

Analyse et concaténation du volet énergie-climat des SRADDET

Avec le concours financier de la Direction générale de l'énergie et du climat (DGEC)
et de l'institut pour la recherche CDC



**MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉNERGÉTIQUE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*



**Institut pour
la recherche**

Table des matières

| | |
|---|-----------|
| Résumé | 3 |
| Introduction..... | 4 |
| 1. Réduction des émissions de GES | 5 |
| 1.1. Choix méthodologiques..... | 5 |
| 1.1.1. Régions couvertes par l'étude..... | 5 |
| 1.1.2. Adaptations de la trajectoire SNBC | 5 |
| 1.1.3. Extraction des objectifs GES des SRADDET | 6 |
| 1.1.4. Corrections liées à la comptabilité GES..... | 7 |
| 1.1.5. Construction des séries au pas annuel..... | 8 |
| 1.2. Résultat de la concaténation des objectifs de réduction | 8 |
| 1.3. Analyse sectorielle | 11 |
| 1.3.1. Transport..... | 13 |
| 1.3.2. Bâtiment..... | 15 |
| 1.3.3. Agriculture..... | 17 |
| 1.3.4. Industrie manufacturière | 18 |
| 2. Le secteur UTCATF..... | 20 |
| 3. Analyse des trajectoires énergétiques | 23 |
| 3.1. Mise à jour de nos données..... | 23 |
| 3.2. Comparaison avec d'autres scénarios..... | 23 |
| 3.2.1. Scénarios de référence..... | 23 |
| 3.2.2. Consommation d'énergie finale | 24 |
| 3.2.3. Focus sur le rythme et la performance des rénovations de logements | 26 |
| 3.2.4. Vecteur électricité | 28 |
| 3.2.5. Vecteur gaz..... | 33 |
| 4. Recommandations méthodologiques | 36 |
| Conclusion | 38 |
| Annexe 1 : Hypothèses de facteur de charge..... | 39 |

Résumé

La concaténation des trajectoires de réduction d'émissions de GES dans les documents de planification régionaux (SRADDET et SRCAE) du territoire métropolitain semble indiquer un relativement bon alignement avec la 1^{ère} SNBC (facteur 4), mais pas avec la SNBC révisée (neutralité carbone). La révision de la SNBC ayant eu lieu en parallèle de la réalisation des SRADDET, ces derniers ont donc fait le choix de l'une ou l'autre de ces références, ce qui détermine directement leur niveau d'ambition pour 2050. Le jalon 2030 n'ayant pas trop évolué entre les deux SNBC, on a une relativement bonne correspondance SRADDET / SNBC à cette échéance.

Les évolutions sectorielles révèlent des dynamiques contrastées, qui cependant convergent à long terme vers un écart en défaveur des SRADDET, à l'exception de l'agriculture. La comparaison des trajectoires d'émissions de GES, avec celles de consommation finale d'énergie par secteurs révèle là aussi des hypothèses de modélisation très différentes entre régions, et avec la SNBC.

Le système énergétique étant le principal déterminant de l'évolution des émissions de GES, une mise à jour de nos résultats et une comparaison a été effectuée entre la concaténation des SRADDET et différents scénarios de référence récemment publiés. Cette comparaison est riche d'enseignements sur les choix des Régions, explicites ou non, sur le développement des énergies renouvelables et la maîtrise de la demande :

- Un effort à renforcer sur la réduction de la consommation d'énergie, actuellement à -44% par rapport à 2012, au lieu de -50%
- Un travail à affiner sur l'évolution des parts des différents vecteurs énergétique, la vision Régionale étant assez floue et conservatrice dans ce domaine
- Des déterminants de trajectoires insuffisamment caractérisés, sauf pour la rénovation des bâtiments pour le secteur résidentiel, qui indique une ambition de rénovations assez importante en nombre, mais avec des niveaux de performance visés a priori insuffisants
- Un niveau global de production renouvelable électrique insuffisant pour assurer un mix 100% EnR, ce qui pose implicitement la question d'un maintien, voire renouvellement, du nucléaire, ou encore d'un recours aux énergies fossiles difficilement compatible avec les objectifs d'atténuation. A noter que la stratégie nationale ne tranche pas non plus sur ce sujet pour l'instant, au-delà de 2035.
- Dans le domaine de la production électrique, une préférence assez marquée pour le solaire a contrario de l'éolien, et une répartition géographique qui ne respecte pas toujours les potentiels techniques des différentes filières (certaines régions surexploitent leur gisement, et plus souvent le sous-exploitent)
- Une production de gaz renouvelable satisfaisante, excepté pour le power-to-gas, mais un effort de réduction de la demande insuffisant, qui aboutit à un fort déficit de production locale à long terme, posant implicitement la question des importations de gaz

Par ailleurs, l'exercice a permis de mettre à nouveau en exergue plusieurs difficultés méthodologiques liées à l'hétérogénéité des pratiques régionales, et au manque de cadre harmonisé, sur les aspects GES. Des pistes sont donc proposées pour surmonter ces obstacles, et mieux les anticiper lors des prochaines révisions des exercices prospectifs régionaux et nationaux, notamment une référence explicite et partagée pour la trajectoire nationale.

Introduction

Instaurés par la loi NOTRe de 2016, les schémas régionaux d'aménagement, de développement durable et d'égalité des territoires (SRADDET) sont élaborés par chaque région. Ils remplacent les anciens schémas régionaux climat-air-énergie (SRCAE), en les fusionnant avec d'autres exercices régionaux (schémas des infrastructures et des transports, schéma régional de cohérence écologique, etc.).

Le présent rapport s'inscrit à la suite de travaux précédents de l'association négaWatt, de comparaison des trajectoires énergie-climat de ces documents régionaux, avec leur équivalent au niveau national, la stratégie nationale bas-carbone (SNBC) :

- **2018-2019** : [proposition de cadre harmonisé](#) pour les principaux indicateurs et périmètres du volet énergie des SRADDET, avec le soutien de quatre Régions, et création d'un outil de comparaison et concaténation des trajectoires régionales
- **2019-2020** : [collecte de données et application de l'outil et du cadre méthodologique sur les 13 régions métropolitaines](#), avec le soutien de l'ADEME et de l'Institut Caisse des Dépôts pour la Recherche. Cette étape a notamment eu pour objectif de vérifier d'une part la cohérence entre les imports-exports prévus par chaque Région, d'autre part la compatibilité entre la trajectoire obtenue avec l'agrégation de ces SRADDET et les objectifs énergie-climat fixés au niveau national

Nous ajoutons ici une ultime étape à ce travail d'analyse, en étendant l'analyse au volet émissions de gaz à effet de serre (y compris puits de carbone), et venons par ailleurs affiner l'analyse sur le volet énergie, afin de tenir compte de mises à jour des documents régionaux et de nouvelles données régionales.

1.

Réduction des émissions de GES

Dans ce chapitre, l'ensemble des secteurs d'émission GES seront étudiés, à l'exception de celui de « l'utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie » (UTCATF), traité au chapitre suivant.

1.1. Choix méthodologiques

1.1.1. Régions couvertes par l'étude

Tout comme dans notre précédent rapport, la présente étude se focalise sur le territoire métropolitain (13 régions dont Corse), afin de pouvoir analyser l'ensemble des onze régions de métropole continentales tenues de publier un SRADDET, et de pouvoir également se comparer à d'autres documents de planification nationaux ou scénarios prospectifs couvrant, eux, les treize régions métropolitaines.

Cela implique donc d'assimiler le SDRIF¹ d'Ile de France et le PADDuC² de Corse (et leurs SRCAE associés) à des équivalents SRADDET, ce qui ne semble pas hors de propos puisque les thématiques couvertes et les objectifs quantifiés restent globalement les mêmes. Seul le fait que ces deux documents soient plus anciens que les SRADDET peut amener des distorsions dans l'analyse.

Les DROM-COM, soumises quant à elle à l'élaboration de SAR³, ne seront pas étudiées.

