressivement : de quelques centaines en 2013, les rénovations passent à environ 23 000 maisons individuelles rénovées par an en 2022. Ce chiffre reste stable jusqu'à 2046, puis baisse ensuite jusqu'à 2050. Les rénovations prioritaires portent sur les maisons individuelles d'avant 1975.

Les rénovations thermiques sont effectuées à un très haut niveau de performance, en application des « solutions techniques de référence » (STR), qui prévoit un niveau minimal de performance par module¹. Ces rénovations de maisons individuelles, principalement réalisées par des artisans, nécessitent une organisation particulière détaillée dans le rapport « Plans d'actions » (structuration en groupement, acquisition de compétences techniques et économiques spécifiques aux projets de rénovations à faible consommation, ...).

¹ Voir <http://www.negawatt.org/telechargement/Docs/Sidler%20Renovation%20final%201107.pdf>, et la boîte à outils sur le site Internet d'Enertech : www.enertech.fr.

Pour les logements collectifs, le nombre de rénovations thermiques augmente progressivement pour atteindre environ 34 000 logements vers 2020, et reste stable jusqu'à 2046, avec une baisse ensuite. La rénovation des logements d'avant 1975, comme pour les maisons individuelles, est prioritaire.

Pour le tertiaire, les surfaces rénovées à très faible consommation augmentent très progressivement jusqu'en 2024, où la surface de rénovation atteint 2 millions de m² par an jusqu'à 2050. Les rénovations les plus accessibles à court terme sont principalement les bureaux et les locaux d'enseignement.

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

Tableau I-1: Nombre de rénovations thermiques dans le scénario négaWatt régionalisé (cumul)

	Unité	2007	2020	2030	2050
Maisons individuelles	Milliers de logements	0,0	74,7	305,1	682,2
Logements collectifs		0,0	112,0	451,3	1009,0
Tertiaire	milliers m ²	0,0	2,7	20,6	59,2

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

1-2 Construction de bâtiments neufs

Pour les constructions de logements, les besoins sont fixés à 30kWh/m²/an à partir de 2013 et à 15kWh/m²/an à partir de 2015, pour le scénario négaWatt comme pour le tendanciel.

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

Tableau I-2: Evolution des surfaces habitables par personne dans les scénarios tendanciel et négaWatt

		Unité	2007	2020	2030	2050	variation 2050/2010
Surface habitable par personne	tendanciel	m ² /personne	38,5	41,7	43,5	45,5	9%
	négaWatt		38,5	41,1	41,3	40,4	-2%

1-3 Maîtrise des consommations d'électricité spécifique

Dans le secteur résidentiel, les hypothèses concernant l'électricité spécifique conduisent à une forte augmentation des consommations pour le scénario tendanciel (de 8,2 TWh en 2010 à 11,7 en 2050, 12,7 en hypothèse haute). Le scénario négaWatt conduit à une réduction significative (4,7 TWh en hypothèse basse, 5,5 en hypothèse haute). Dans le scénario négaWatt, ces consommations sont couvertes à hauteur de 98% par de l'électricité renouvelable en 2050.

Tableau I-3: Consommations d'électricité spécifique domestique par ménage

	Scénario	Unité	2007	2020	2030	2050	Evolutions (%)		
							2020	2030	2050
Consommation d'électricité spécifique domestique par ménage	tendanciel	kWh/an	3674	4103	4228	4230	12%	15%	15%
	négaWatt	kWh/an		3535	2538	1860	-4%	-31%	-49%

Dans le secteur tertiaire, la consommation d'électricité spécifique passe de 4,7 TWh en 2010 à 5,5 en 2050 (6 en hypothèse haute), et à 2 TWh dans le scénario négaWatt (2,2 en hypothèse haute). Ces consommations sont couvertes à 95% par de l'électricité renouvelable.

Les graphiques ci-dessous synthétisent les répartitions de consommation d'électricité spécifique en résidentiel et tertiaire.

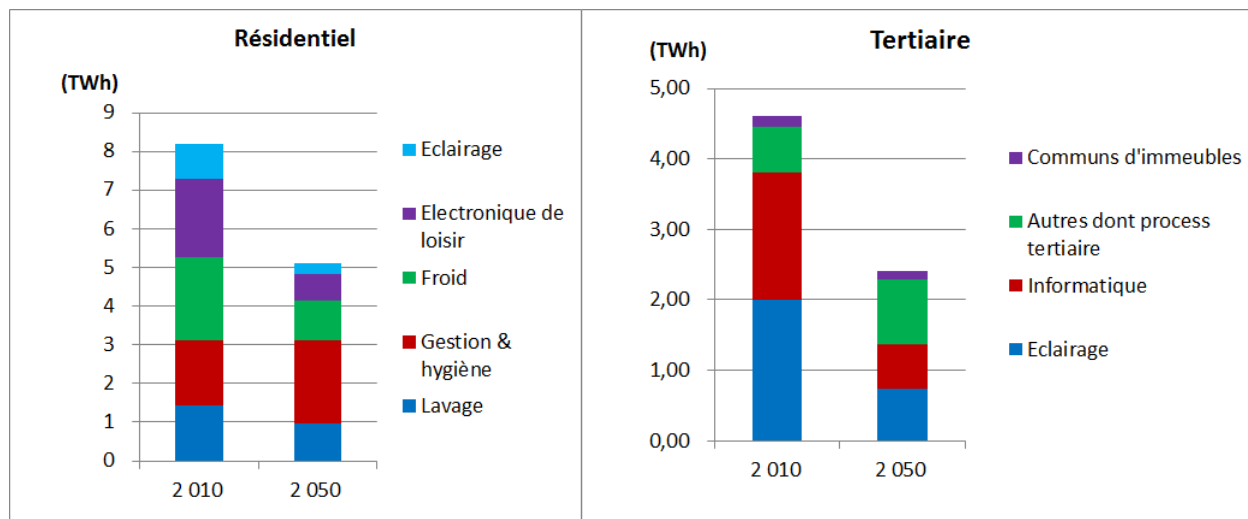


Figure I-2: répartition des consommations d'électricité spécifique en résidentiel et tertiaire² (2010 et 2050, en hypothèse haute de population)

1-4 Maîtrise des consommations de climatisation

Pour la climatisation, l'application des hypothèses de sobriété et d'efficacité permet :

- De stabiliser les consommations finales dans le résidentiel (0,9 TWh en 2010, 0,9 en 2050 pour l'hypothèse basse, 1 TWh en hypothèse haute) malgré le fort développement du taux d'équipement prévu
- De réduire les consommations finales dans le tertiaire (1,3 TWh en 2010, 0,9 en 2050 pour l'hypothèse basse, 1 TWh en hypothèse haute) malgré la forte augmentation des surfaces climatisées prévues

Ces résultats sont le fait d'une maîtrise des besoins surfaciques de climatisation, ainsi que d'une amélioration de l'efficacité des systèmes.

1-5 Maîtrise des consommations de cuisson

Les hypothèses conduisent à une réduction des consommations pour le résidentiel dans le scénario négaWatt (2,4 TWh en 2010, 1,9 TWh pour l'hypothèse basse, 2,0 pour l'hypothèse haute), contre une stabilisation pour le scénario tendanciel.

Pour le tertiaire, une légère augmentation des consommations est prévues dans le tendanciel comme dans le scénario négaWatt (0,6 TWh en 2010, 0,7 en 2050).

1-6 Maîtrise des consommations d'Eau Chaude Sanitaire (ECS)

A partir d'une consommation d'Eau Chaude Sanitaire (ECS) de 4,1 TWh en 2010 pour le résidentiel, les hypothèses conduisent à une forte baisse des consommations dans le scénario négaWatt en 2050 (1,8 TWh en hypothèse basse, 2,0 en hypothèse haute), contre une augmentation pour le tendanciel (5 TWh en hypothèse basse, 5,5 en hypothèse haute).

² Hors éclairage public

Les résultats en termes de consommation par personne au niveau domestique sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau I-4: Consommations d'eau chaude sanitaire domestique par ménage

	scénario	Unité	2007	2020	2030	2050	variation 2050/2010
Consommation d'eau chaude par personne	tendanciel	L/j/personne	27,3	28,7	30,2	33,4	16%
	négaWatt		27,3	25,1	23,1	19,6	-22%

Pour le tertiaire, la consommation d'ECS passe de 1,9 TWh en 2010 à 0,7 TWh dans le scénario négaWatt (hypothèse basse, 0,8 en hypothèse haute). Cette consommation reste stable dans le scénario tendanciel.

1-7 Evolution des sources de chauffage et d'ECS

Outre les réductions de consommation d'énergie dans le bâtiment, la répartition des sources de production de chauffage et d'ECS se modifie progressivement. Les hypothèses présentées plus haut conduisent à des évolutions synthétisées dans les graphes ci-dessous.

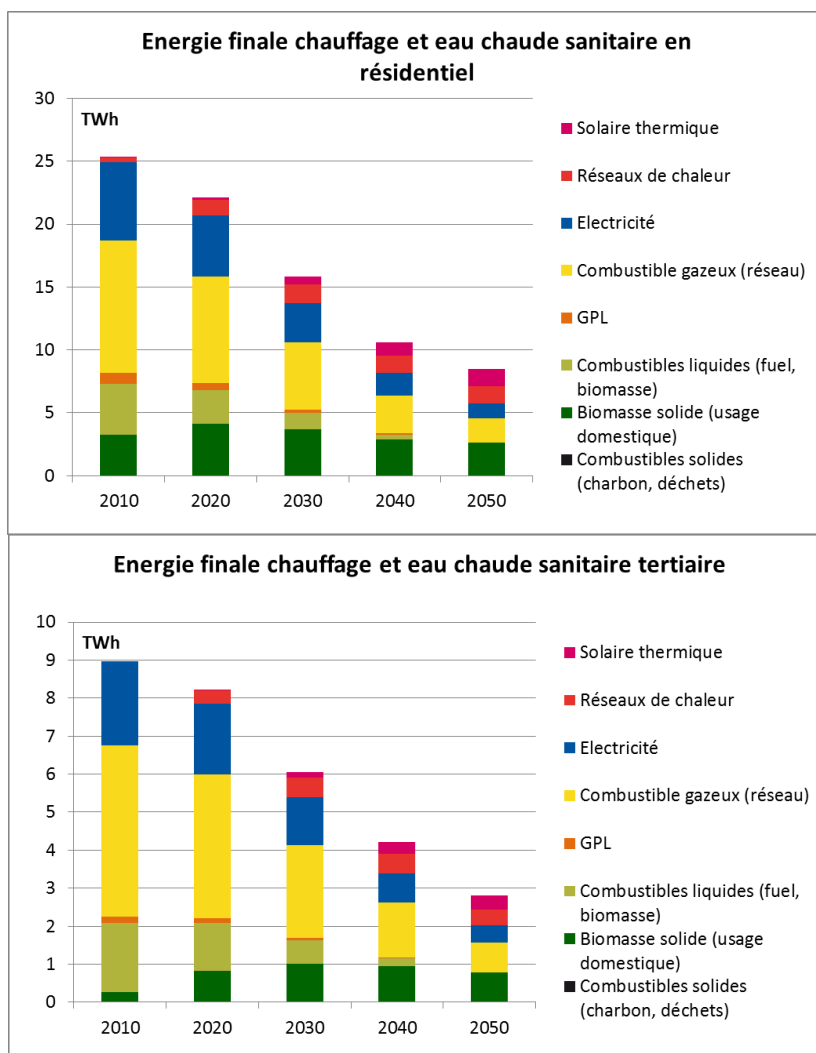


Figure I-3: Répartition des consommations d'énergie finale en chauffage et ECS en résidentiel et tertiaire, par énergie (hypothèse haute)

1-8 Synthèse des consommations du bâtiment

Le tableau suivant synthétise les évolutions de consommations du secteur du bâtiment, en fonction des scénarios et des hypothèses (haute et basse) de population. Il est important de noter que la réduction de consommation à 2020 est finalement faible, et pourrait être assez facilement supérieure, notamment en réalisant davantage de rénovations thermiques sur cette période, mais à un niveau de performance moindre.

Tableau I-5: Synthèse des consommations d'énergie dans les secteurs résidentiel et tertiaire

Consommation d'énergie finale (TWh)			2007	2020	2030	2050	Evolutions par rapport à 2007 (%)		
Secteur	Scénario	Hypothèse de population					2007-2020	2007-2030	2007-2050
Résidentiel	Tendanciel	Haute	36,2	39,6	41,4	43,7	9%	14%	21%
		Basse		38,8	39,7	40,0	7%	10%	10%
	négaWatt	Haute		34,2	25,8	16,6	-6%	-29%	-54%
		Basse		33,5	24,7	15,2	-8%	-32%	-58%
Tertiaire	Tendanciel	Haute	15,0	17,5	18,9	23,3	16%	26%	55%
		Basse		17,1	18,1	21,3	14%	21%	42%
	négaWatt	Haute		14,5	10,6	6,8	-3%	-29%	-55%
		Basse		14,2	10,2	6,2	-5%	-32%	-59%

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

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

En un mot, c'est la capacité de massifier les rénovations thermiques très performantes qui se jouent sur cette période de démarrage (2013-2020). Cette stratégie permet d'atteindre ensuite un rythme de croisière qui conduit à des réductions de consommations bien plus élevées.

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

2- « Transports » : mobilité des personnes et déplacement de marchandises

Le secteur des transports est très vaste, mêlant des modes routiers, ferroviaires, fluviaux avec des usagers particuliers et professionnels, et des usages loisirs, travail, etc. ; la présente section présente les points clés du scénario transports, en commençant par la mobilité des personnes. Pour cette section, les résultats présentés présentent l'hypothèse démographique haute ; une étude de sensibilité pour l'hypothèse basse est présentée ensuite. Pour le transport de marchandises les deux hypothèses démographiques n'influent pas sur les résultats.

2-1 Mobilité des personnes

L'état initial de la mobilité des personnes en région Provence-Alpes-Côte d'Azur

Pour l'année de départ de nos scénarios (2007), la mobilité représente en Provence-Alpes-Côte d'Azur un total de 75 milliards de voyageurs.kilomètres.

Comme pour toutes les Régions de province, le mode routier individuel est largement majoritaire, représentant près de 89% des voyageurs.kilomètres parcourus (figure ci-contre).

Le second mode de transport, mais loin derrière, est le train (5,7%), puis l'avion et les deux roues.

Au total, les transports en commun (hors aérien) représentent seulement 6,8% des kilomètres parcourus sur le territoire.

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

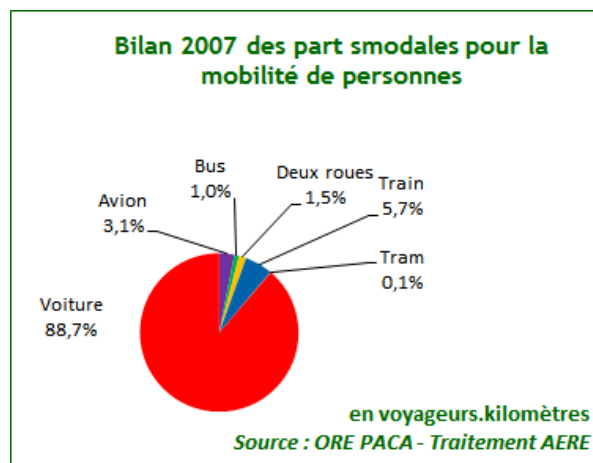


Figure I-4 : Répartition actuelle des modes de transports pour la mobilité de personnes

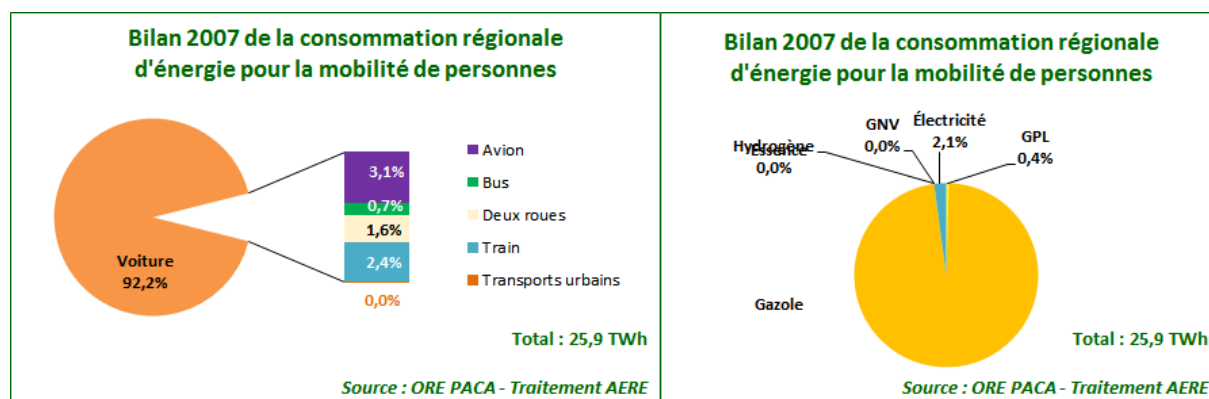


Figure I-6 : Répartition des consommations énergétiques par mode de transport

Figure I-5 : Répartition des sources d'énergies utilisées pour la mobilité de personnes

La conséquence sur les sources d'énergie utilisées est une large prédominance des carburants pétroliers (couple gazole/essence) qui assurent plus de 97% des besoins énergétiques du secteur.

Les modes de transports utilisés sont donc les moins efficaces, et avec les pires sources d'énergie. La marge de manœuvre pour diminuer les consommations et les émissions est importante sans nécessairement avoir un recours très contraignant à la sobriété sur la mobilité.

Le scénario négaWatt régional : évolution des besoins de mobilité

En appliquant les hypothèses détaillées auparavant, on obtient donc un besoin de mobilité global qui augmente dans un premier temps (tendanciel, augmentation de la population) avant de s'infléchir légèrement puis se stabiliser pour atteindre en 2050 un niveau légèrement inférieur au niveau actuel (72 milliards de voyageurs.kilomètres). On observe (figure ci-contre) une forte diminution des kilomètres parcourus en voiture au profit de modes plus efficaces : le deux-roues pour les transports individuels de courte distance, les transports en commun pour les autres déplacements.

En ce qui concerne l'évolution des parts modales, on constate effectivement sur la figure ci-contre une nette diminution du véhicule individuel qui chute de 89% à 54% des kilomètres parcourus. Etant donné les particularités du territoire (zones rurales et périurbaines polarisées) c'est surtout le bus qui est privilégié puisqu'il décuple d'ici 2050, puis le train (5 fois plus de voyageurs.kilomètres).

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

On voit par ailleurs sur la figure ci-dessous que l'évolution n'est pas la même pour toutes les communes : les communes les plus proches des pôles urbains connaissent une diminution plus importante (transports doux) tandis que les communes en zone polarisée stagnent voire augmentent les kilomètres parcourus (déplacements domicile travail et évolution démographique).

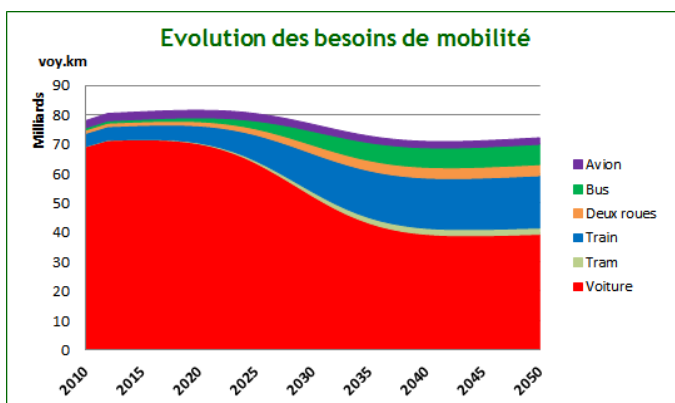


Figure I-7: Evolution des kilomètres parcourus par mode de transport

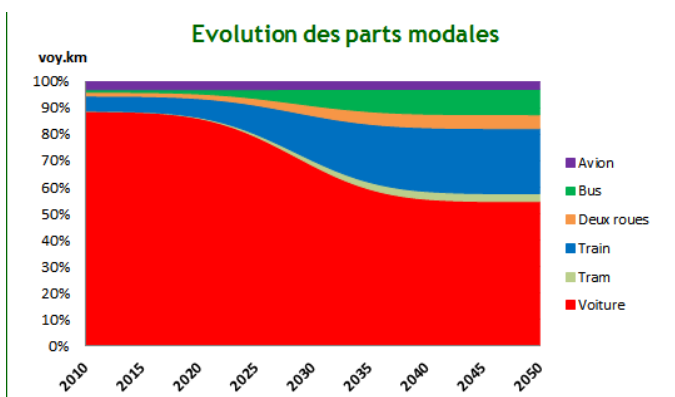


Figure I-8: Evolution des parts modales indépendamment du besoin total de mobilité

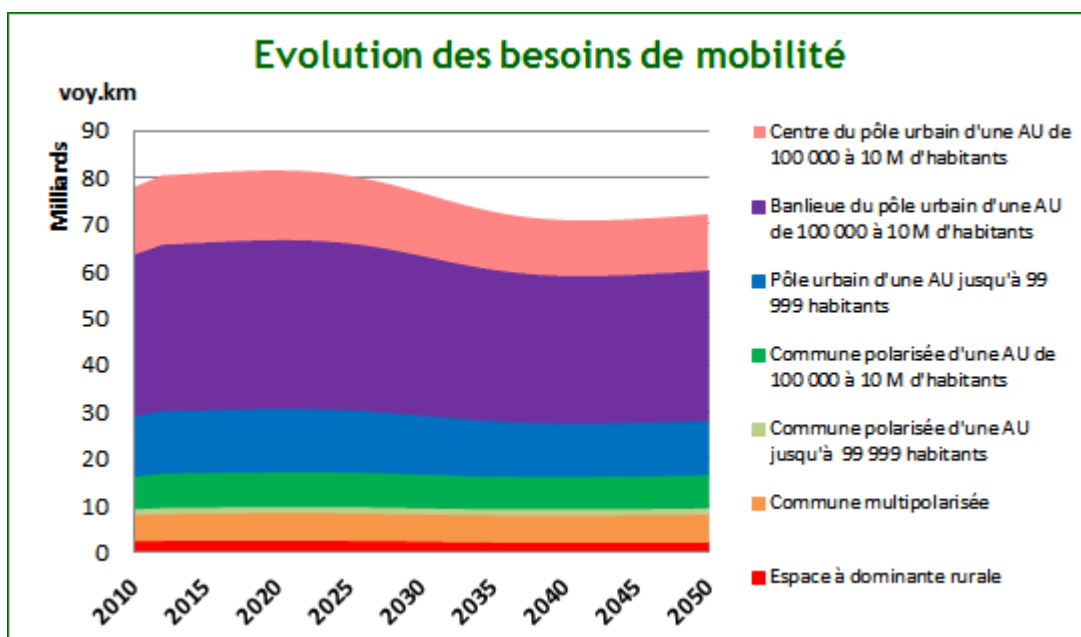


Figure I-9: Détails de l'évolution des besoins de mobilité par type de commune

Consommations d'énergie

Comme pour le scénario national, le résultat de ce report modal vers des modes plus efficaces conduit à une forte chute des consommations d'énergie du secteur (-63%, voir Figure I-10).

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

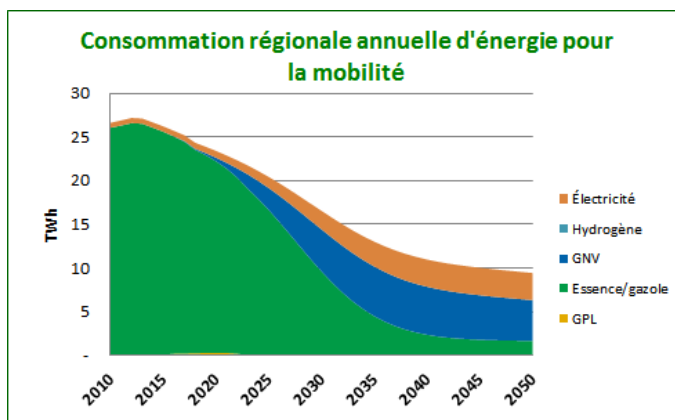


Figure I-10: Evolution des consommations annuelles d'énergie

Points clés du scénario régional

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

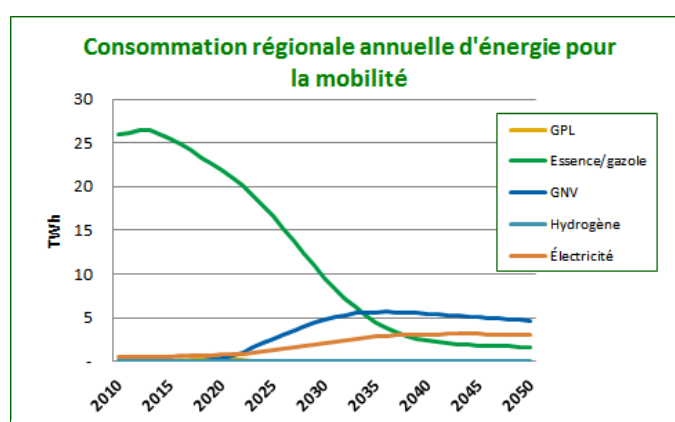


Figure I-11 : Evolution des consommations par sources d'énergie

2-2 Transport de marchandises

L'état initial du transport de marchandises en Provence-Alpes-Côte d'Azur

Pour l'année de départ de nos scénarios (2007), ce secteur représente près de 25 TWh de consommation annuelle pour plus de 46 milliards de tonnes.kilomètres transportées annuellement.

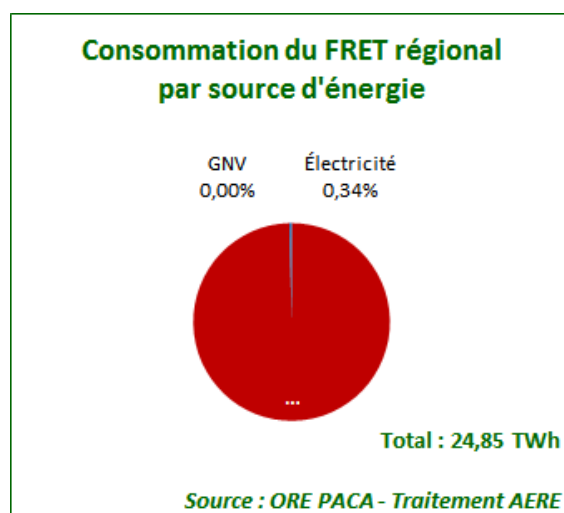
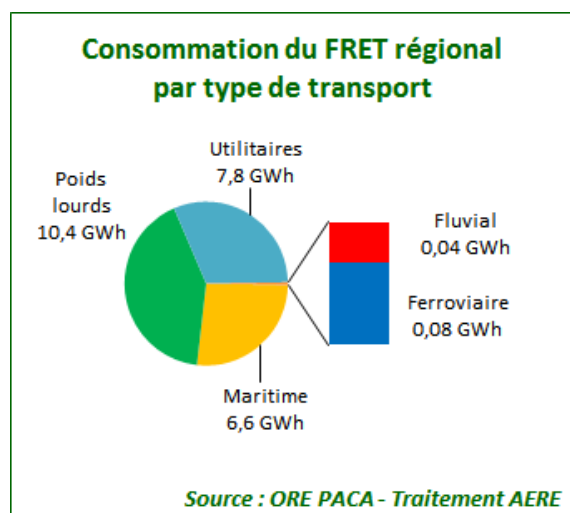


Figure I-13: Etat initial des consommations par mode de transport

Figure I-12: Etat initial des consommations par source d'énergie

On observe (figure ci-dessus, à gauche) que les transports routiers (poids lourds et utilitaires) représentent à eux seuls près des trois quarts de la consommation, le dernier quart étant consommé par le transport maritime. Fluvial et ferroviaire ne représentent qu'un demi pourcent de la consommation totale.

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

Les moteurs à combustible fossile sont donc bien évidemment les cibles prioritaires de ce secteur, mais la particularité de la région est cette part importante de maritime liée à son activité portuaire conséquente.

Le scénario négaWatt régional : évolution des quantités transportées

En appliquant les hypothèses précédemment décrites aux particularités locales du secteur des transports de marchandises, nous obtenons donc le scénario présenté sur la figure ci-dessous (à gauche). Après une hausse temporaire du tonnage lié aux projets du port de Marseille-Fos, la diminution des tonnages transportés s'accroît progressivement puis s'infléchit pour se stabiliser aux alentours de 33 milliards de tonnes.kilomètres annuelles (-28%).

On observe (figure ci-dessous, à droite) un report modal du routier vers le rail et le fluvial, qui sont tous les deux triplés (environ). Il s'agit d'un triplement des tonnages transportés, qui ne passe pas que par une augmentation du trafic, mais également une optimisation de l'organisation de ces transports (moins de transports à vide). Bien qu'ils soient déjà développés en région Provence-Alpes-Côte d'Azur, la faible part de ces transports à l'état initial explique ce triplement (on part de très peu), qui ne correspond en fait qu'à 10 milliards de tonnes.kilomètres (un cinquième des tonnages transportés actuellement). Il s'agit toutefois déjà d'un gros effort, qui peut intégrer par exemple des projets tels que le tunnel du Montgenèvre.

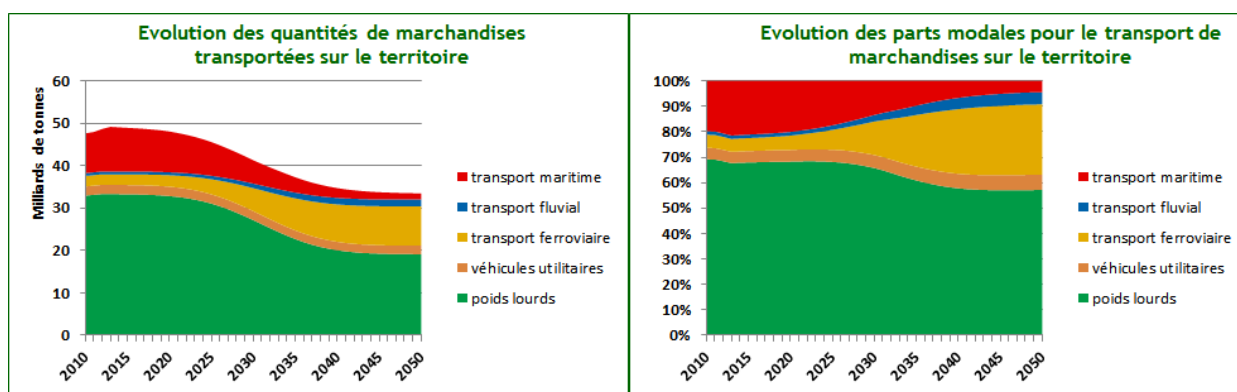


Figure I-15: Evolution des tonnages transports en région Provence-Alpes-Côte d'Azur

Figure I-14: Evolution absolue de chaque mode de transport

Remarque sur les projets du port de Marseille-Fos

Comme indiqué précédemment dans la note méthodologique, les projets du port de Marseille-Fos ont fait l'objet d'une étude toute particulière tant leur impact sur ce secteur est conséquent.

Nous avons évalué l'impact des projets « XL » du port en fonction des données disponibles et d'échanges avec les services de la Région, notamment l'évolution des tonnages transportés et la part de transport routier correspondante. Même avec de très gros efforts sur le transfert modal, la réalisation de Fos4XL et Fos3XL s'avère totalement incompatible avec le scénario négaWatt national, l'évolution des quantités transportées ne

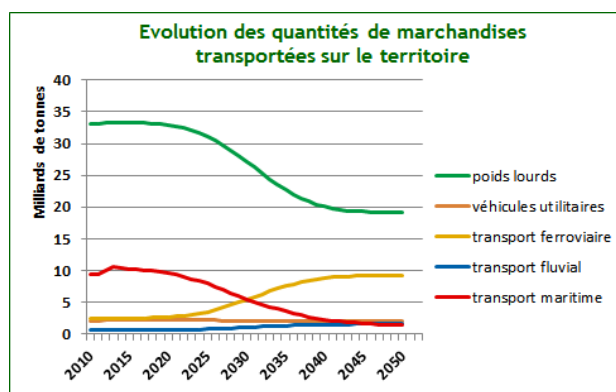


Figure I-16 : Evolution des parts modales du transport de marchandises

correspondant pas aux orientations nationales sur les relocalisations et circuits courts, et l'impact sur le fret routier étant totalement opposé à l'évolution nécessaire pour s'inscrire dans ce scénario.