1.1.2. Adaptations de la trajectoire SNBC

Afin de comparer à périmètre équivalent la SNBC (et son scénario sous-jacent « Avec Mesures Supplémentaires » - AMS) avec les SRADDET, nous avons effectué quelques corrections afin d'exprimer ce scénario :

- Au périmètre métropolitain seulement (13 régions)
- Au format Plan Climat Air Energie Territorial (PCAET), plus fréquemment employé par les SRADDET, et non « SECTEN »⁴. La principale différence entre les deux est l'affectation des émissions associées aux consommations d'électricité et de chaleur : au niveau des secteurs de consommation finale pour le premier, ou bien au sein d'un secteur « branche énergie » dédiée pour le second.
- Selon la version actualisée du scénario (« AMSO »)

Les trajectoires d'émissions de référence corrigées sont les suivantes :

¹ Schéma directeur pour l'Île-de-France

² Plan d'aménagement et de développement durable de la Corse

³ Schéma d'aménagement régional

⁴ Format utilisé pour le rapport d'inventaire national « SECTeur émetteur et par ENergie » du CITEPA

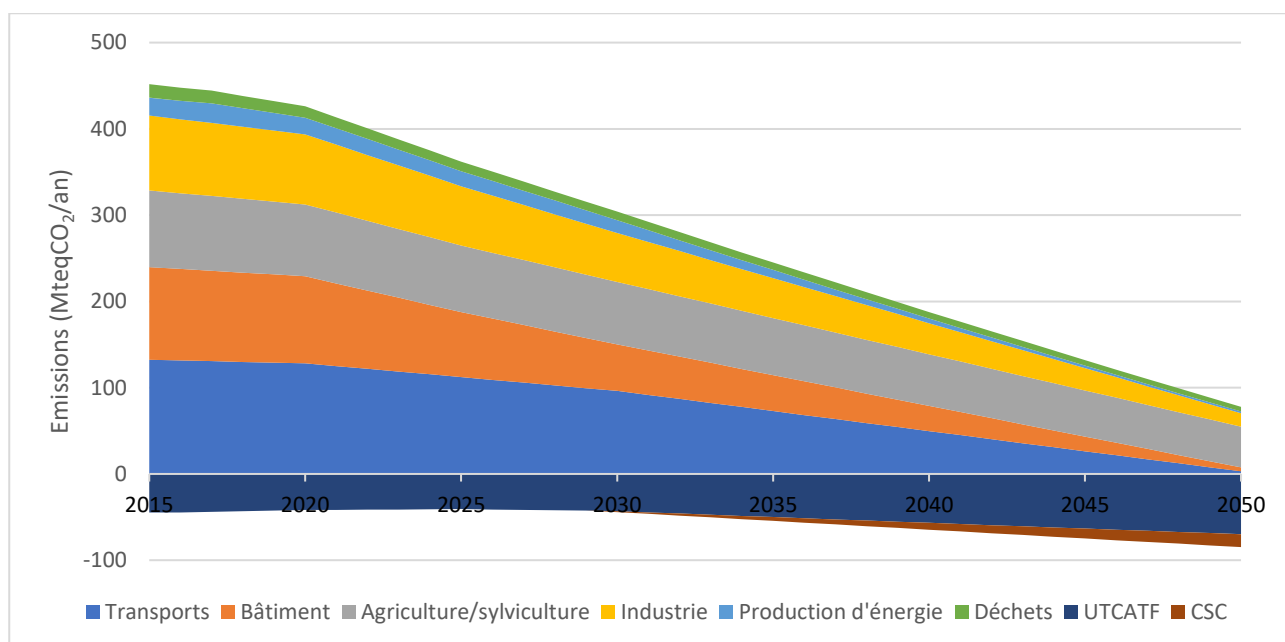


Figure 1 - Trajectoires de référence corrigées (CSC : « capture et séquestration (technologique) du carbone »)

Ces trajectoires corrigées permettent à leur tour d'établir des budgets carbone corrigés pour les 2^{ème}, 3^{ème} et 4^{ème} périodes, puisqu'il s'agit à chaque fois de moyennes d'émissions annuelles sur les périodes concernées :

| Période | 2 ^{ème} | 3 ^{ème} | 4 ^{ème} |
|--------------------------|------------------|------------------|------------------|
| | 2019-2023 | 2024-2028 | 2029-2033 |
| Total | 411,9 | 350,8 | 292,1 |
| Transport | 124,5 | 109,1 | 91,3 |
| Bâtiment | 95,0 | 71,2 | 51,9 |
| Agriculture | 82,1 | 76,3 | 71,1 |
| Industrie | 78,4 | 66,4 | 54,6 |
| Branche énergie | 19,2 | 16,9 | 13,7 |
| Déchets | 12,7 | 10,9 | 9,6 |
| Capture et séquestration | 0,0 | 0,0 | -1,6 |

Tableau 1 - Budgets carbonés corrigés

1.1.3. Extraction des objectifs GES des SRADET

| | Cibles en valeur absolue | Réduction relative |
|------------------------------|---|----------------------------|
| Objectifs par secteur | Bourgogne Franche Comté ⁵ , Bretagne, Corse, Hauts de France, Ile de France, Pays de la Loire, Nouvelle Aquitaine | Grand-Est, PACA, Normandie |
| Objectif global | Occitanie | AURA, Centre Val de Loire |

Tableau 2 - Récapitulatif des types d'objectifs GES dans les SRADET

⁵ Des objectifs non sectorisés et en valeur relative sont fournis en p39 du rapport d'objectif, mais des trajectoires en valeur absolue par secteurs ont été fournies par AtmoBFC (cf. illustration sur la même page).

Les objectifs de réduction GES sont exprimés selon des formats divers par les régions, regroupés ci-dessus selon deux axes : objectifs par secteur ou non, et exprimés en valeur absolue (MteqCO₂/an) ou relative (% de réduction par rapport à une année donnée).

En cas de réduction relative, nous nous sommes appuyés sur les données historiques transmises par les organismes de comptabilité énergie-climat régionaux (OREC)⁶, pour reconstituer le point de départ.

Lorsque les trajectoires sectorielles ont été définies, nous avons dans certains cas dû ajouter des secteurs manquants (souvent la branche énergie de l'industrie et/ou les déchets), en supposant un ratio entre ces secteurs manquants et la somme des autres secteurs, équivalent à celui du scénario AMS.

Des corrections spécifiques ont dû être effectuées dans les cas des régions Pays de la Loire et Grand-Est, ces dernières ayant défini leurs trajectoires au format SECTEN, contrairement à la majorité des autres SRADDET qui ont opté pour le format PCAET. La correction simplifiée a consisté à retirer du secteur « branche énergie de l'industrie » les émissions directes liées à la production d'électricité et de chaleur du territoire, et inversement à comptabiliser les émissions indirectes liées à la consommation finale de ces deux vecteurs, au niveau de chaque secteur de consommation finale (d'après les facteurs d'émission issu du scénario AMS, et les consommations finales sectorielles du SRADDET). L'impact au niveau des trajectoires reste globalement faible, du fait du faible contenu carbone de l'électricité, et de son évolution à la baisse (0 en 2050 dans le scénario AMS). Cela réduit en revanche significativement les émissions du secteur spécifique « branche énergie de l'industrie ».

En l'absence de trajectoires sectorielles explicites, nous avons supposé un alignement avec la répartition sectorielle du scénario AMS. Ce choix induit ponctuellement des hausses d'émissions sur certains secteurs à court terme (lorsque la part sectorielle de la région concernée est plus faible en année de référence, que la moyenne nationale), qui sont toutefois rapidement gommées. Le biais introduit par cette manipulation sur la trajectoire sectorielle effective sera quantifié dans notre rapport final. Nous avons néanmoins pu vérifier que les trajectoires sectorielles reconstituées sont cohérentes avec les données en année de référence (2015), et suffisamment bien déterminées dans le futur, pour qu'une analyse crédible en soit faite.

Enfin, deux cas particuliers se sont présentés :

- **Auvergne-Rhône-Alpes** : le SRADDET donne un objectif précis de réduction pour 2030, a contrario de 2050, avec toutefois une intention générale de contribution au facteur 4 (division des émissions par 4 en 2050 par rapport à 1990, objectif central de la SNBC 1^{ère} version). En l'absence de méthode adéquate pour régionaliser finement cet objectif, nous avons appliqué le facteur 4 à la trajectoire de la région, et les parts sectorielles de la SNBC 1.
- **Normandie** : de façon similaire, la Normandie a calqué l'évolution de ses réductions d'émission sur la SNBC 1^{ère} version, pour les différents secteurs. Nous avons donc repris le rythme d'évolution de la SNBC 1, il faut néanmoins souligner que cette déclinaison strictement homothétique de la trajectoire nationale n'est pas très crédible, car elle ne tient pas compte des spécificités du territoire (part importante de l'industrie et de l'élevage, émissions par habitant élevées...).

1.1.4. Corrections liées à la comptabilité GES

D'autres corrections ont été appliquées au cas par cas sur les trajectoires régionales :

- **Pouvoir de réchauffement global** : les trajectoires GES sont exprimées en équivalent CO₂, ce qui traduit l'agrégation d'émissions de différents gaz à effet de serre, pondérés de facteurs multiplicatifs définis par le GIEC. Le scénario AMS, et certaines régions utilisent les facteurs du 4^{ème} rapport du GIEC, tandis que d'autres (8 au total) ont opté pour ceux du 5^{ème} rapport. Nous avons donc corrigé les trajectoires de ces dernières, à partir de la proportion des différents GES au sein de chaque secteur, tels que modélisés dans le scénario AMS (composition évolutive dans le temps). L'impact est globalement peu important, le secteur des déchets en particulier étant beaucoup plus concerné.
- **Gaz fluorés** : de même, les gaz fluorés (pris en compte dans le scénario AMS), ne sont pas pris en compte dans 4 régions. Là aussi, nous avons corrigé (à la hausse) les trajectoires concernées, à partir du poids de ces gaz au sein de chaque secteur. La correction porte surtout sur les secteurs industrie et bâtiment, particulièrement en fin de période, puisque les GES d'origine énergétique sont

⁶ Ces données ont été transmises dans le cadre d'une demande groupée avec le Haut Conseil pour le Climat, et le Réseau Action Climat.

drastiquement réduits, tandis que les gaz fluorés sont réputés plus difficiles à éliminer totalement. La correction est particulièrement marquée pour les régions Auvergne-Rhône-Alpes et PACA (de l'ordre de 5 à 10%).

1.1.5. Construction des séries au pas annuel

Aucune région ne fournit directement dans son SRADDET des trajectoires au pas annuel, nous avons donc effectué une interpolation linéaire, pour faire la jonction entre les différentes années dotées d'un objectif (ces jalons n'étant pas les mêmes d'une région à l'autre).

En outre, un recalage des données a été effectué pour l'année de référence (2015), afin de recoller avec les données produites à cette échéance par les OREC, et ainsi partir d'une situation comparable à celle du scénario AMS. Ce recalage a pour effet de globalement dégrader (augmenter) les émissions 2015 dans les régions, du fait d'un retard global accumulé dans les réductions d'émission, vis-à-vis des objectifs, depuis l'année de référence de la prospective régionale (variable, mais pouvant remonter jusqu'à 2005). Nous n'avons toutefois pas réajusté les années ultérieures à 2015.

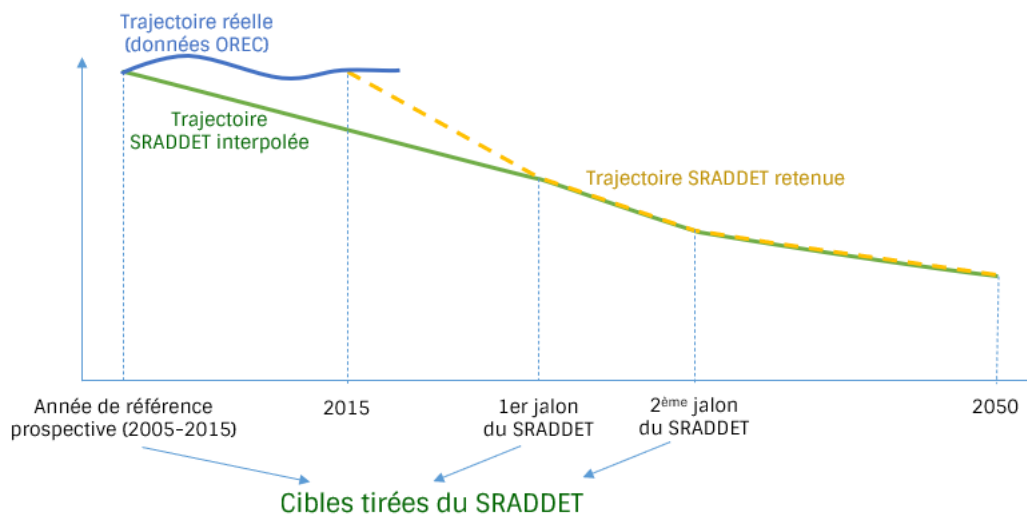


Figure 2 - Construction de la trajectoire au pas annuel, à partir des cibles SRADDET et des données régionales historiques

Ce retard au démarrage est ensuite rattrapé sur la période s'étalant de 2015 au 1^{er} objectif défini par le SRADDET.

1.2. Résultat de la concaténation des objectifs de réduction

Le résultat de la concaténation des différentes trajectoires régionales est le suivant :

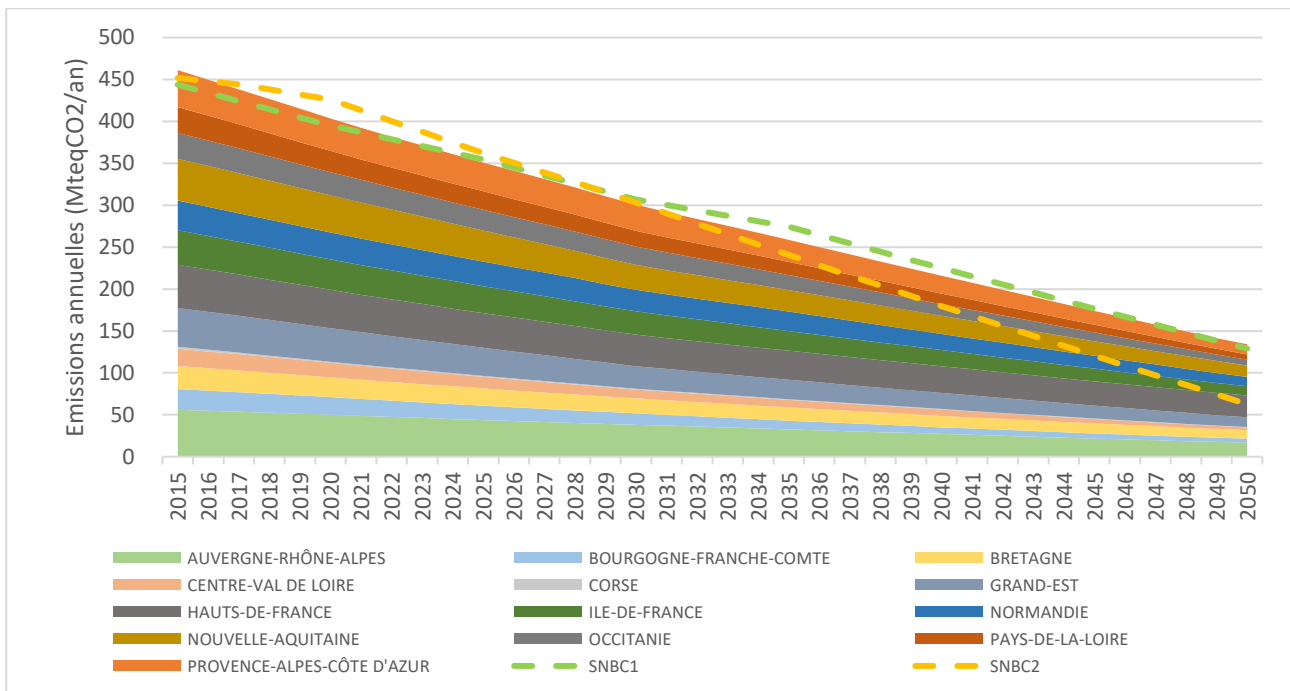


Figure 3 - Comparaison des émissions totales dont CSC⁷ mais hors UTCATF SRADEET (détail par régions) vs. SNBC 1 & 2