Nous avons donc admis que les orientations stratégiques du port de Marseille-Fos vont se réaliser à court terme (projet Fos2XL déjà en cours), mais que les autres projets à plus long terme qui ne sont pas compatibles avec le scénario national n'auront donc pas lieu (Fos4XL et 3XL, et objectifs de développement des navires rouliers notamment).

L'évolution des autres tonnages échangés dans les ports a ensuite été traitée par type de marchandise, en fonction des évolutions liées au scénario national et au scénario régional : importation de produits pétroliers, d'engrais, de minerais en fonction de l'évolution de l'activité agricole et industrielle.

Evolution des consommations

L'évolution des tonnages transportés est accentuée par les hypothèses d'amélioration de l'efficacité énergétique des différents modes de transport, en particulier le transport routier (Poids Lourds – PL et Véhicules Utilitaires Légers - VUL). On observe ainsi (figure ci-dessous, à gauche) une division par 3,3 de la consommation totale de ce secteur. Cela passe par une diminution des consommations du maritime et des poids lourds, en majorité liée à la diminution des quantités transportées. On remarque aussi un gain de 60% sur les véhicules utilitaires, malgré une stabilisation des quantités transportées : il s'agit d'une optimisation de la logistique et d'un changement de motorisation (hybrides GNV notamment) permettant d'améliorer considérablement l'efficacité énergétique globale de ce secteur. Sur la ci-dessous (à droite), on constate en effet une substitution des combustibles pétroliers majoritairement par le gaz véhicule, et dans une moindre mesure par l'électricité.

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

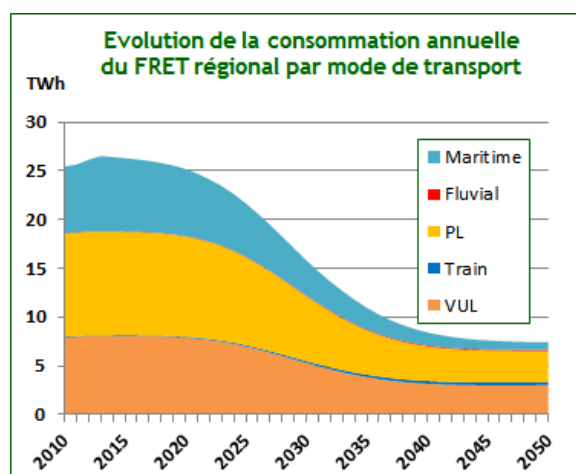


Figure I-18 : Evolution des consommations énergétiques des différents modes de transport

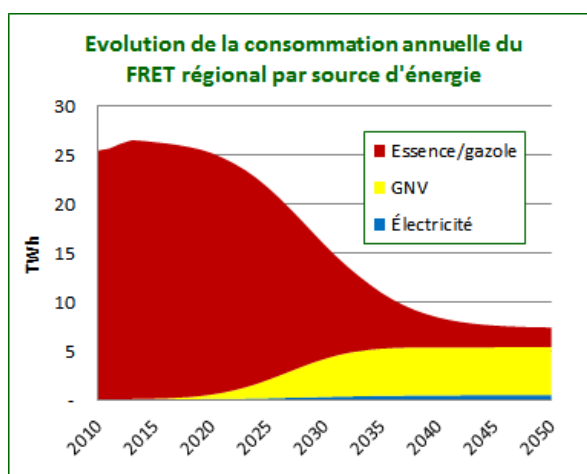


Figure I-17: Evolution des consommations des différentes sources d'énergie par le transport de marchandises

2-3 Test de sensibilité démographique

L'ensemble des résultats précédents ont été présentés avec l'hypothèse haute de l'évolution démographique prévue.

Nous avons réalisé un test de sensibilité sur la mobilité pour évaluer l'impact de l'évolution démographique sur le secteur. L'impact est moindre sur le transport de marchandises et n'est donc pas présenté ici.

Besoin de mobilité

Les tableaux et graphiques ci-dessous comparent les résultats pour les deux hypothèses d'évolution démographique prises en compte dans notre approche.

On observe 9,0% d'écart sur les kilomètres.voyageurs totaux parcourus sur le territoire et 9,2% d'écart sur les consommations énergétiques du secteur. Ceci confirme l'importance de la variable démographique sur un secteur comme la mobilité des personnes.

Tableau I-6: Sensibilité des besoins de mobilité à la variable démographique

Mobilité régionale <i>en millions de voy.km</i>	2007		2020		2030		2050	
	Hyp. basse	Hyp. haute	Hyp. basse	Hyp. haute	Hyp. basse	Hyp. haute	Hyp. basse	Hyp. haute
Avion	2 288	2 288	2 437	2 487	2 222	2 316	1 962	2 144
Bus	726	726	1 301	1 328	4 500	4 691	6 310	6 894
Deux roues	1 101	1 101	1 423	1 452	2 783	2 901	3 467	3 788
Train	4 222	4 222	5 698	5 814	12 500	13 029	16 251	17 755
Tr. urbains	66	66	256	262	1 370	1 428	1 987	2 171
Voiture	66 088	66 088	68 805	70 199	50 299	52 428	36 074	39 412
TOTAL	74 491	74 491	79 921	81 541	73 674	76 793	66 052	72 164

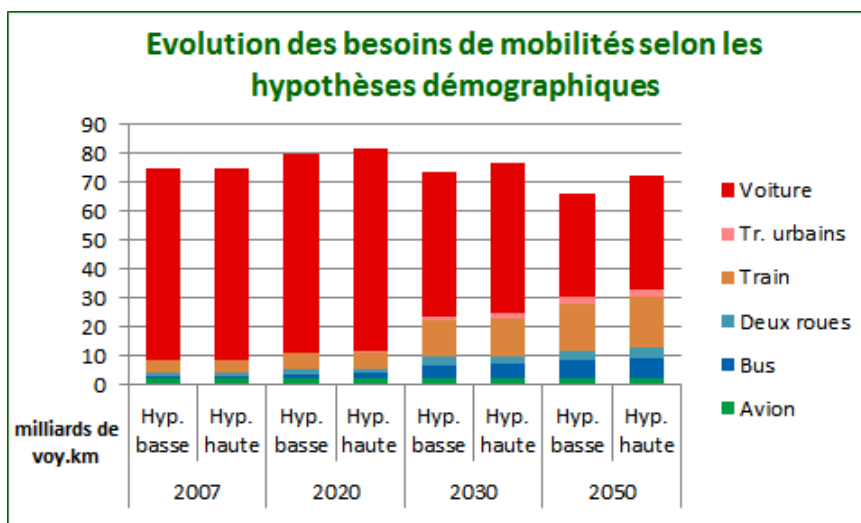


Figure I-19: Evolution des besoins de mobilités selon les hypothèses démographiques

Tableau I-7: Sensibilité des consommations d'énergie à la variable démographique

Consommation annuelle <i>en TWh</i>	2007		2020		2030		2050	
	Hyp. basse	Hyp. haute	Hyp. basse	Hyp. haute	Hyp. basse	Hyp. haute	Hyp. basse	Hyp. haute
Avion	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,5	0,6
Bus	0,2	0,2	0,3	0,3	0,8	0,9	0,8	0,9
Deux roues	0,4	0,4	0,5	0,5	0,7	0,8	0,5	0,6
Train	0,6	0,6	0,8	0,8	1,7	1,8	2,0	2,2
Tr. Urbains	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,2
Voiture	23,8	23,8	20,4	20,9	11,8	12,3	4,7	5,1
TOTAL	25,9	25,9	22,9	23,4	15,9	16,5	8,7	9,5

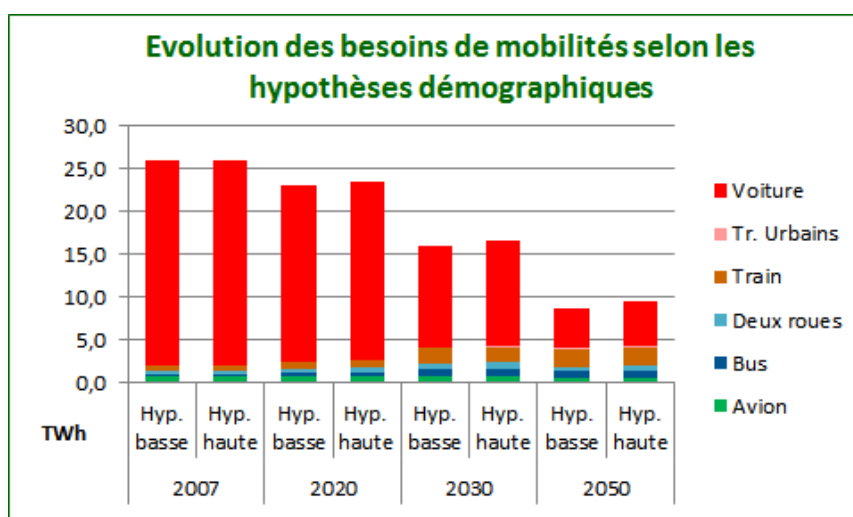


Figure I-20: Evolution des besoins de mobilités selon les hypothèses démographiques

2-4 Synthèse des consommations des transports

Le tableau ci-dessous synthétise les résultats de consommations d'énergie du secteur des transports.

Tableau I-8: Synthèse des consommations d'énergie du secteur des transports, en fonction des scénarios et des hypothèses démographiques

Consommation d'énergie finale (TWh)			2007	2020	2030	2050	Evolutions par rapport à 2007 (%)		
	Scénario	Hypothèse de population					2007-2020	2007-2030	2007-2050
Transports	Tendanciel	Haute	55,1	61,1	63,1	64,4	11%	14%	17%
		Basse		60,5	61,7	61,3	10%	12%	11%
	négaWatt	Haute		52,9	35,5	18,7	-4%	-36%	-66%
		Basse		52,1	34,5	17,4	-5%	-38%	-68%

3- Production industrielle

Avec 56,7 TWh de consommations finales, l'industrie est le premier poste de consommation d'énergie de la région ; elle représente près de 35% des consommations, réparties pour environ 80% en combustibles, et 20% en électricité. La production de métaux représente près de 60% de la consommation du secteur, et la chimie-production de plastiques près de 25%.

Compte tenu des hypothèses retenues, les gains estimés en énergie finale pour l'industrie sont de l'ordre de 16% à court terme (2020) et plus de 60% en 2050. Notons que les résultats présentés ici ne dépendent que très peu des hypothèses démographiques régionales³ – les deux hypothèses démographiques ne sont donc pas distinguées.

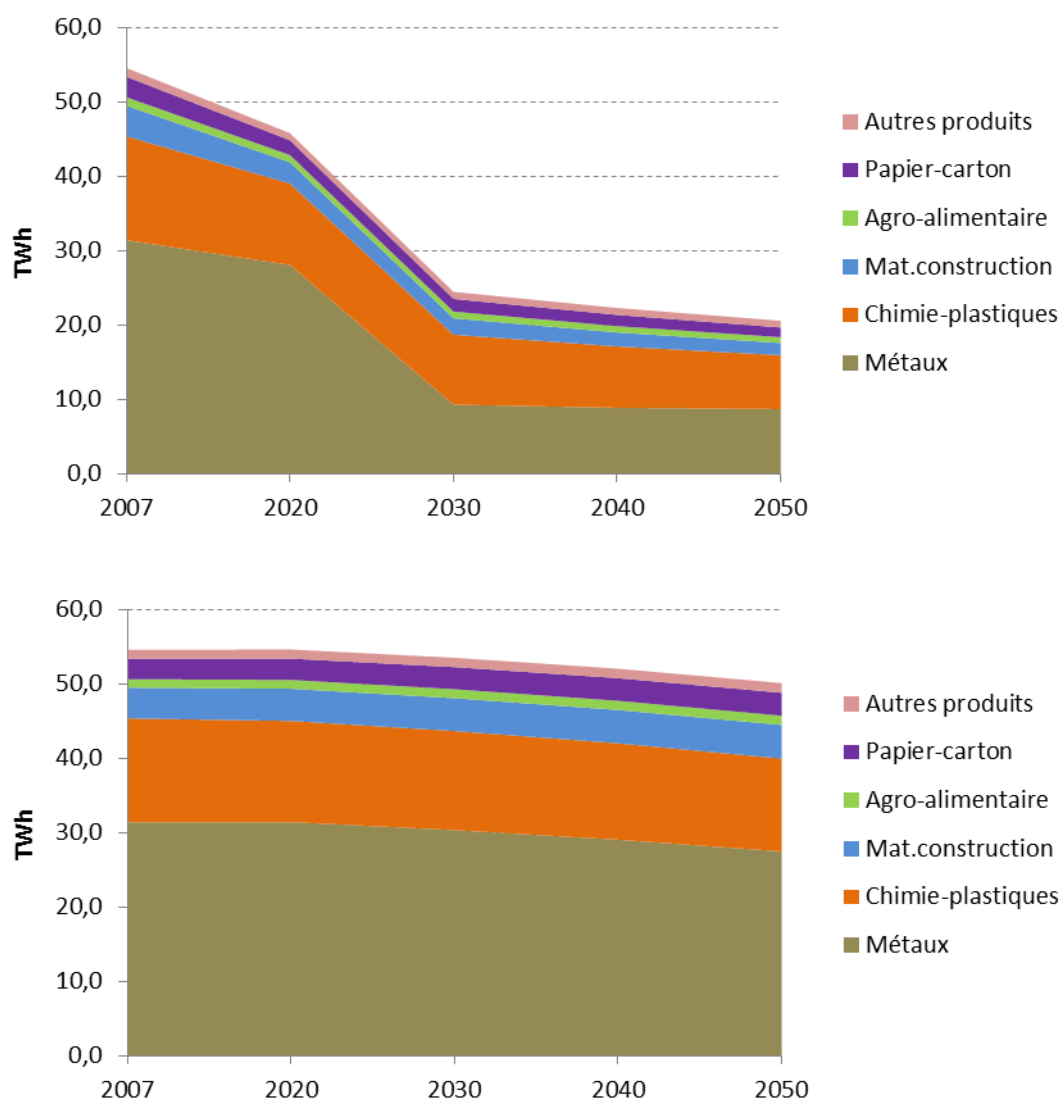


Figure I-21: Evolution de la consommation d'énergie finale de l'industrie en Provence-Alpes-Côte d'Azur, par secteur, dans le scénario négaWatt (graphe du haut) et dans le scénario tendanciel (graphe du bas) - Source : E&E

Les secteurs représentant les gains les plus importants sont principalement les secteurs où le recyclage, voire la réutilisation (verre) peut être mis en œuvre de façon encore plus ambitieuse : sidérurgie, métaux non ferreux, papier-carton...

³ Seule la valorisation des plastiques des déchets ménagers est liée à ces hypothèses dans notre scénario, ce qui aboutit à des variations négligeables

Le secteur des métaux actuellement prépondérant réalise la plus forte baisse avec -72% à l'horizon 2050. La sidérurgie présente donc une très grande réduction de consommation énergétique due à la fois à la réduction des capacités de production d'acier primaire, et d'autre part à la mise en œuvre de procédés avancés (avec recours partiel au charbon de bois pour baisser davantage les émissions). Sur l'acier mais aussi sur les autres métaux (aluminium, plomb...), l'industrie du recyclage se développe avec des procédés beaucoup moins énergivores, avec un recours plus important à l'électricité (sauf pour l'aluminium), ce qui explique la baisse moins importante de la consommation d'électricité. Dans ce secteur, la baisse est forte entre 2020 et 2030, en raison de la rénovation du haut-fourneau de Fos. Au niveau national, la transition vers une économie du recyclage est davantage lissée, mais pour les régions comportant un gros site de production, la transition sera plus rapide.

Pour le secteur « chimie-plastique » et celui de l'agroalimentaire, la diversité des procédés et la moindre transparence des données rendent la tâche d'estimation des gains plus difficile. Il a donc été retenu des gains plus modestes et sans doute conservateurs. Les gains sur le secteur « chimie-plastique » est plus important en raison de la forte baisse des besoins en plastique (sobriété sur les emballages, réutilisation des emballages...).

Le secteur des matériaux de construction, où la fabrication de ciment constitue la consommation majeure, possède un potentiel de réduction à long terme important, en raison de procédés innovants récents qui sont proches du développement industriel. Il s'agit de nouveaux liants (Novacement⁴, Celitement, ...) différents, qui nécessitent des températures de procédé beaucoup plus faibles.

Tableau I-9: Evolution des consommations d'énergie de l'industrie en Provence-Alpes-Côte d'Azur

⁴ Voir CE Delft. (2010). Technological developments in Europe; A long-term view of CO2-efficient manufacturing in the European region, p. 51-53.