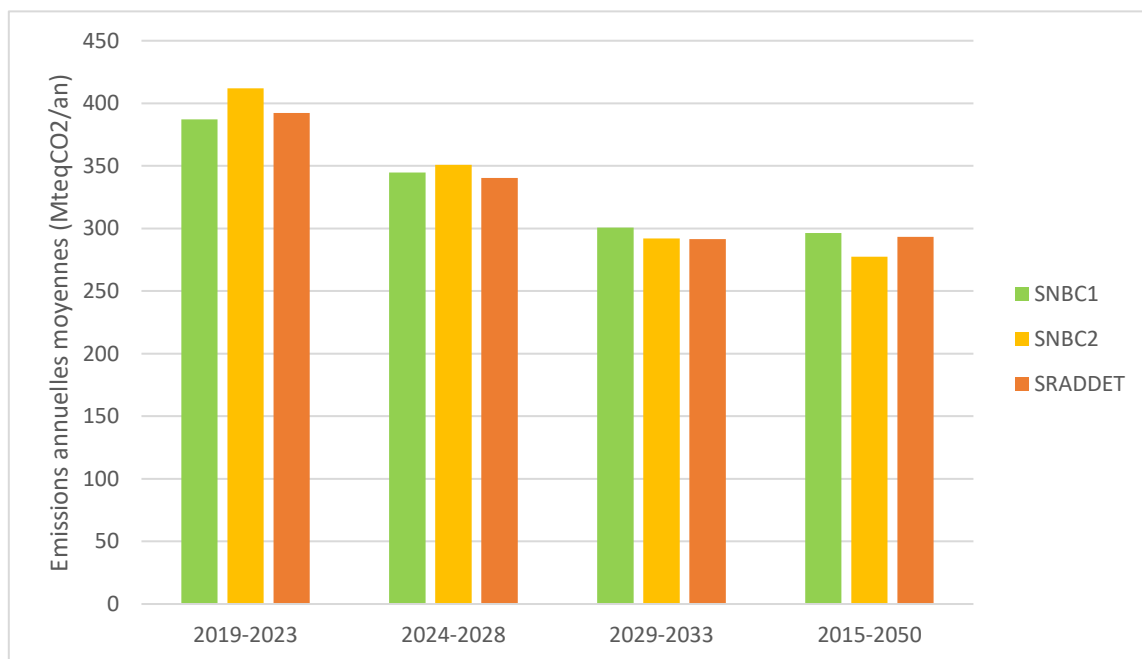


Figure 4 - Comparaison des émissions totales hors UTCATF vs. SNBC 1 & 2, en moyenne annuelle pour les périodes de référence des budgets carbone, et pour la totalité de la période

On constate que la SNBC 2 a postulé une baisse assez faible des émissions sur les premières années, a priori pour tenir compte des dépassements de budget carbone constatés sur la première période (2015-2018), ce qui provoque un écart au démarrage en faveur des SRADEET, rapidement rattrapé puis inversé à partir de 2030.

Les SRADEET semblent en revanche relativement bien alignés avec la première SNBC sur toute la période. Il faut souligner ici qu'une partie des SRADEET prennent justement pour référence cette version de la SNBC, la mise à jour ayant eu lieu à cheval sur la période de réalisation des SRADEET. Les éléments structurants de la nouvelle version, tels que la neutralité carbone en 2050, étaient toutefois déjà connus puisque présents dans

⁷ NB : la capture et séquestration du carbone (CSC) technologique a été prise en compte (déduite) dans les trajectoires

le Plan Climat de 2017. La SNBC 2 n'ayant été adoptée officiellement qu'en avril 2020, certaines régions ont fait le choix de ne pas en tenir compte, pour ne retenir que le « facteur 4 ». D'autres se réfèrent officiellement à la SNBC1, tout en cherchant à dépasser ses objectifs, par anticipation de la mise à jour. Ce décalage temporel entre les exercices prospectifs, et surtout le flou sur la version à retenir, sont un point de vigilance pour les prochaines versions des SRADDET et de la SNBC (cf. chapitre sur les recommandations).

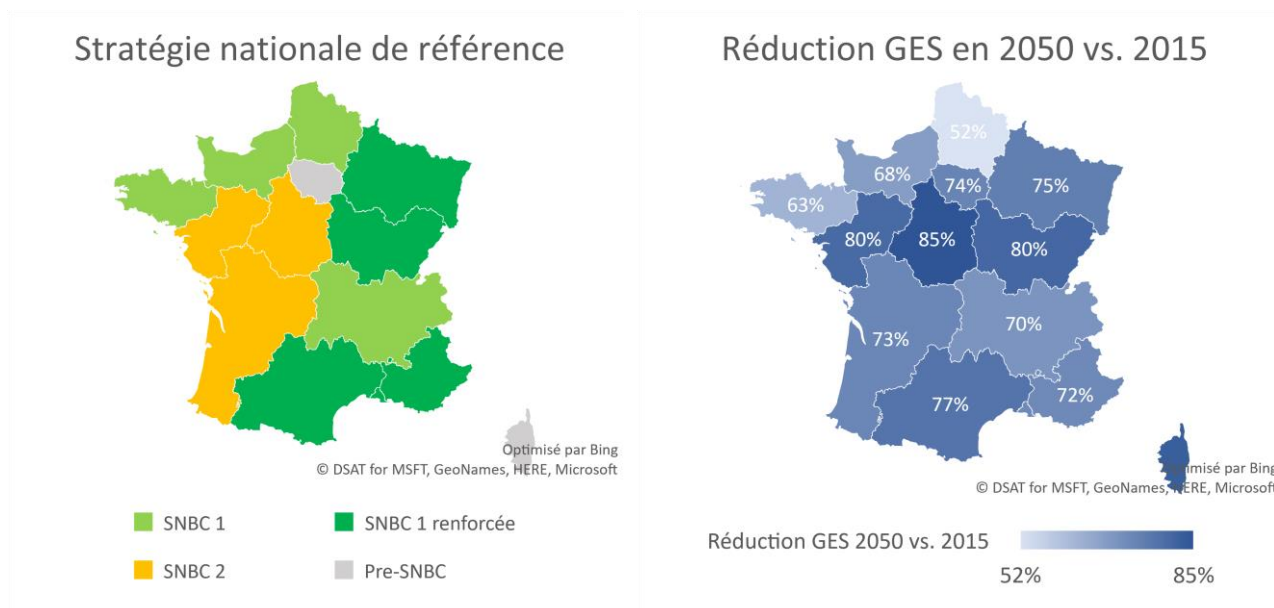


Figure 5 - Stratégies nationales de référence, et réduction GES en 2050 par rapport à 2015 pour les différentes régions

« SNBC 1 renforcée » dans le graphique de gauche signifie que la référence officielle est la SNBC 1, mais que des éléments de la SNBC 2 ont été pris en compte (par ex. la neutralité carbone).

Les réductions de GES du graphique de droite sont exprimées par rapport à 2015 et non 1990, car il n'existe pas d'évaluation consensuelle des émissions régionales sur cette année. Par ailleurs, les spécificités régionales font qu'une déclinaison de l'objectif national (facteur 4, facteur 6 ou neutralité carbone) ne peut se traduire par une réduction exactement équivalente au niveau de chaque région.

Tout en tenant compte de ces éléments, on peut toutefois constater que les régions s'appuyant officiellement sur la SNBC révisée, ou anticipant un renforcement de la première version, semblent sur des niveaux de réduction relativement plus élevés que les autres, ce qui tendrait à confirmer la bonne prise en compte de la cible nationale dans le niveau d'ambition régionale, et donc l'importance d'avoir une référence commune.

Cette problématique de décalage temporel entre documents prospectifs régionaux et nationaux se présente également d'une autre façon : des régions pourraient publier des documents prospectifs hors cadre SRADDET/SRCAE, postérieurs à ces derniers. La plupart des SRADDET étant récents, nous n'avons identifié à ce jour que le « Plan Climat » de la région PACA dans cette situation, lequel semble reprendre les mêmes objectifs de réduction GES. Mais il semble que l'ambitieux travail de prospective mené en Occitanie (scénario « région à énergie positive ») soit voué à être affiné et actualisé hors cadre SRADDET.

Comme indiqué précédemment, nous nous sommes appuyés pour l'Île-de-France sur le document équivalent au SRADDET (SRCAE), qui remonte à 2013. Depuis, une « stratégie énergie-climat » a pourtant été publiée en 2018, qui vient renforcer le niveau d'ambition sur la production d'énergies renouvelables sur la période 2030-2050. L'impact de cette stratégie sur les réductions GES n'a pas été évalué dans le document, notre estimation du gain en 2050 est de l'ordre de 6 MtCO₂/an, ce qui représenterait de l'ordre de 10% de l'écart total observé entre la somme des SRADDET et la SNBC 2.

1.3. Analyse sectorielle

Nous allons analyser dans cette section le rôle joué par les différents secteurs dans les écarts observés entre les trajectoires régionales et la SNBC.

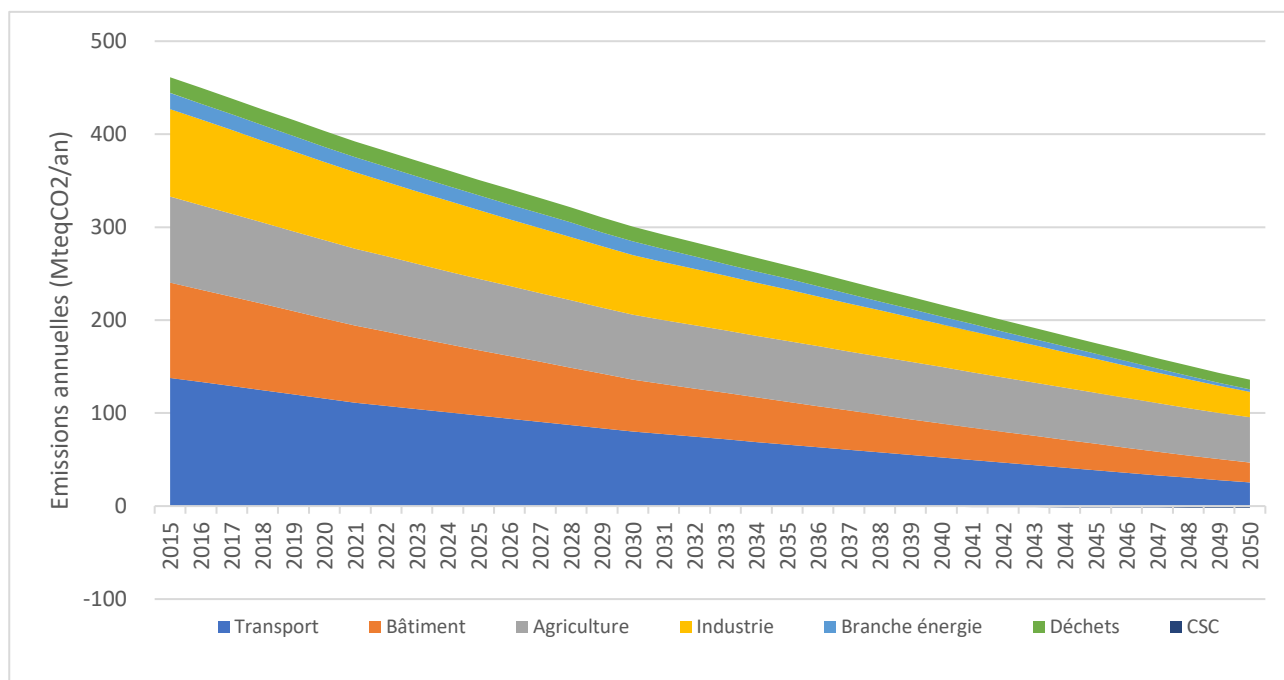


Figure 6 - Trajectoires sectorielles SRADDET

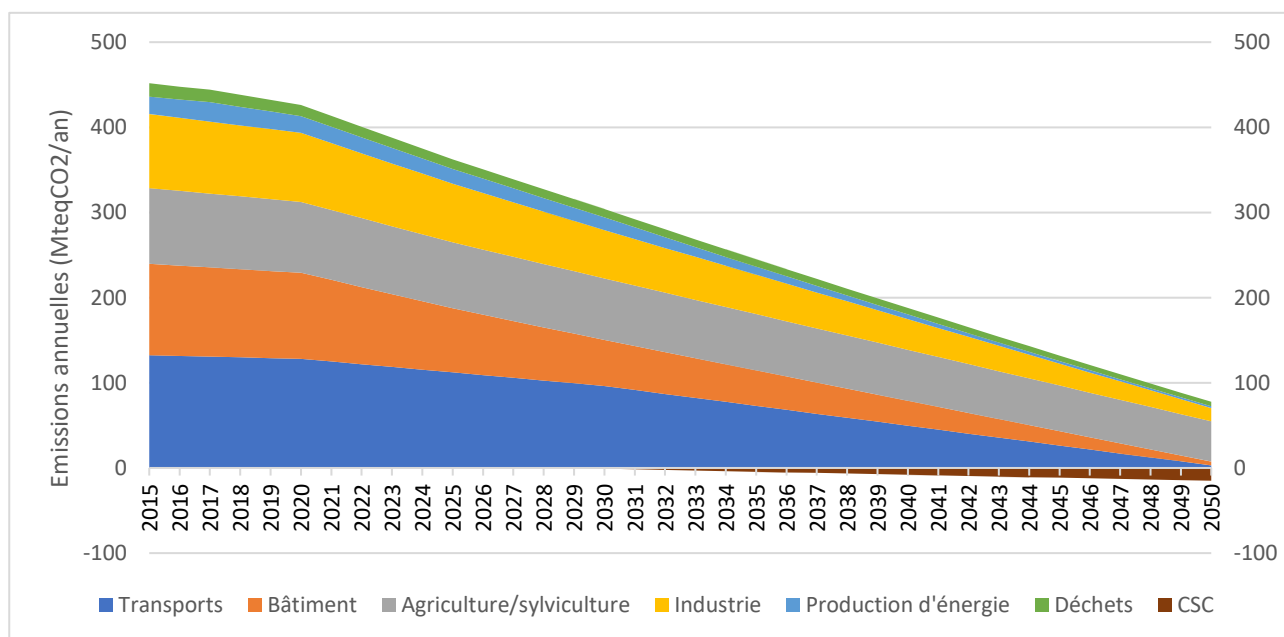


Figure 7 - Trajectoire SNBC au périmètre métropolitain, format PCAET, hors UTCATF

Ces courbes révèlent des contributions différenciées des secteurs à l'écart entre SRADDET et SNBC, que l'on peut exprimer en différentiel d'émissions à différentes échéances :