Consommation totale nette (énergie finale)	en TWh					Réduction				
	2007	2020	2030	2040	2050	2007	2020	2030	2040	2050
Métaux	31,4	28,1	9,3	8,9	8,7	0%	11%	70%	72%	72%
Chimie-plastiques	14,0	11,0	9,4	8,3	7,2	0%	21%	33%	41%	48%
Mat.construction	4,1	2,9	2,2	1,9	1,7	0%	31%	46%	54%	60%
Agro-alimentaire	1,1	1,0	0,9	0,8	0,8	0%	16%	21%	26%	32%
Papier-carton	2,8	2,0	1,7	1,5	1,3	0%	27%	38%	45%	53%
Autres produits	1,2	0,9	0,9	0,9	0,9	0%	19%	20%	21%	22%
Total	54,6	45,8	24,5	22,3	20,6	0%	16%	55%	59%	62%
- Combustible/chaueur	45,3	38,0	17,9	16,1	14,6	0%	16%	60%	64%	68%
- Electricité (brute)	10,4	8,7	7,5	7,2	6,9	0%	16%	28%	31%	33%

Consommation combustibles (énergie finale)	en TWh					Réduction				
	2007	2020	2030	2040	2050	2008	2020	2030	2040	2050
Métaux	27,7	24,9	6,8	6,3	6,0	0%	10%	76%	77%	78%
Chimie-plastiques	10,6	8,1	6,9	6,0	5,2	0%	24%	35%	43%	50%
Mat.construction	3,4	2,4	1,9	1,6	1,4	0%	30%	45%	53%	59%
Agro-alimentaire	0,7	0,6	0,6	0,6	0,5	0%	15%	15%	16%	21%
Papier-carton	2,3	1,7	1,4	1,2	0,9	0%	27%	39%	48%	60%
Autres produits	0,6	0,4	0,4	0,5	0,5	0%	27%	23%	19%	18%
Total	45,3	38,0	17,9	16,1	14,6	0%	16%	60%	64%	68%

Consommation d'électricité brute (énergie finale)	en TWh					Réduction				
	2007	2020	2030	2040	2050	2008	2020	2030	2040	2050
Métaux	3,7	3,2	2,5	2,6	2,7	0%	13%	31%	29%	27%
Chimie-plastiques	4,2	3,6	3,1	2,8	2,5	0%	16%	26%	33%	40%
Mat.construction	0,7	0,5	0,4	0,4	0,3	0%	29%	44%	51%	55%
Agro-alimentaire	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3	0%	7%	13%	18%	25%
Papier-carton	0,7	0,5	0,5	0,5	0,5	0%	33%	35%	30%	26%
Autres produits	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0%	7%	8%	9%	12%
Total	10,4	8,7	7,5	7,2	6,9	0%	16%	28%	31%	33%

Source : E&E

Pour l'électricité, les gains totaux sont plus faibles : alors que le potentiel sur les seules opérations transverses affiche un gain de 30% (voir tableaux ci-dessus), l'estimation finale annonce seulement 29% sur le long terme. Deux raisons à cela, d'une part, les évolutions de productions retenues, à savoir l'augmentation des filières de recyclage qui sont généralement des filières électriques (acier en particulier), d'autre part la substitution d'électricité aux combustibles dans certaines applications telles que four et séchage.

Tableau I-10: Cogénération industrielle

		2010	2020	2030	2040	2050
Cogénération						
Chaleur cogénéritable	TWh	4,4	3,3	2,9	2,5	2,2
Chaleur cogénérée	TWh	3,5	2,5	2,3	2,3	2,2
Electricité cogénéré	TWh	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0
Rendement	%	83%	85%	86%	87%	87%
Récupération d'énergie fatale						
Chaleur fatale valorisée		0,0	0,2	0,5	0,7	0,8

Source : E&E

Pour la cogénération industrielle, la production électrique reste stable. Elle est l'effet d'une part d'une baisse de production liée aux économies d'énergie importante faite dans l'industrie (baisse des besoins en chaleur), et d'autre part du développement du potentiel inexploité. En d'autres termes, le nombre de cogénération va augmenter, mais les puissances unitaires vont diminuer.

En 2050, l'estimation de chaleur fatale valorisable montre une production de 0,8TWh de chaleur basse température récupérable sur les chaleurs fatales des industries. Comme pour la cogénération, le potentiel diminue au fur et à mesure des rénovations énergétiques de l'industrie. Cette valorisation se fait par réseau de chaleur.

Au final, la mise en œuvre de la démarche négaWatt, permet une transition importante vers une société économe en énergie, comme le montre la figure ci-dessous. La courbe tendancielle considère une augmentation de la production industrielle proportionnelle à la l'augmentation de la population française, et des gains d'efficacité faibles⁵ : ces deux effets aboutissent à une stabilisation des consommations énergétique à moyen terme et une légère baisse d'environ 5% à l'horizon 2050 La prise en compte de la relocalisation des productions industrielles annule les gains et induit même une croissance importante des consommations énergétiques du secteur de 10% en 2050.

La mise en œuvre du scénario négaWatt permet une consommation d'énergie 65% plus faible que le scénario tendanciel (avec relocalisation) en 2050. Près de 40% de cette réduction de consommation d'énergie est dû à la sobriété, le reste (60%) aux actions d'efficacité. Parmi celles-ci, il est important de souligner que le développement de l'industrie du recyclage permet à lui seul 40% des économies. L'augmentation des taux de recyclage a un impact particulièrement grand sur la région Provence-Alpes-Côte d'Azur en raison de la prédominance de la production d'acier primaire (haut-fourneau) dans la consommation énergétique industrielle actuelle de la région.

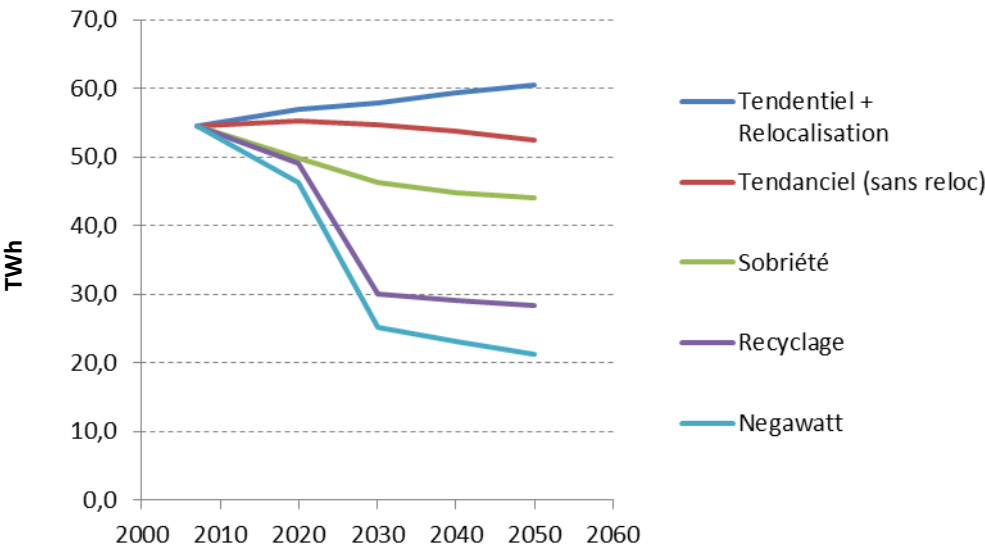


Figure I-22: Mise en œuvre de la démarche négaWatt dans l'industrie en Provence-Alpes-Côte d'Azur - Source : E&E, négaWatt

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

Tableau I-11: Synthèse des consommations d'énergie finale dans l'industrie, suivant les différents scénarios

Consommation d'énergie finale (TWh)		2007	2020	2030	2050	Evolutions par rapport à 2007 (%)		
Industrie	Scénario					2007-2020	2007-2030	2007-2050
	Tendanciel	56,7	57,4	56,9	54,6	1%	0%	-4%
	négaWatt		48,0	26,6	22,5	-16%	-54%	-61%

⁵ Les gains retenus sont ceux du scénario tendanciel de l'étude Enerdata, « Scenarii prospectifs énergie - climat - air de référence concernant la France dans un cadre européen et international à l'horizon 2030 », Rapport intermédiaire, 2010

4- Synthèse des consommations d'énergie

Les consommations d'énergie finale par secteur et totales dans les deux scénarios tendanciel et négaWatt, en fonction des hypothèses démographiques, sont présentées dans les tableaux ci-dessous.

Tableau I-12: Synthèse des consommations d'énergie finale par secteur selon les différents scénarios (hypothèse démographique haute)

Consommations finales par secteur (TWh) - hypothèse haute		2007	2020	2030	2050	Evolutions par rapport à 2007 (%)		
Secteur	Scénario					2007-2020	2007-2030	2007-2050
Bâtiments	Tendanciel	51,3	57,0	60,3	67,0	25%	40%	76%
	négaWatt		48,7	36,4	23,4	-9%	-58%	-109%
Industrie	Tendanciel	56,7	57,4	56,9	54,6	1%	0%	-4%
	négaWatt		48,0	26,6	22,5	-16%	-54%	-61%
Transports	Tendanciel	55,1	61,1	63,1	64,4	11%	14%	17%
	négaWatt		52,9	35,5	18,7	-4%	-36%	-66%
Total	Tendanciel	163,0	175,5	180,2	185,9	8%	11%	14%
	négaWatt		149,5	98,4	64,5	-8%	-40%	-60%

Tableau I-13: Synthèse des consommations totales d'énergie finale selon les différents scénarios

Consommation d'énergie finale (TWh)			2007	2020	2030	2050	Evolutions par rapport à 2007 (%)		
Total	Scénario	Hypothèse de population					2007-2020	2007-2030	2007-2050
	Tendanciel	Haute	163,0	175,5	180,2	185,9	8%	11%	14%
		Basse		173,8	176,4	177,2	7%	8%	9%
	négaWatt	Haute		149,5	98,4	64,5	-8%	-40%	-60%
		Basse		147,8	95,9	61,3	-9%	-41%	-62%

Les graphiques représentant ces évolutions, par secteur et par vecteur énergétique, sont présentés en fin de rapport, en synthèse générale.

II- La production d'énergies renouvelables

Dans cette section sont détaillés les résultats de la production d'énergie renouvelable hors biomasse et issue de la biomasse, et la synthèse de l'ensemble de ces productions.

1- Energies renouvelables hors biomasse

1-1 Hydroélectricité

Pour l'hydroélectricité, les hypothèses décrites plus haut conduisent à un supplément de puissance installée de 125 MW pour la petite hydraulique, et 40 MW pour la grande hydraulique. Nous considérons que ce potentiel est installable d'ici 2030, ce qui conduit à une production annuelle supplémentaire de 732 GWh, pour atteindre un total de production hydroélectrique de près de 10 TWh chaque année.

Les résultats de notre scénarisation sont présentés ci-dessous, en puissance, en production et en nombre d'installations.

Tableau II-1: Evolution de la puissance installée et de la production hydraulique en Région Provence-Alpes-Côte d'Azur, ainsi que du nombre d'installations correspondant

Région PACA	2007	2020	2030	2050
Puissance installée totale (MW)	3 423	3 497	3 588	3 588
Petite hydraulique	200	270	325	325
Grande hydraulique	3 223	3 227	3 263	3 263
Production annuelle (GWh)	8 865	9 191	9 594	9 594
Petite hydraulique	890	1 197	1 438	1 438
Grande hydraulique	7 975	7 993	8 157	8 157

Nombre d'installations	2007	2020	2030	2050
Petite hydraulique	108	192	258	258
Grande hydraulique	50	51	57	57
Total hydraulique	158	243	315	315

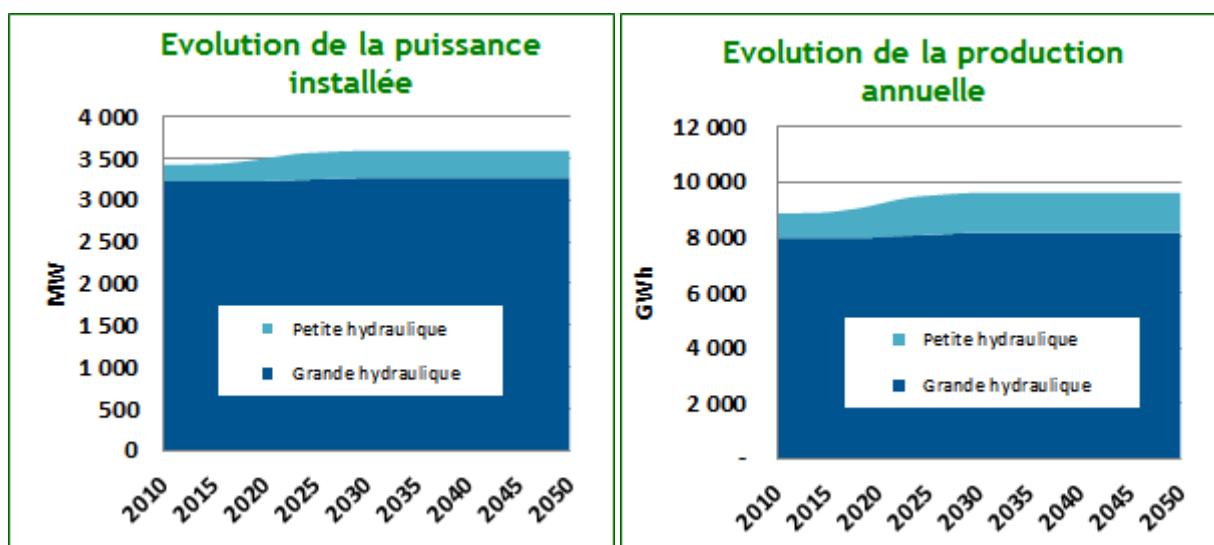


Figure II-1: Evolution de la puissance installée et de la production annuelle pour l'hydraulique en Région Provence-Alpes-Côte d'Azur

1-2 Eolien

Pour la production éolienne, les hypothèses présentées conduisent à l'installation d'une puissance de 1 300 MW éoliens terrestres d'ici 2030, et 1 500 MW terrestres et 4 500 MW flottants d'ici 2050, pour atteindre une production électrique totale de 19 000 GWh (contre 77 en 2007).

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

Tableau II-2: Evolution de la puissance installée, de la production annuelle de l'éolien et du nombre d'éoliennes en Région Provence-Alpes-Côte d'Azur

	2007	2020	2030	2050
Puissance installée totale (MW)	31,3	725	1 870	6 055
Terrestre	31,3	725	1 305	1 565
Off-shore flottant	0,0	0	565	4 490
Production annuelle (GWh)	77,0	1 581	4 467	19 012
Terrestre	77,0	1 581	2 979	3 625
Off-shore flottant	0,0	0	1 488	15 387

	2007	2020	2030	2050
Nombre d'éoliennes	24	263	489	1031
Terrestre	24	263	404	449
Off-shore flottant	0	0	85	583

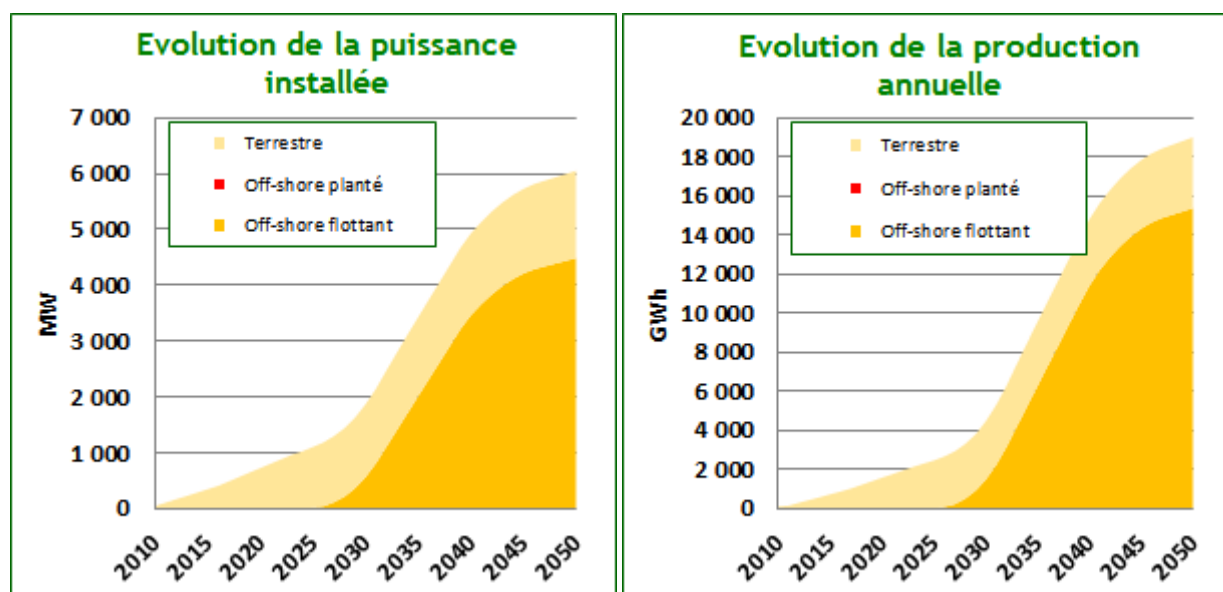


Figure II-2: Evolution de la puissance installée et de la production annuel de l'éolien en Région Provence-Alpes-Côte d'Azur

L'éolien off-shore « flottant » représente un gisement considérable et constitue une source de production très intéressante au niveau de la Région.