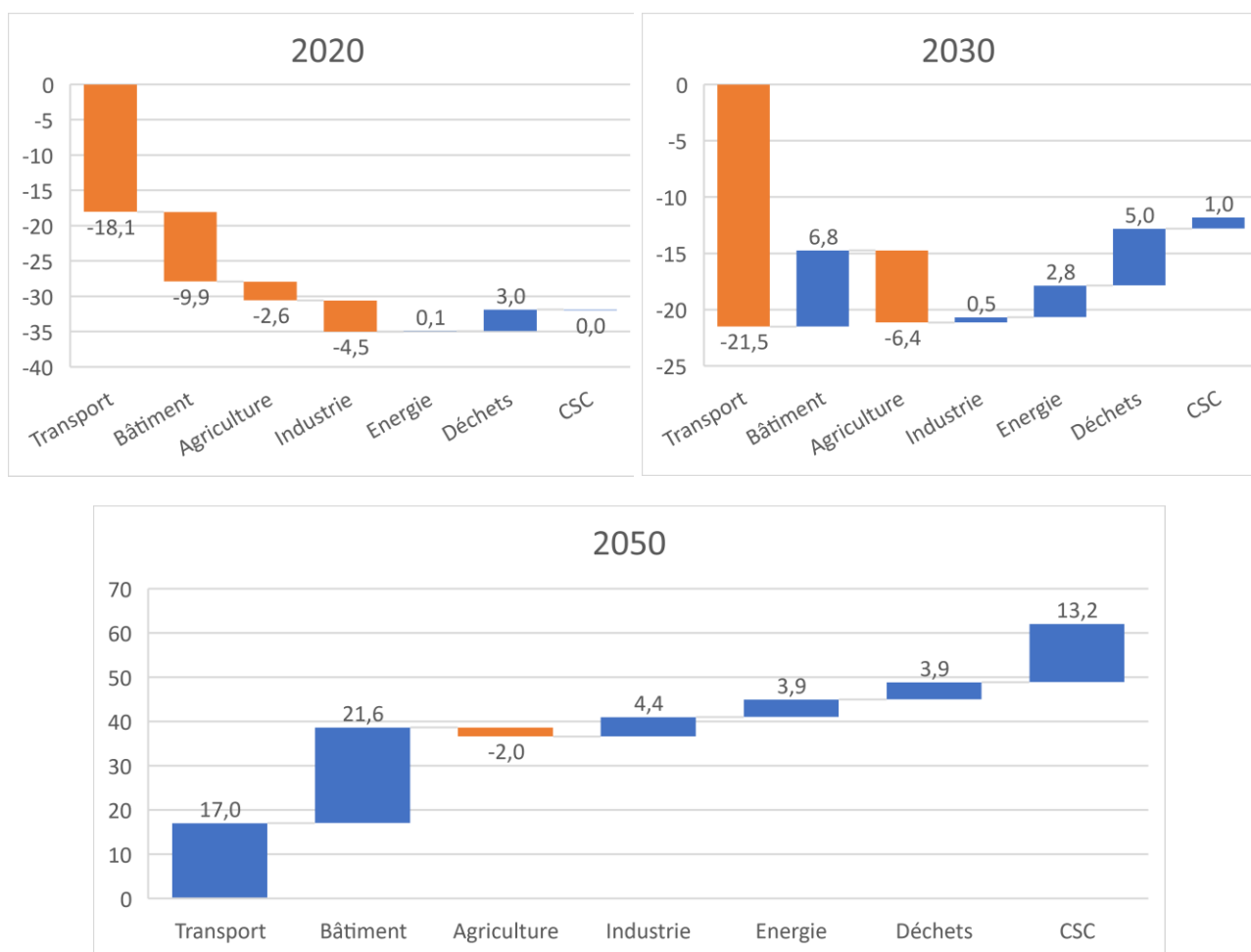


Figure 8 - Contribution des différents secteurs à l'écart entre SRADDET et SNBC2 en 2020, 2030 et 2050 (MteqCO₂/an)

Lecture des graphiques : si la valeur est négative (barre en orange), les SRADDET sont moins émetteurs, si la valeur est positive (barre bleue), les SRADDET sont plus émetteurs que la SNBC

On peut ainsi distinguer trois grandes phases :

- **Court terme/passé (2015-2020)** : le scénario AMS prévoit un effort faible/nul sur le transport et le bâtiment, l'écart se creuse donc en faveur des SRADDET
- **Moyen terme (2020-2030)** : le rythme d'évolution est comparable sur le transport (les SRADDET conservent donc leur avance sur ce secteur), tandis que le bâtiment perd rapidement son avantage dans les SRADDET. Tous les autres secteurs, à l'exception de l'agriculture, évoluent moins favorablement dans les SRADDET que dans la SNBC.
- **Long terme (2030-2050)** : l'écart global s'inverse rapidement, avec une ambition plus forte sur le transport et le bâtiment dans la SNBC2. La CSC⁸ qui est envisagée en fin de période dans le scénario AMS, n'est réellement mentionnée et quantifiée que par les Hauts de France, qui en font un des leviers de décarbonation de l'industrie, à hauteur de 2,2 MteqCO₂/an, contre 15 MteqCO₂/an au total dans le scénario AMS (d'où le différentiel de +12,8 pour ce secteur). Tous les secteurs, sauf l'agriculture, contribuent à l'écart en défaveur des SRADDET sur le long terme.

Dans les chapitres suivants, nous allons approfondir l'analyse des principaux secteurs d'émissions, et ceux les mieux caractérisés dans les SRADDET (donc hors branche énergie de l'industrie, déchets et CSC).

⁸ Capture et séquestration du carbone

1.3.1. Transport

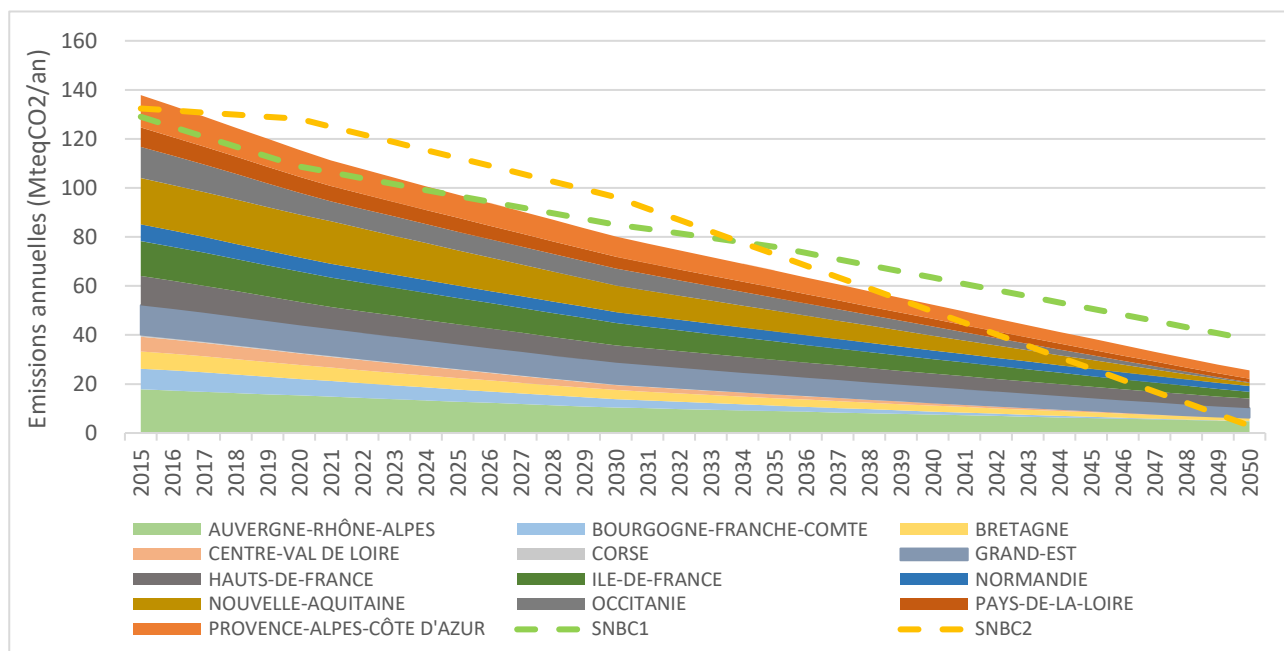


Figure 9 - Trajectoires d'émissions du secteur « transport »⁹

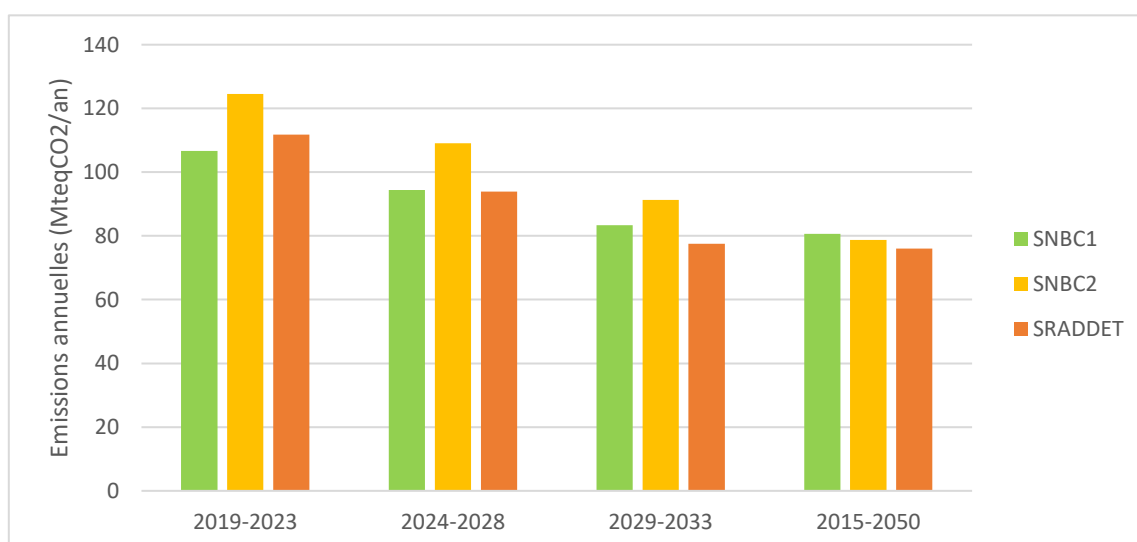


Figure 10 - Comparaison des émissions du secteur « transport » vs. SNBC 1 & 2, en moyenne annuelle pour les périodes de référence des budgets carbone, et pour la totalité de la période