1-3 Solaire photovoltaïque

Pour le solaire photovoltaïque, les hypothèses décrites conduisent à une installation de 1 200 MW en toiture et 1 600 MW au sol d'ici 2020, pour une production annuelle de 3 883 GWh. D'ici 2050, les presque 9 000 MW installés au total assure une production de plus de 11 TWh chaque année.

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

Tableau II-3: Evolution de la puissance installée et de la production annuelle du photovoltaïque en Région Provence-Alpes-Côte d'Azur

	2007	2020	2030	2050
Puissance installée totale (MW)	1,5	2 946	5 491	8 946
PV toiture	1,5	1 274	2 904	5 334
PV au sol	0,0	1 672	2 587	3 612
Production annuelle (GWh)	1,7	3 883	7 130	11 493
PV toiture	1,7	1 522	3 477	6 392
PV au sol	0,0	2 361	3 653	5 101

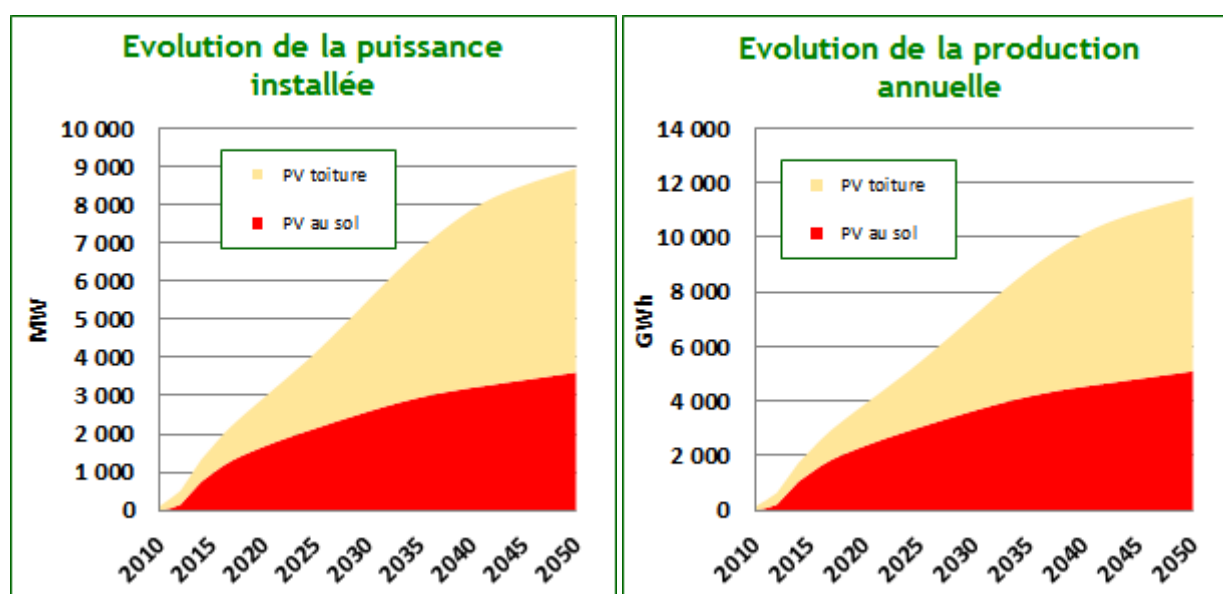


Figure II-3: Evolution de la puissance installée et de la production annuel du photovoltaïque en région Provence-Alpes-Côte d'Azur

Le photovoltaïque poursuit son développement de manière régulière jusqu'en 2050, en suivant le rythme des rénovations et de l'augmentation des tarifs de l'électricité (210 MW par an en moyenne, rythme plus soutenu les premières années). A titre indicatif, l'Allemagne installe actuellement environ 1m² par habitant par an. Le rythme de 210 MW par an appliqué à la population régionale nous situe à moins de la moitié du rythme allemand.

Tableau II-4: Evolution de la surface photovoltaïque par habitant en région Provence-Alpes-Côte d'Azur

Surface de PV sur toiture	2007	2020	2030	2050
m² installés par habitant	0,0	2,5	5,4	9,3

Si le développement du photovoltaïque en toiture se veut progressif sur le long terme en suivant la rénovation des bâtiments dans la logique négaWatt (sobriété, efficacité, production d'énergie renouvelable), le photovoltaïque au sol connaît une évolution plus contrastée, avec plus de 200MW par an pour la prochaine décennie, donc un effort plus soutenu sur les prochaines années.

Tableau II-5: Evolution des surfaces en photovoltaïque sur toiture et au sol en région Provence-Alpes-Côte d'Azur

Surface de PV installée (m²)	2007	2020	2030	2050
Sur toiture	15 000	12 741 000	29 041 000	53 341 000
Au sol	-	16 720 000	25 870 000	36 120 000
Total	15 000	29 461 000	54 911 000	89 461 000

Cela correspond à l'installation annuelle de 1 million de mètres carrés de panneaux photovoltaïques en toiture et 16 millions de mètres carrés de panneaux au sol d'ici 2020. Il s'agit du rythme d'installation observé en région Provence-Alpes-Côte d'Azur en 2011.

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

Tableau II-6: Evolution des surfaces en photovoltaïque au sol en région Provence-Alpes-Côte d'Azur

Surface au sol des centrales PV	2007	2020	2030	2050
Total (ha)	-	5 573	8 623	12 040

Le développement du photovoltaïque au sol devra bien sûr être privilégié sur les espaces artificialisés plutôt que sur les surfaces agricoles. Ceci précisé, ces 12 000 ha de surfaces au sol mobilisées en 2050 pour le photovoltaïque sont à comparer aux 12 000 ha environ de terres agricoles artificialisées chaque année en Provence-Alpes-Côtes d'Azur – la priorité pour la préservation des terres agricoles n'est donc pas de brider tout développement de la filière photovoltaïque au sol, mais bien de lutter contre l'artificialisation des terres liés principalement, en Provence-Alpes-Côte d'Azur, à l'étalement urbain (maisons individuelles, zones commerciales et industrielles, équipements de sport et de loisir, et infrastructures de transport associées).

Tableau II-7: Evolution du nombre de logements équipés en photovoltaïque en région Provence-Alpes-Côte d'Azur

Nombre de logements équivalents équipés en PV				
	2007	2020	2030	2050
Individuel	194	164 784	375 597	689 877
Collectif	170	143 973	328 163	602 753
Total	364	308 757	703 760	1 292 630

En logements équivalents équipés, les ordres de grandeurs sont de 12 000 logements individuels et 11 000 logements collectifs équipés chaque année. En surface de centrale au sol, cela représente au total environ 5500 ha de parcelles reconverties en production photovoltaïque d'ici 2020, avec un rythme décroissant chutant à moins de 150 ha par an après 2040.

1-4 Solaire thermique

Pour le solaire thermique, les hypothèses décrites conduisent à une contribution en 2050 de 2,9 TWh pour l'ensemble du secteur solaire thermique, soit 11,7 % des besoins de chaleur des secteurs résidentiel, tertiaire et industrie.

Les graphiques suivants présentent la synthèse des résultats, pour les différents secteurs.

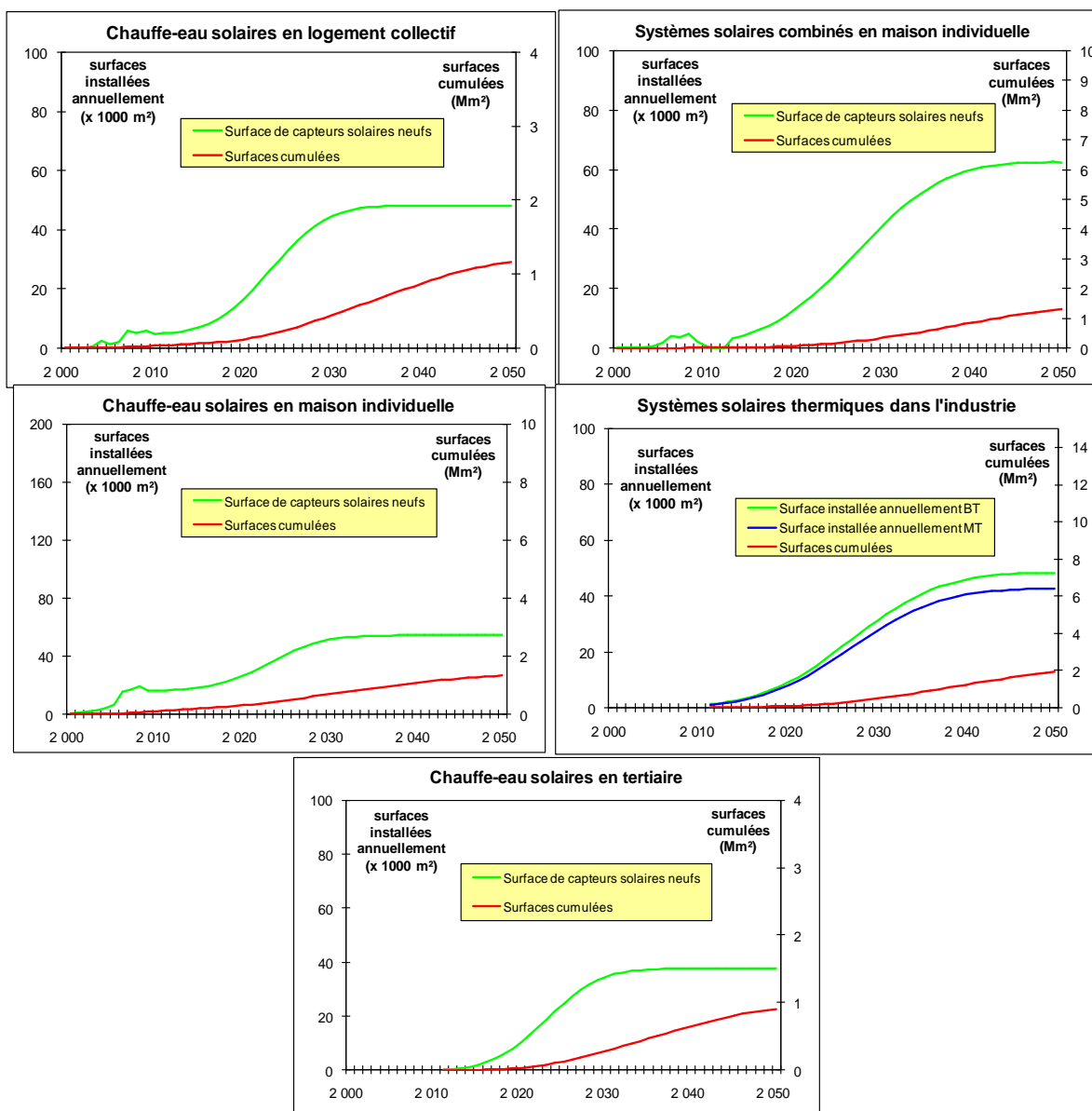


Figure II-4: Evolution des surfaces de capteurs solaires thermiques installés pour les différents usages en Provence-Alpes Côte d'Azur

Ces résultats montrent que le solaire thermique a une place significative dans différents secteurs, y compris l'industrie et le secteur tertiaire.

Les graphes suivants présentent ces résultats en surfaces et en énergie finale.

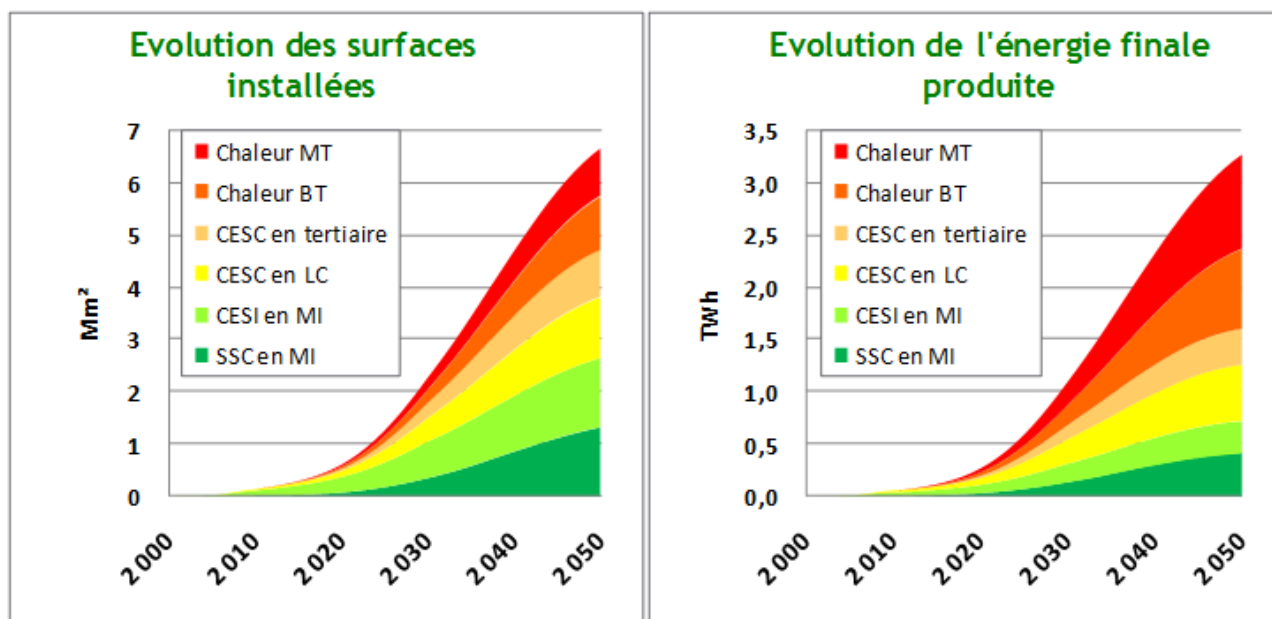


Figure II-5: Evolution des surfaces de capteurs solaires thermiques installés et de l'énergie produite en Provence-Alpes Côte d'Azur⁶

Pour illustrer les efforts à fournir, le tableau ci-dessous résume les principaux indicateurs de surfaces et de ratios par secteur pour le solaire thermique d'ici 2050. Ils permettent de vérifier notamment que les hypothèses de taux d'équipement et de surfaces unitaires effectuées conduisent à des taux d'occupation des toitures disponibles acceptables.

Tableau II-8: Evolution des surfaces en solaire thermique et des ratios d'équipement en Région Provence-Alpes-Côte d'Azur

Indicateurs solaire thermique	Unité	2007	2020	2030	2050
Surface totale de capteurs installés	x 1000 m²	72	608	2259	6638
dont surface pour l'industrie		0	80	472	1915
dont surface pour le tertiaire		0	37	288	905
dont surface pour les logements collectifs		13	115	447	1163
dont surface pour les logements individuels (chauffage et ECS)		60	376	1052	2655
Nombre d'équivalents logements équipés ECS (individuel, collectif et tertiaire)	x1000	19	175	719	2176
Nombre de maisons individuelles équipées en chauffage solaire thermique		1	9	43	165
Surface de panneaux par habitant	m²/h	0,0	0,1	0,4	1,2
Proportion de la surface de toiture correspondante pour le logement	%	0,1%	0,5%	1,4%	3,5%

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

1-5 Récupération de chaleur en géothermie de surface ou sur eaux usées

Cette section concerne la géothermie sur sol, la géothermie sur nappe, la thalassothermie et la récupération de chaleur en station d'épuration, sur collecteur d'assainissement et en sortie d'immeuble.

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

⁶ SSC : Systèmes Solaires Combinés, CESI : Chauffe-Eau Solaires Individuels, CESC : Chauffe-Eau Solaires Collectifs, MT : Moyenne Température, BT : Basse Température.

Tableau II-9: Evolution de la puissance installée et de la production annuelle des pompes à chaleur en région Provence-Alpes-Côte d'Azur

	2007	2020	2030	2050
Puissance installée totale (MW)	41	242	692	993
PAC sur nappe	17	48	266	496
PAC sur sol	24	133	204	224
PAC thalassothermie	0	11	21	21
Step	0	40	160	200
Collecteur assainissement	0	4	16	20
Sortie immeuble	0	6	26	32
Production annuelle (GWh)	57	360	1 328	2 244
PAC sur nappe	23	70	523	1 147
PAC sur sol	34	195	333	385
PAC thalassothermie (chaleur)	0	22	48	48
échangeur thalassothermie (clim)	0	2	4	4
Step	0	64	382	600
Collecteur assainissement	0	6	38	60
Sortie immeuble	0	10	62	97

STEP : Stations d'Épuration ; PAC : Pompes A Chaleur

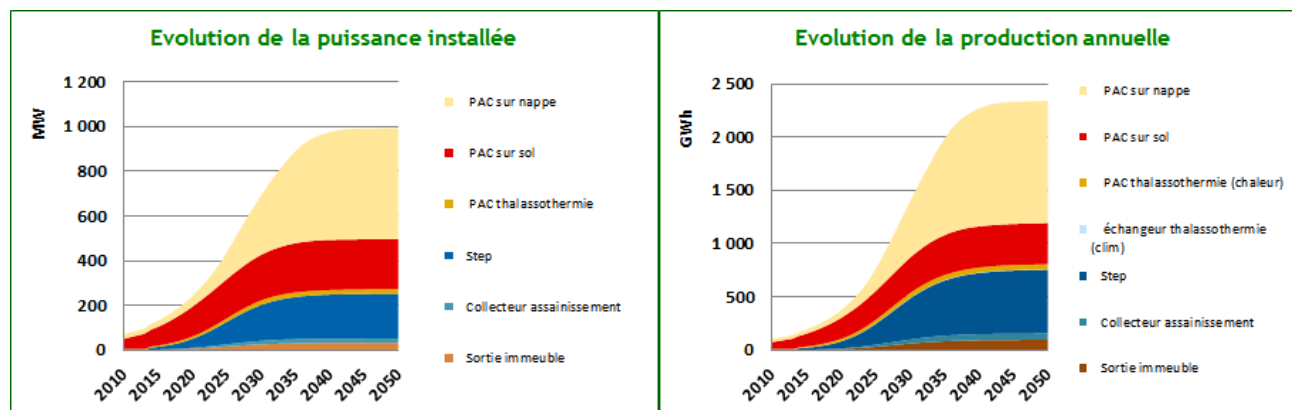


Figure II-6: Evolution de la puissance installée et de la production annuelle des pompes à chaleur en région Provence-Alpes-Côte d'Azur

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

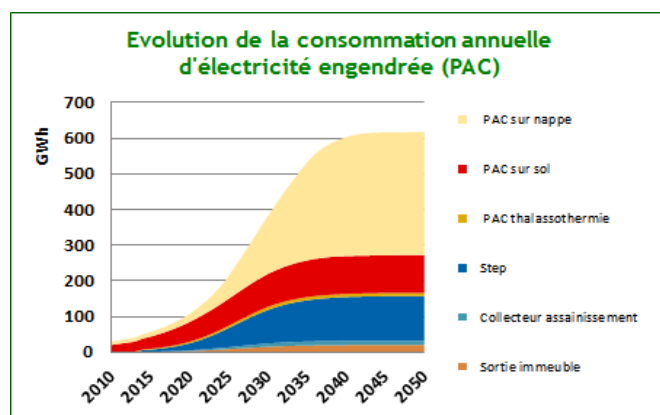


Figure II-7: Evolution de la consommation annuelle d'électricité imputable aux pompes à chaleur en Région Provence-Alpes-Côte d'Azur

Pour illustrer davantage, ces résultats ont été traduits en nombre d'installations et en surface de bâtiments concernés, pour la thalassothermie.

Tableau II-10: Autres indicateurs de résultats pour la thalassothermie

Thalassothermie	2007	2020	2030	2050
Nombre d'installations	-	5	10	10
M ² de bâtiments	-	135 000	260 000	260 000

1-6 Synthèse des scénarios pour la production d'énergies renouvelables hors biomasse

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

Tableau II-11: Synthèse des productions d'énergie renouvelable hors biomasse

Production annuelle en TWh	2007	2020	2030	2050
Hydraulique	8,9	9,2	9,6	9,6
Eolien	0,1	1,6	4,5	19,0
Photovoltaïque	0,0	3,9	7,1	11,5
Solaire thermique	0,0	0,3	1,0	2,9
Récupération de chaleur	0,1	0,3	0,9	1,6
TOTAL	9,0	15,2	23,1	44,6

On constate donc qu'en utilisant l'ensemble des potentiels mobilisables des différentes énergies renouvelables (hors biomasse), on multiplie par 5 la production annuelle par rapport à 2007 pour atteindre 45 TWh en 2050.

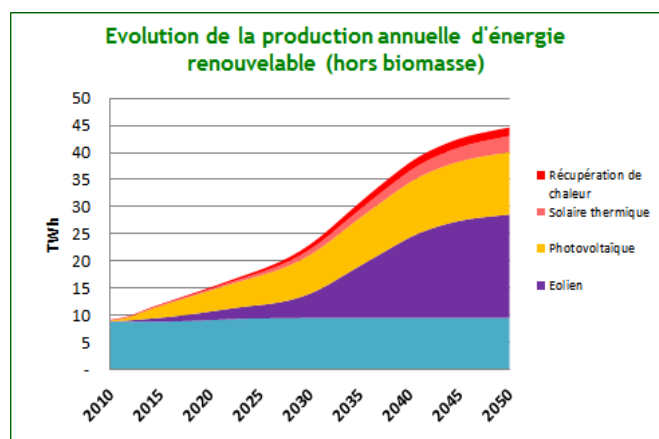


Figure II-8: Bilan de l'évolution de la production annuelle régionale des énergies renouvelables hors biomasse

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

On voit ainsi qu'à la production 2007, essentiellement hydraulique, s'ajoutent une forte progression de l'éolien et du photovoltaïque, ainsi que la récupération de chaleur (PAC) dans une moindre mesure.

En 2050, l'éolien devient la filière majoritaire dans la production d'énergie renouvelable régionale avec 19 TWh produits chaque année.

2- Production issue de la biomasse-énergie

La biomasse-énergie en Provence-Alpes-Côte d'Azur est basée principalement sur le bois et les matières qui en dérivent, ainsi que sur le biogaz. Ces potentiels sont synthétisés ici.

2-1 La biomasse solide⁷

Potentiels liés à la biomasse solide

5 TWh de bois sont actuellement mobilisée sur la région. Suivant les hypothèses qui ont été présentées, la ressource totale mobilisable en bois énergie peut être évaluée ainsi :

- entre 3 et 5 TWh de plaquette forestière en lien avec l'augmentation de la production de bois d'œuvre
- environ 2 TWh de produits connexes de scierie
- entre 3 et 5 TWh de déchets issus du bois de toute nature et origine
- environ 0,4 TWh issu des espaces arborés non forestiers

Soit un total de 13 à 17 TWh mobilisables. Dans une approche conservative, nous avons adopté une valeur basse de 13 TWh de bois et matières dérivées du bois utilisable pour l'énergie. C'est un potentiel très important, et une ressource énergétique remarquable pour la région.

Le tableau ci-dessous synthétise ces résultats.

Tableau II-12: Potentiel de bois-énergie en région Provence-Alpes-Côte d'Azur

⁷ Rappelons que le terme de « biomasse solide » comprend l'ensemble des produits dérivés du bois, y compris la part « papier carton » des déchets urbains et industriels, les liqueurs noires de papeteries, les emballages, palettes, bois de rebut et de déconstruction, les connexes de scieries, les déchets de bois des industries de seconde transformation, etc.

	TWh
Consommation actuelle	5
Ressource forestière supplémentaire	3 à 5
Produits connexes de scierie	2
Déchets issus du bois*	3 à 5
Espaces arborés non forestiers **	0,4
TOTAL	13 à 17
Δ croissante moyenne annuelle 2012-2030	+ 200 GWh / an

* liqueurs noires, boues papeteries, déchets 2^{nde} transformation, bois de rebut de toutes catégories, papiers cartons usagés, bois de démolition et BTP, fraction bois et papiers cartons des OM et DIB

** arbres urbains, alignements, jardins et espaces verts, agroforesterie, vignes, vergers

Evolution de l'utilisation de la biomasse solide et scénarios d'équipements

La consommation de biomasse solide passe de 5 TWh actuellement, très majoritairement pour le chauffage de l'habitat individuel, à 13 TWh en 2030 et 21 TWh en 2050.

Cette consommation est assurée majoritairement par la production locale, qui atteint progressivement 13 TWh en 2050, complétée par des importations qui atteignent 3 TWh en 2030 puis 8 TWh en 2050.

L'utilisation de ces ressources en tant que combustible double rapidement d'ici 2030 puisqu'elle atteint 9 TWh. Elle se stabilise ensuite. Cette augmentation concerne essentiellement le secteur industriel, qui consommerait 4 TWh de combustible dès 2030. Dans l'habitat et le tertiaire, la consommation se stabiliserait au-dessous de 5 TWh dans la décennie 2020-2030, avant de diminuer à moins de 3,5 TWh en 2050.

L'utilisation de biomasse solide pour la production d'électricité et de chaleur se développe de manière progressive, mais ne dépasse 1 TWh qu'après 2040.

La plus forte progression porte sur la conversion de biomasse solide en biométhane. Cette filière apparaît au milieu des années 2020. Elle mobilise 3 TWh en 2030 et 9 TWh en 2050.

Le tableau ci-dessous résume les principales données (les chiffres sont tous arrondis au TWh près).

Tableau II-13: Evolutions des usages de la biomasse solide en région Provence-Alpes-Côte d'Azur

TWh PCs	2010	2030	2050
Combustible habitat et tertiaire	4	5	3,5
Combustible industrie	1	4	5
Conversion biométhane	0	3	9
Cogénération	-	1	1

A partir de durées de fonctionnement au régime nominal, on en déduit les puissances installées, en MW PCs. Il s'agit bien entendu de données indicatives en ordre de grandeur, d'autant que ces durées de fonctionnement sont susceptibles de varier dans le temps, notamment pour le chauffage des bâtiments.

Tableau II-14: Evolutions des durées de fonctionnement par usage

	Heures par an	2010	2030	2050

Combustible habitat et tertiaire	2 000	1 800	2 400	1 700
Combustible industrie	6 000	200	700	800
Conversion biométhane	7 500	0	400	1 200
Cogénération	6 000	100	150	200

Malgré une progression relativement modeste en énergie, l'usage thermique dans le **bâtiment** progresse significativement puisque la croissance est de 600 MW en 20 ans. Passé 2030, la diminution des consommations pour le chauffage contribue à réduire la demande en combustibles solides.

700 MW supplémentaires par rapport à la situation actuelle en 20 ans équivaut à 30 MW de capacité installée annuellement. La puissance unitaire est très variable, puisque ces usages s'échelonnent entre du chauffage individuel de quelques kW à des réseaux de chaleur urbains de plusieurs dizaines de MW thermiques.

En admettant que le chauffage dans l'habitat individuel se stabilise au niveau actuel – ce qui signifie une augmentation du nombre d'utilisateurs pour compenser la diminution de la consommation unitaire – l'essentiel de l'effort porterait sur les chaufferies collectives, avec et sans réseaux de chaleur.

Le nombre d'installations à réaliser dépendra de la répartition du parc selon la puissance. Pour l'année 2030, le tableau ci-dessous donne plusieurs scénarios possibles.

Tableau II-15: Nombre d'installations de production d'énergie à partir de biomasse solide en région Provence-Alpes-Côte d'Azur suivant différents scénarios de puissance

Catégorie de puissance MW PCs	Sc n°1	Sc n°2	Sc n°3	Sc n°4
0,5	260	160	80	40
2	60	40	30	20
20	15	17	15	12
50	1	2	4	6
Total (nombre installations)	336	219	129	78
Total (MW)	600	600	600	600

La même puissance cumulée de 600 MW peut être obtenue soit en multipliant les installations de faible puissance, soit en misant plutôt sur les installations de forte puissance. Les installations de forte puissance sont nécessairement destinées à alimenter des réseaux de chaleur dans les grandes agglomérations de la région.

Dans le même temps, la puissance installée dans **l'industrie** augmente de 500 MW. Le même « mix » de parc de chaufferies peut être envisagé. Toutefois la consommation dans le secteur de l'industrie est beaucoup plus concentrée que dans le bâtiment. La biomasse solide fournirait respectivement 22 % en 2030 et 33% en 2050 de la totalité des combustibles utilisés dans le secteur industriel.

La **cogénération** ne porterait que sur 200 MW de puissance installée totale à l'horizon 2050, soit environ 60 MW électriques compte tenu des rendements de conversion. Cette puissance est largement dépassée avec la centrale de Gardanne, si celle-ci est effectivement construite. Ces 200 MW de puissance installée génèrent de l'énergie thermique à valoriser, soit dans l'industrie soit sur réseaux de chaleur urbains, en complément des chaufferies biomasse.

Le troisième volet porte sur la production de **méthane**. La puissance totale de 400 MW en 2030 – toujours exprimée en énergie primaire, soit environ 250 MW en production de méthane – correspond globalement à la puissance mobilisée pour le projet de la centrale électrique de Gardanne. D'où l'intérêt d'envisager de réorienter le projet vers la production de méthane plutôt que d'en rester à une production d'électricité à faible rendement global.

Pour l'horizon 2050, ce seraient 2 unités supplémentaires de ce type qui pourraient être envisagées. Des installations de plus faible puissance – de l'ordre de 30 MW de biomasse primaire – sont également envisageables. Les 800 MW à réaliser entre 2030 et 2050 peuvent être réparties entre des usines de gazéification de taille variable, adaptées aux bassins d'approvisionnement locaux.

Remarque importante : Le projet de passage au bois de la centrale thermique de Gardanne correspond à une puissance de 150 MW électrique, soit 500 à 600 MW PCI. Le projet de Gardanne, seul, suffirait donc à atteindre les objectifs 2030 en biomasse solide en énergie primaire sur l'ensemble de la région, mais seulement :

- si l'approvisionnement était régional (correspondance entre les ressources et la consommation)
- si elle la centrale était en cogénération (réduction des pertes entre primaire et final)

En l'état, sans cogénération, il faut l'équivalent de 4 Gardanne. Dans le projet actuel sans cogénération, **plus des deux tiers de la biomasse consommées sert à produire de la chaleur gaspillée, car non valorisée.**

2-2 Le biogaz

Potentiel biogaz

Les ressources totales en biogaz sont les suivantes :

- Déjections d'élevage : 0,2 TWh
- Résidus de culture : 0,2 TWh
- Cultures intermédiaires : 0,3 TWh
- Biogaz ex-prairies : 0,8TWh
- Déchets alimentaires et agro-alimentaires : 0,7 TWh

La ressource totale en biogaz produit au niveau régional s'élève à 2,2 TWh à l'horizon 2050.

Par ailleurs, l'importation de biogaz s'élève à 5,7 TWh en 2030 et 8,8 en 2050 – la région est fortement déficitaire en biogaz.

Le tableau ci-dessous synthétise ces résultats.

Tableau II-16: Potentiel de biogaz en région Provence-Alpes-Côte d'Azur

	Base potentiel	TWh
Consommation actuelle		
Déjections d'élevage	# 200.000 t MS	0,2
Résidus de culture	# 200.000 t MS	0,2
Cultures intercalaires	# 100.000 t MS (180.000 ha de terres arables)	0,3
Biogaz ex-prairies	55.000 ha dédiés	0,8
Déchets alimentaires et agroalimentaires		0,7
TOTAL		2,2
Valeur retenue		
Horizon 2050		2,2
Horizon 2030		0,8
Δ croissante moyenne annuelle		+ 45 GWh / an

Evolution de l'utilisation du biogaz et scénarios d'équipements

La région Provence-Alpes-Côte d'Azur importera une grande partie de sa consommation de gaz renouvelable via les réseaux existants de gaz naturel. Côté consommation, le biométhane remplace progressivement le gaz naturel, aucune infrastructure particulière n'est à prévoir et la transition peut s'effectuer de manière parfaitement progressive.