Les régions prévoient un effort relativement constant dans le temps, tandis que la SNBC2 prévoit une accélération progressive des réductions d'émissions. Certaines régions sont confiantes sur leur capacité à totalement décarboner ce secteur (objectif SNBC 2), tandis que d'autres restent plus proches de la vision assez prudente de la SNBC1 (-70%) :

⁹ NB : les émissions du secteur transport ne sont pas explicitées dans les SRADDET d'**Auvergne-Rhône-Alpes**, **Bourgogne-Franche-Comté** et **Occitanie**, elles ont été déduites des émissions totales de la région, auxquelles ont été appliquées le ratio transport/total du scénario AMS.

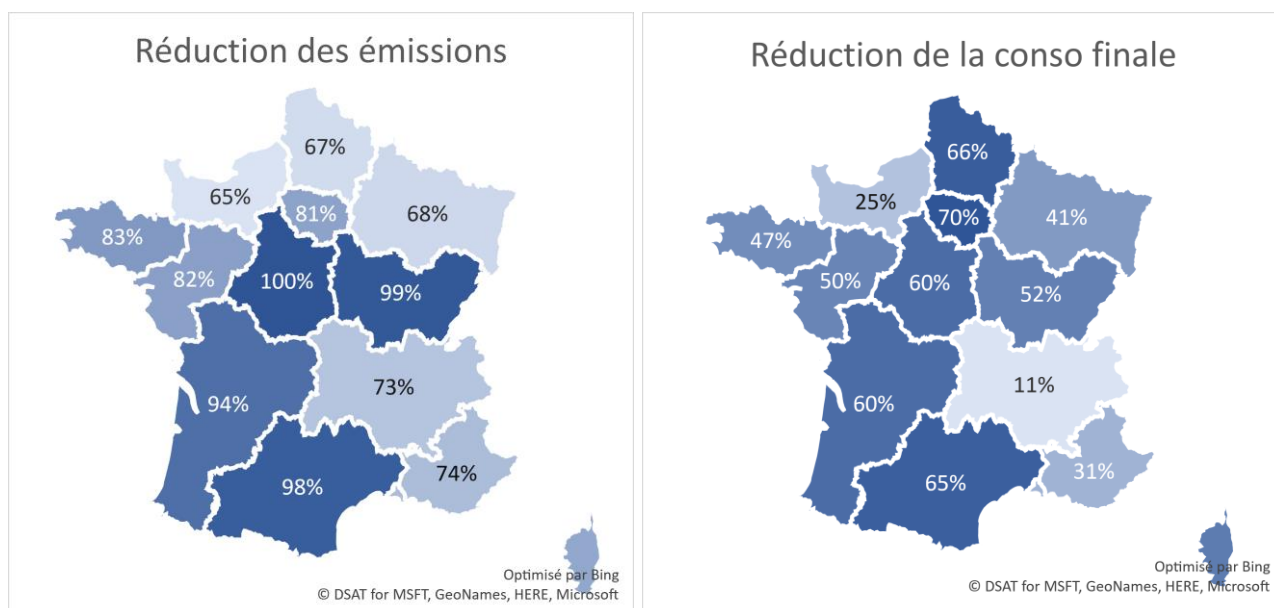


Figure 11 - Réduction des émissions et de la consommation en énergie finale du secteur "transport" en 2050 par rapport à 2015

Si les contenus en carbone (émissions du secteur divisées par la consommation en énergie finale extraite du SRADDET) sont assez homogènes en 2015, ceux-ci évoluent de façon très différente selon les régions, pour atteindre en 2050 une palette allant de 0 (décarbonation totale du mix énergétique transport) à 260 gCO₂eq/kWhEF (statu quo en Hauts-de-France). Les régions les mieux-disantes sur le plan des émissions n'étant donc pas nécessairement celles activant le plus le levier maîtrise de la demande (sobriété et efficacité). Pour rappel, les solutions techniques de décarbonation du transport, à consommation finale égale, se trouvent essentiellement dans le développement de nouvelles motorisations : mobilité électrique (individuelle et collective), mais aussi gaz renouvelables (BioGNV issu de méthanisation ou de power-to-gas, ou encore hydrogène via pile à combustible). Il y a donc des hypothèses régionales contrastées à ce niveau, voire une non prise en compte dans les cas les plus extrêmes.

Un point de vigilance concernant ces résultats : la part du transport dans les émissions régionales n'est pas précisée en Auvergne-Rhône-Alpes, Bourgogne-Franche-Comté et Occitanie, avec de surcroît une incertitude sur le total d'émissions 2050 en Auvergne-Rhône-Alpes (cf. remarque en 1.1.3). Les trajectoires SNBC (version 1 dans le cas d'Auvergne-Rhône-Alpes) ont donc été utilisées pour estimer les parts sectorielles. La réduction de la consommation finale est en revanche mieux définie, et révèle des niveaux de réduction très disparates. Le cas des Hauts-de-France est particulier, dans le sens où le contenu carbone de la consommation du transport ne semble pas évoluer, ce qui supposerait un maintien des carburants liquides comme vecteur principal, donc une absence de développement de la mobilité électrique, ce qui apparait difficilement compatible avec une réduction de la consommation finale de deux tiers comme envisagé (sauf à postuler une amélioration drastique du rendement des moteurs thermiques et/ou une réduction importante du besoin de mobilité).

En moyenne, les SRADDET sont nettement moins optimistes que la SNBC sur les gains liés à la décarbonation du mix énergétique et à l'évolution des motorisations (94 vs. 15 gCO₂eq/kWhEF en 2050), et font moins d'efforts sur la maîtrise de la demande (réduction de la consommation en énergie finale de 47% contre 61%). Cette analyse de la moyenne pondérée des régions doit toutefois être nuancée par une variabilité très forte : en laissant de côté les trois régions les moins-disantes, la moyenne redevient comparable avec la SNBC.

Il n'est malheureusement actuellement pas possible de pousser plus loin l'analyse pour mieux comprendre les choix régionaux à ce niveau, en l'absence d'information quantifiée sur les principaux déterminants :

- Besoin de mobilité (km.voyageur pour la mobilité des personnes et t.km pour le fret)
- Parts modales (proportion des différents moyens de transport)
- Parts de marché des vecteurs énergétiques / motorisations