Les enjeux concernant le biométhane portent essentiellement sur la production locale. Le potentiel régional de production est estimé à 1,2 TWh PCs primaire en 2030 et 2,6 TWh PCs primaire en 2050. La majeure partie de cette production doit pouvoir être injectée sur le réseau public de gaz, en distribution ou en transport. Les usages locaux en autoconsommation sont réservés aux territoires éloignés du réseau gaz.

Une production de 1,2 TWh PCs correspond à une puissance de l'ordre de 160 MW PCs. La puissance des installations de méthanisation actuellement varie entre 0,4 MW PCs (installations agricoles « à la ferme ») et 8 MW PCs (installations collectives territoriales). Le seuil de faisabilité de l'injection de biométhane aujourd'hui est de 1 MW PCs.

L'équivalence en puissance électrique est obtenue en multipliant la puissance PCS par le facteur 0,4.

L'objectif 2030 peut être atteint en réalisant soit un grand nombre de petites installations agricoles, soit 2 à 3 par département et par an pendant 20 ans, soit avec une centaine d'installations de taille plus importante en moyenne, comme le montre le tableau suivant.

Tableau II-17: Nombre d'installations de production d'énergie à partir de biogaz en région Provence-Alpes-Côte d'Azur suivant différents scénarios de puissance

Catégorie de puissance (MW PCs)	Sc n°1	Sc n°2	Sc n°3	Sc n°4
0,4	250	190	50	25
1	40	50	33	35
2,5	10	10	30	30
8		1	4	5
Total (nombre)	300	251	117	95
Total (MW PCs)	165	159	160	160

Les projets de taille importante – supérieure à 2,5 MW PCs – sont des projets territoriaux qui associent des matières agricoles, des déchets agroalimentaires, des biodéchets urbains (biodéchets de restauration et de la distribution). Cette catégorie comprend également les usines de méthanisation de déchets ménagers, ainsi que les centres d'enfouissement techniques, pour simplifier.

2-3 Autres ressources biomasse

On considère que les autres ressources potentielles en biomasse sont marginales en Provence-Alpes-Côte d'Azur, notamment la biomasse liquide.

2-4 Synthèse de la production de biomasse-énergie

Le graphique suivant présente la production de la biomasse-énergie régionale (TWh PCI, énergie primaire).

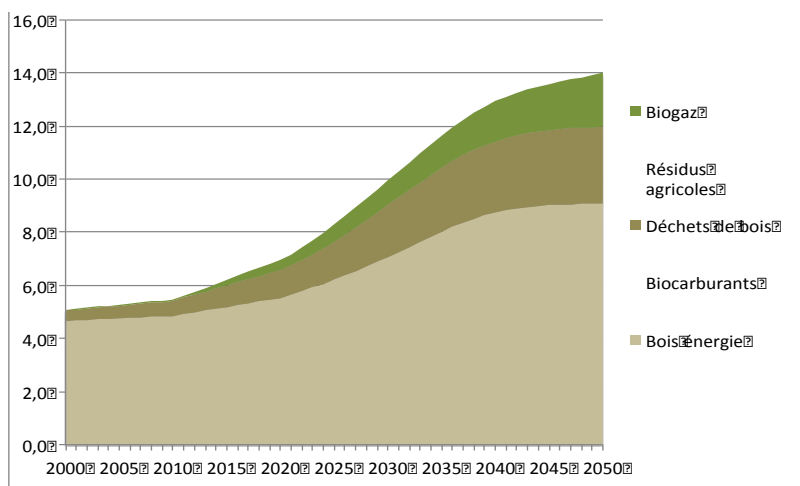


Figure II-9: Bilan de la production de biomasse-énergie régionale (TWh PCI, énergie primaire)

La région étant moins fournie que la moyenne française en biomasse, la quantité produite régionalement ne suffit pas à couvrir les besoins régionaux, en particulier pour les usages de gaz renouvelable utilisé notamment pour les transports ; la région est donc importatrice de biomasse énergie. Le graphe suivant quantifie ces importations régionales, provenant d'autres régions françaises, dans un scénario négaWatt.

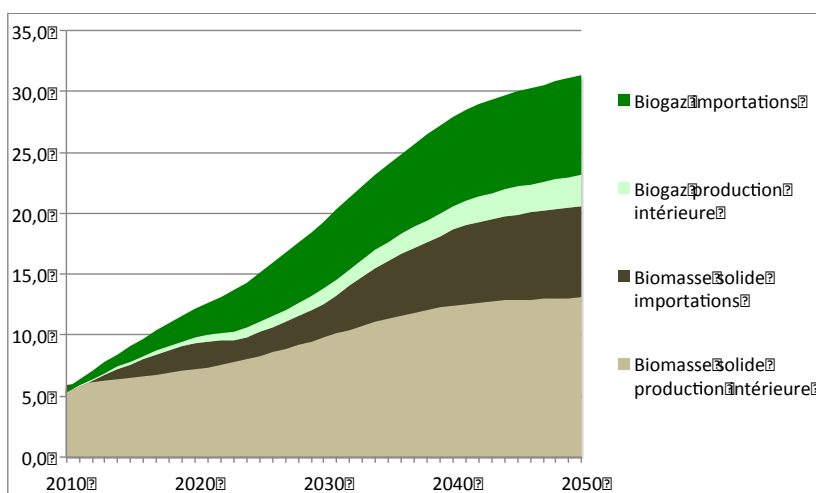


Figure II-10: Bilan de la consommation primaire de biomasse-énergie en Provence-Alpes-Côte d'Azur (TWh PCS)

Notons également que la région est exportatrice d'électricité renouvelable (en 2050, à hauteur de 8 TWh). En bilan global, la région consomme 32 TWh d'énergie renouvelable issue de la biomasse, et 36,6 TWh d'énergie renouvelable hors biomasse en 2050 ; la biomasse couvre donc plus de 45% des consommations régionales d'énergie renouvelable.

III- Synthèse des résultats

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

1- Synthèse en énergie finale

Dans le scénario tendanciel, la consommation d'énergie finale par habitant se stabilise à l'horizon 2050. La consommation suit donc globalement l'évolution de la population régionale.

Dans le scénario négaWatt, les actions en sobriété et efficacité permettent une forte baisse des consommations en énergie finale (environ 60%). Rappelons que cette baisse des *consommations d'énergie finale* ne signifie pas une baisse des *services énergétiques rendus*. Pour ne prendre qu'un exemple, un bâtiment bien isolé consommera à la fois beaucoup moins d'énergie et sera beaucoup plus confortable.

Ces réductions de consommations d'énergie finale sont de l'ordre de 50 TWh en 2050 pour la sobriété, et du même ordre pour l'efficacité, pour une consommation en 2010 de près de 150 TWh. Ces gains sont différents en fonction des secteurs (voir détails plus bas).

Les graphiques et tableaux ci-dessous synthétisent ces résultats.

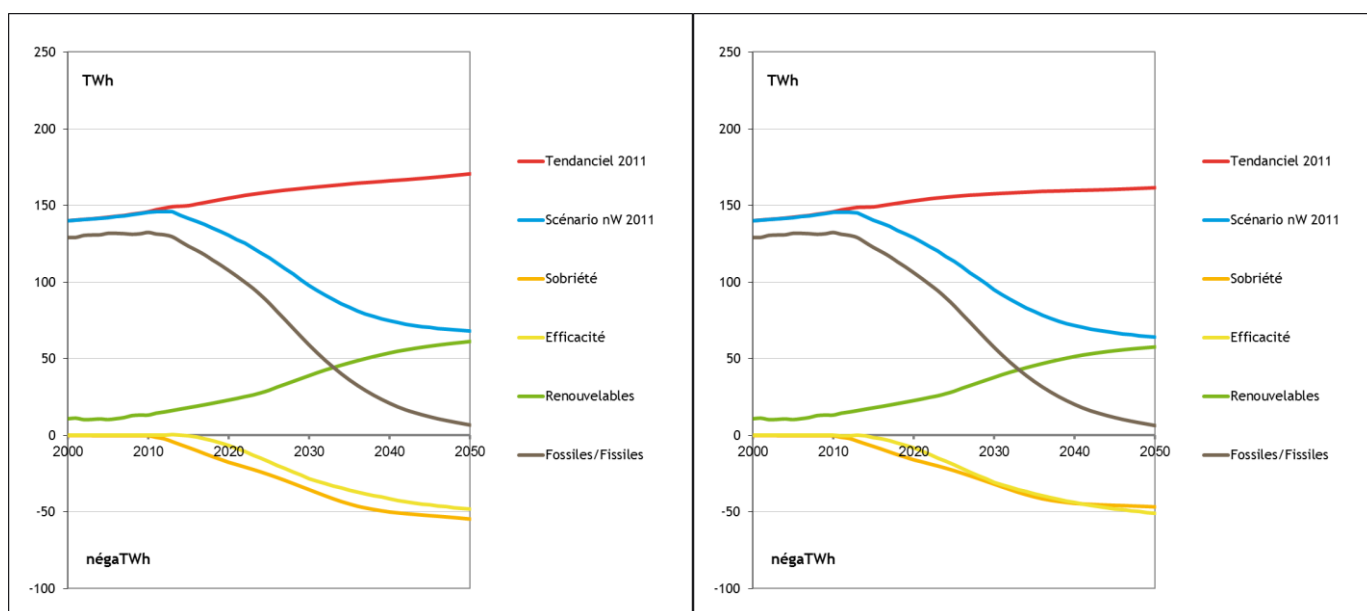


Figure III-1: Synthèse des consommations d'énergie finale en région Provence-Alpes-Côte d'Azur, en hypothèse démographique basse (à droite) et haute (à gauche), en fonction des scénarios

Tableau III-1: Synthèse des consommations d'énergie finale en région Provence-Alpes-Côte d'Azur

Consommations totales d'énergie finale (TWh)		Evolutions de consommations						
Scénario	Hypothèse de population	2007	2020	2030	2050	2007-2020	2007-2030	2007-2050
négaWatt	Haute	140	127	93	59	-8%	-33%	-57%
	Basse	140	125	90	56	-10%	-35%	-60%
Tendanciel	Haute	140	151	157	166	9%	13%	19%
	Basse	140	150	154	157	8%	11%	13%

2- Synthèse par secteur

Le graphique suivant présente les évolutions de consommations d'énergie finale par secteur, ainsi que la contribution des actions de sobriété et d'efficacité sur l'offre et la demande par rapport au scénario tendanciel. L'efficacité sur la

demande porte sur les appareillages consommateurs d'énergie (véhicules, électroménager, éclairage, bureautique, process industriels de fabrication, ...), alors que l'efficacité sur l'offre porte sur les unités de production d'énergie.

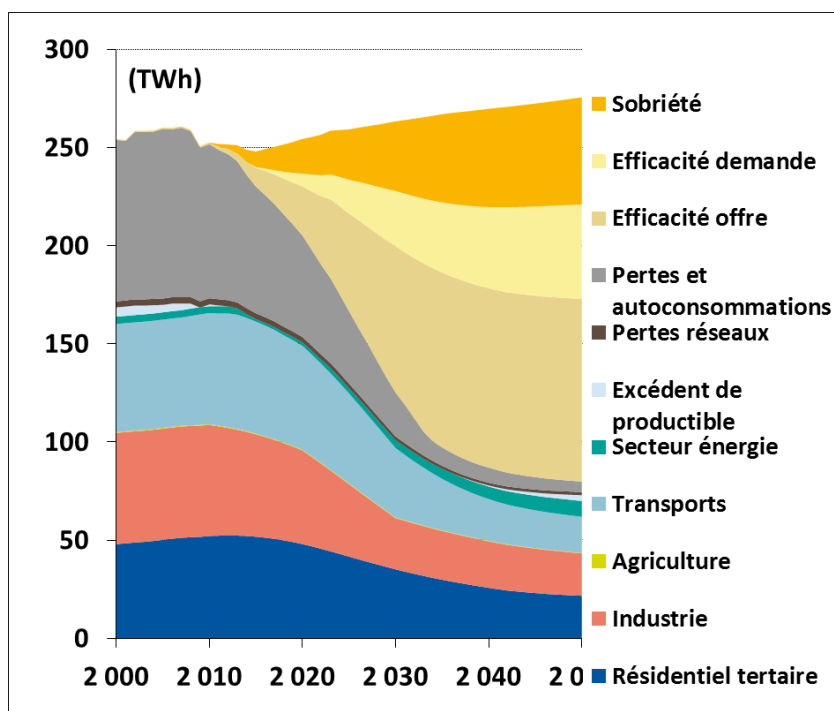


Figure III-2: Synthèse des consommations d'énergie par secteur en région Provence-Alpes-Côte d'Azur, en hypothèse démographique haute

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

3- Synthèse par usage énergétique

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

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

Pour la mobilité, c'est par contre la sobriété qui représente la plus grande part des économies d'énergie par rapport au tendanciel (maîtrise du nombre de km parcourus notamment). C'est l'usage le plus problématique en terme de couverture des besoins par les énergies renouvelables, avec un talon d'énergie fossile encore présent en 2050.

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

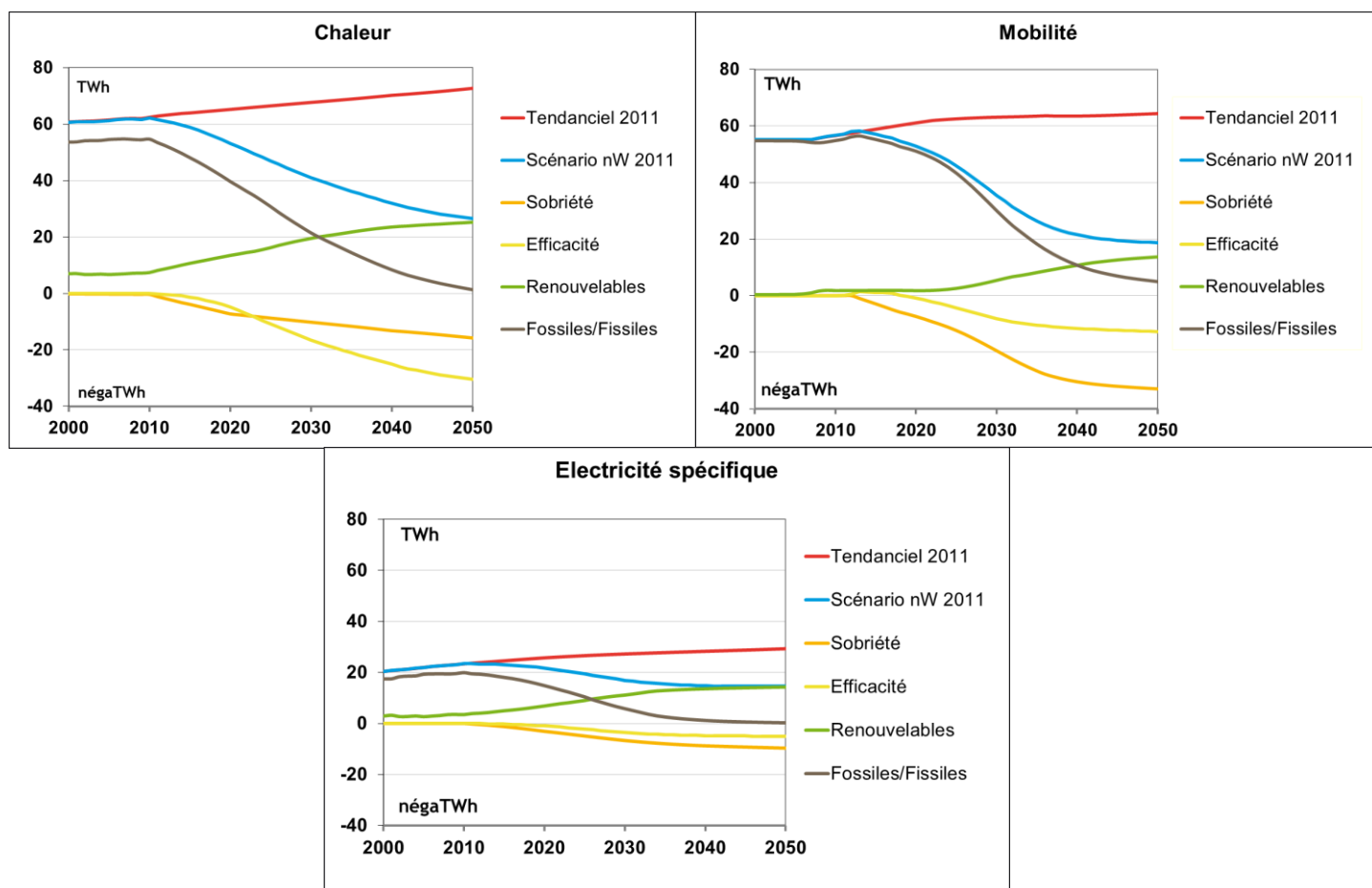


Figure III-3: Synthèse des consommations d'énergie finale par usage en région Provence-Alpes-Côte d'Azur (hypothèse démographique haute)

4- Synthèse en énergie primaire

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

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

Dans le scénario négaWatt, la production d'énergie renouvelable est beaucoup plus volontariste (surtout visible après 2020 par rapport au tendanciel), mais surtout les actions de sobriété et d'efficacité associées permettent une sortie du nucléaire en 2033 et une forte réduction des consommations de pétrole, de gaz et de charbon. Le talon de charbon restant est utilisé dans l'industrie (sidérurgie), et le talon de pétrole et de gaz principalement dans les transports (kérosène pour les avions, gasoil et essence pour les véhicules individuels en zones rurales notamment).

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

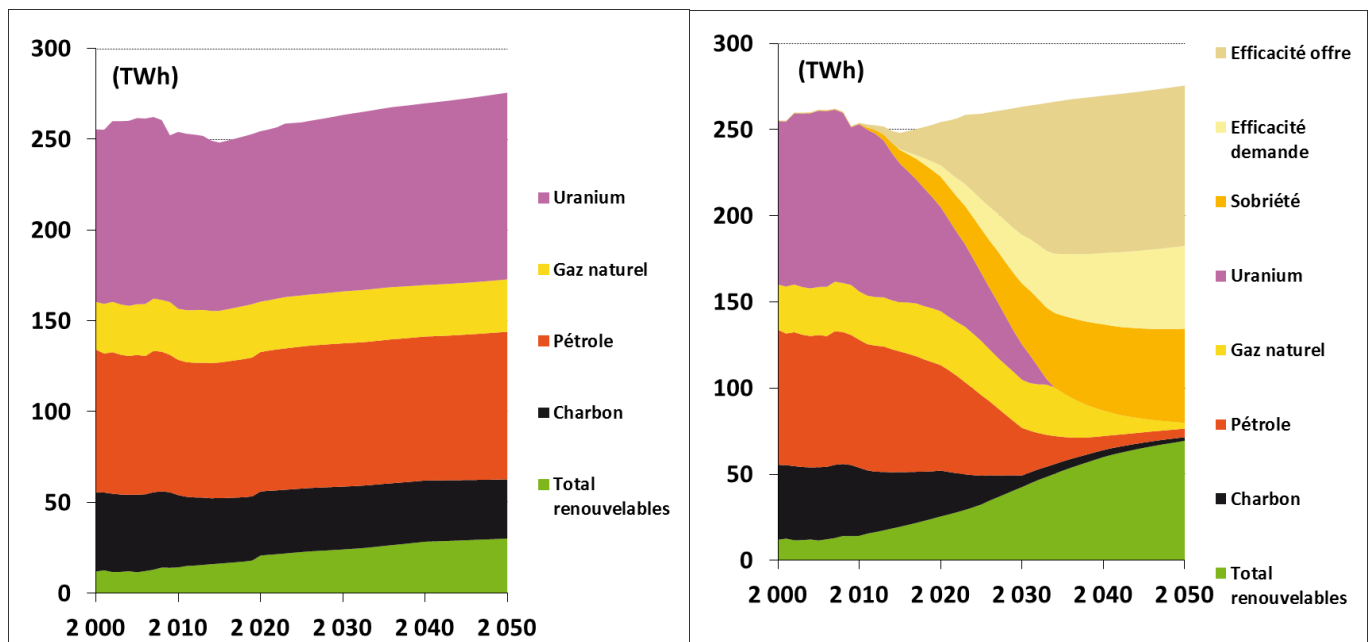


Figure III-4: Synthèse des consommations d'énergie primaire dans les scénarios tendanciel (à gauche) et négaWatt (à droite) en région Provence-Alpes-Côte d'Azur (hypothèse démographique haute)

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

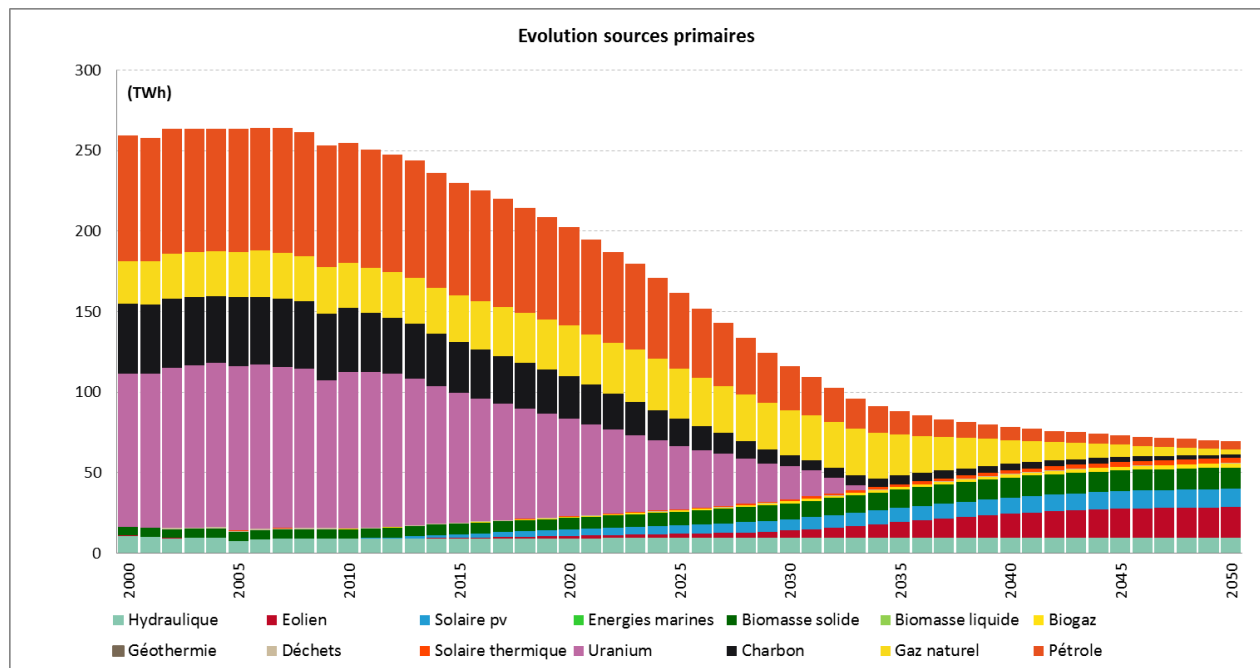
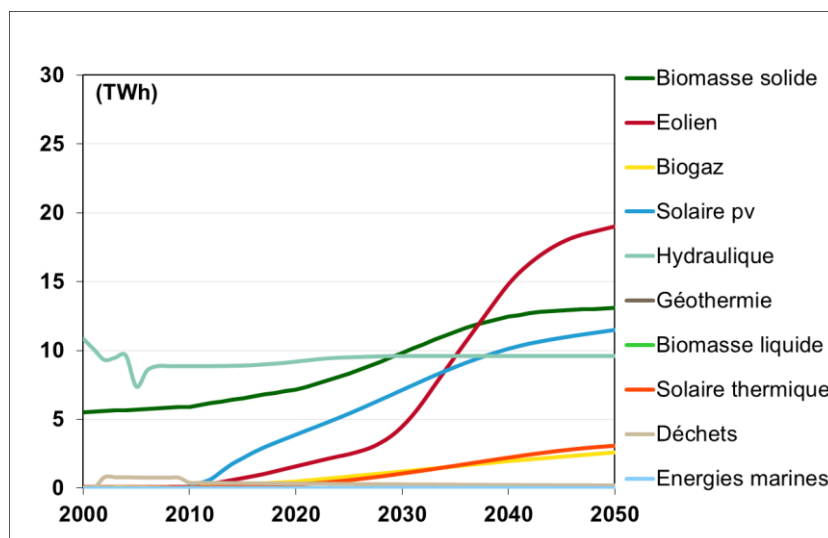


Figure III-5: Evolution des consommations d'énergie primaire en région Provence-Alpes-Côte d'Azur, par source d'énergie, dans le scénario négaWatt (hypothèse démographique haute)

5- Synthèse de la production d'énergie

Les évolutions de production énergies renouvelables au niveau régional dans le scénario négaWatt sont détaillées ci-dessous. Ce graphique confirme l'importance de l'éolien, de la biomasse solide et du solaire photovoltaïque comme



sources de production d'énergie renouvelable dominantes pour la région.

Figure III-6: Synthèse des productions d'énergie renouvelable dans le scénario négaWatt en région Provence-Alpes-Côte d'Azur

Au niveau des énergies non renouvelables consommées au niveau régional, le nucléaire, le pétrole et le charbon subissent une baisse forte et continue⁸, alors que la consommation de gaz fossile a un profil en plateau jusqu'à 2035, et baisse ensuite fortement. Comme pour le scénario national, le vecteur gaz est considéré ici comme un important vecteur de la transition énergétique, en particulier sur la période 2015-2035, le temps que les réductions de consommations et la montée en puissance du gaz renouvelable prennent le relais. Que le vecteur gaz fossile soit un vecteur de transition ne veut cependant pas dire que l'on augmente sa consommation – qui reste maîtrisée, et demeure en tout état de cause inférieure à la consommation du scénario tendanciel.

⁸ Rappelons que la région ne compte aucune unité de production d'électricité d'origine nucléaire ; la présence de l'énergie nucléaire dans ces graphiques vient de l'application du mix énergétique sur la consommation d'électricité régionale.

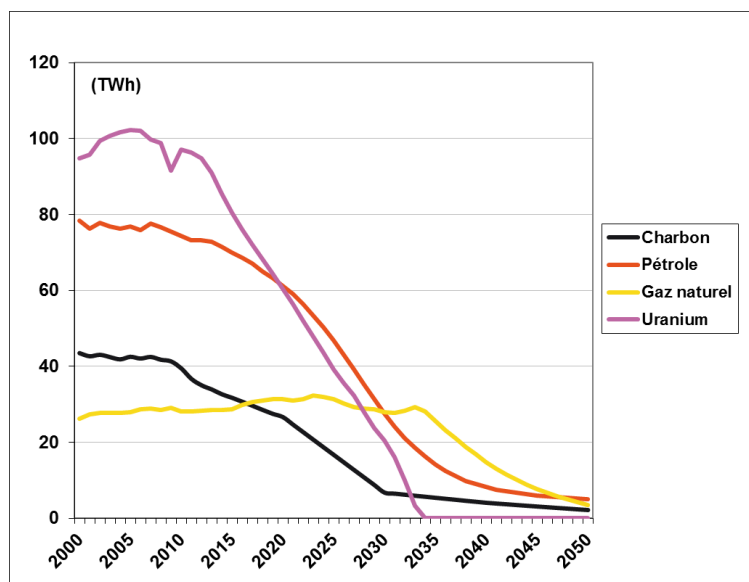


Figure III-7: Evolution de la consommation d'énergies non renouvelables consommées en région Provence-Alpes-Côte d'Azur dans le scénario négaWatt (hypothèse démographique haute)

6- Couverture des besoins par les énergies renouvelables

La région Provence-Alpes-Côte d'Azur est bien pourvue en ressources pour produire de l'électricité renouvelable (éolien, photovoltaïque, hydraulique), et beaucoup moins en ressource biomasse (notamment biogaz) par rapport à la moyenne des autres régions françaises.

Cela conduit la région, dans le cadre du scénario négaWatt régionalisé, à être en capacité d'exporter de l'électricité renouvelable, et en nécessité d'importer de l'énergie issue de la biomasse (notamment, à terme, du gaz renouvelable, via le réseau de gaz).

En vision globale, le taux de couverture de la région est de l'ordre de 87% en 2050 (pour mémoire, il est de 91% dans le scénario négaWatt 2011 à l'échelle nationale). Le talon de 13% d'énergie fossile restant se justifie par une part de pétrole (essence et gasoil pour les véhicules en zones rurales, kérosène pour les avions), une part de gaz fossile (production d'électricité et cogénération), et une part de charbon résiduel (sidérurgie). Ce talon peut bien sûr être réduit en fonction de nouvelles solutions envisageables d'ici 2050.

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

Le tableau ci-dessous résume les taux de couverture obtenus dans le scénario négaWatt.

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

	2007	2020	2030	2050
Part de consommation d'énergie renouvelable importée	13%	35%	37%	27%
Part de production d'énergie renouvelable exportée	28%	27%	21%	14%
Pourcentage d'énergie renouvelable dans la consommation totale d'énergie	5%	12%	34%	87%

7- Synthèse des émissions de CO₂

Dans le scénario tendanciel, les émissions de CO₂ du secteur énergétique restent globalement stables, autour de 30 millions de tonnes de CO₂. Dans le scénario négaWatt, la baisse atteint 25% en 2020, et près de 95% en 2050, soit un facteur 17 à 18.

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

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

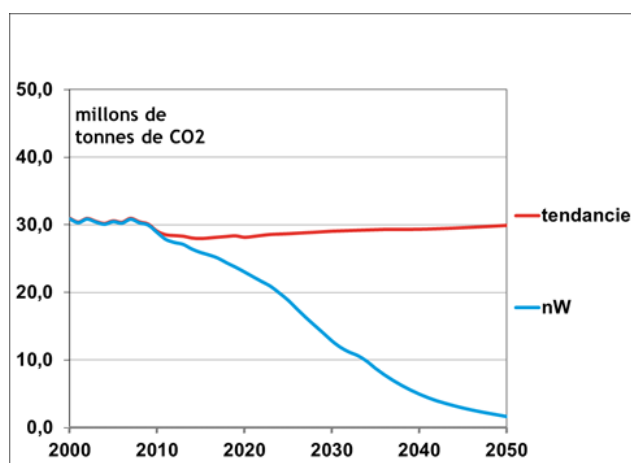


Figure III-8: Evolution des émissions de CO₂ du secteur énergétique (hypothèse démographique haute)

Conclusion

La régionalisation du scénario négaWatt 2011 à la région Provence-Alpes-Côte d'Azur, premier exercice du genre, permet de préciser les priorités et de quantifier les efforts à fournir pour suivre une trajectoire vers un paysage énergétique « 100% renouvelable » au niveau régional.

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

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

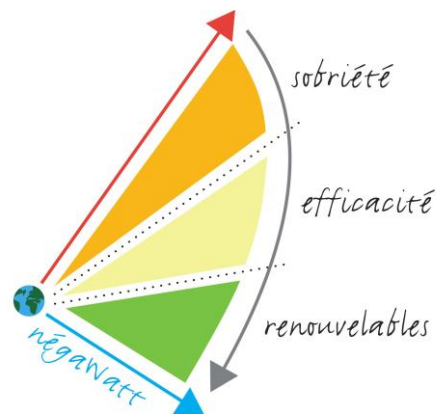
Pour autant, avec l'objectif de réaliser la transition énergétique d'ici à 2050, les actions à mener dans le cadre du scénario négaWatt sont clairement volontaristes et continues sur la période.

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

Les priorités sont également du côté de la production d'énergie renouvelable, avec la nécessité de mobiliser, au niveau régional, le gisement éolien offshore, par des techniques dont la faisabilité technique ne pose pas de problème majeur (prototypes industriels en fonctionnement), mais dont le développement industriel reste à effectuer. La mobilisation de la biomasse solide, qui exige la poursuite et l'accentuation de la structuration des filières, est également très prometteuse en Provence-Alpes-Côte d'Azur. Le solaire photovoltaïque est également promis à un développement fort dans la région, avec une opérationnalité à plus court terme et une dynamique qui peut se dérouler sur plusieurs décennies.

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

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



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

Complément important du scénario, une proposition de plans d'actions à mettre en œuvre par la Région est également proposée dans un rapport associé.

Imprimé sur papier 100% recyclé