1.3.2. Bâtiment

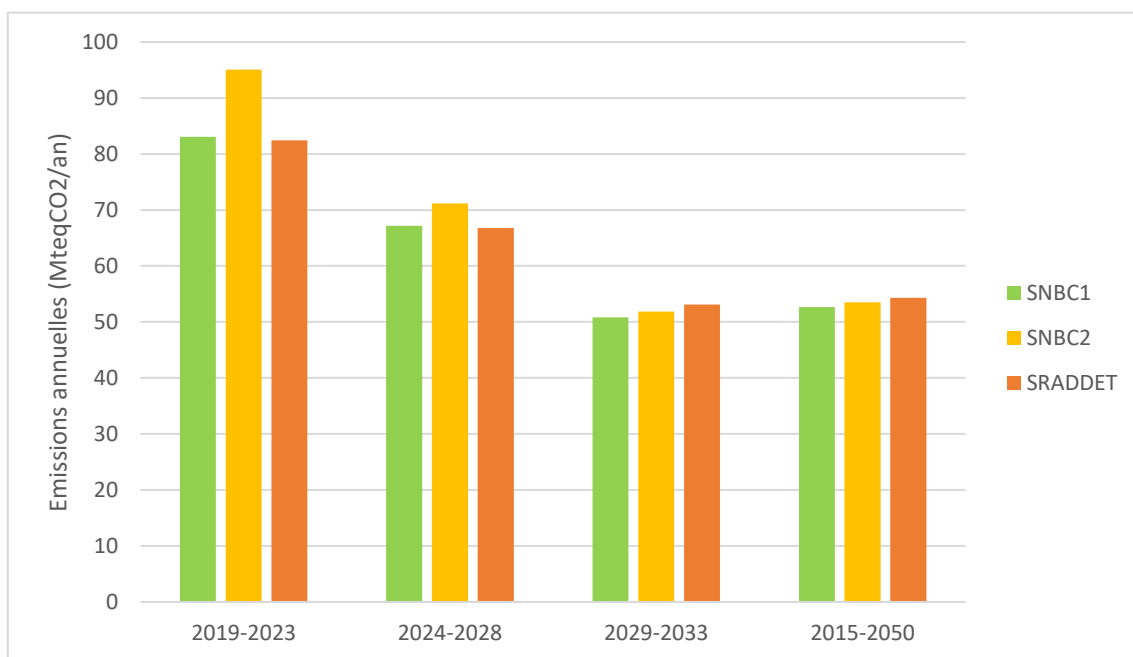
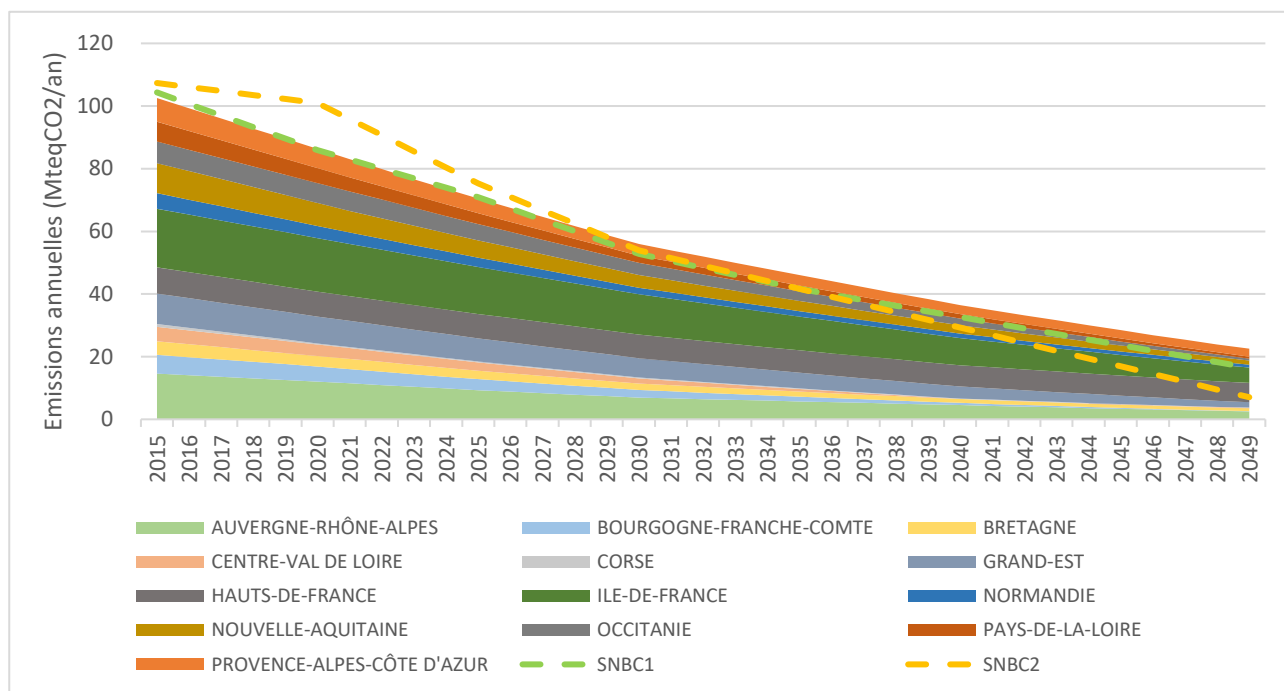


Figure 13 - Comparaison des émissions du secteur « bâtiment » vs. SNBC 1 & 2, en moyenne annuelle pour les périodes de référence des budgets carbone, et pour la totalité de la période

Le constat précédent se retrouve dans les grandes lignes dans le secteur du bâtiment (résidentiel et tertiaire) : à savoir un écart initial avec la SNBC2, qui s'inverse progressivement, à un rythme toutefois plus soutenu que dans le transport.

¹⁰ NB : les émissions tous GES du secteur bâtiment ne sont pas explicitées dans les SRADDET d'Auvergne-Rhône-Alpes, Centre-Val-de-Loire et Occitanie, elles ont été déduites des émissions totales de la région.

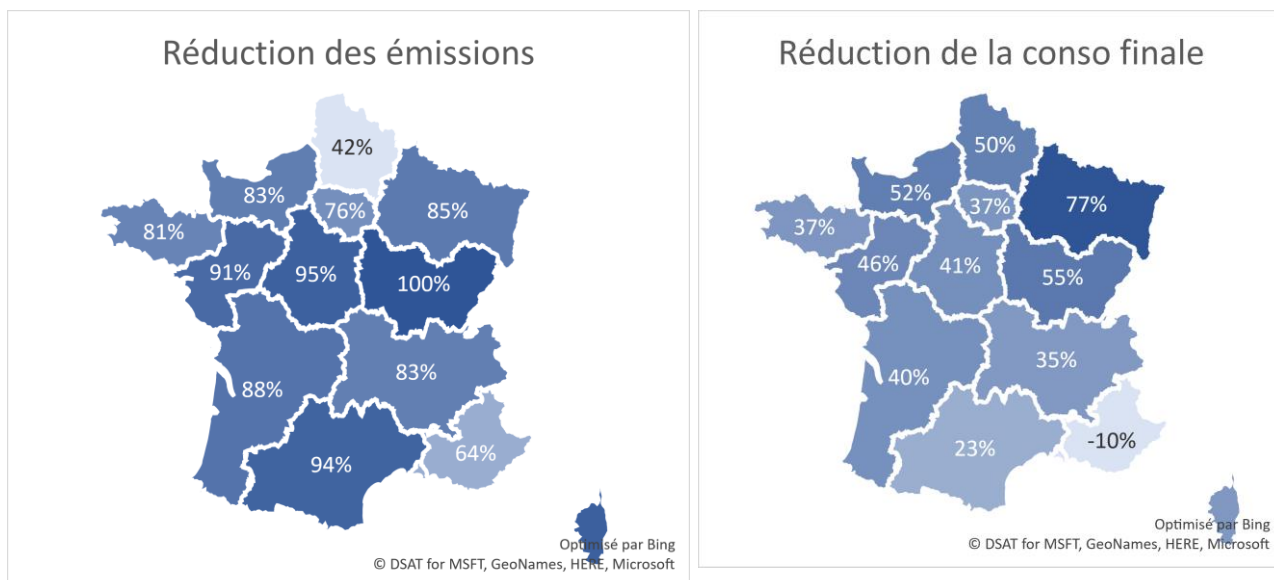


Figure 14 - Réduction des émissions et de la consommation en énergie finale du secteur "bâtiment" en 2050 par rapport à 2015

En revanche, l'effort global de réduction de la consommation d'énergie suit une même trajectoire dans la somme des SRADDET, que dans le scénario AMS, ce qui n'était pas le cas dans le transport. L'écart en émissions s'explique donc par des hypothèses de mix énergétique, et de GES non énergétiques (qui représentent à terme la majeure partie des émissions du secteur), différentes entre les SRADDET et AMS : 46 vs. 10 gCO₂eq/kWh_{EF} en 2050. Là aussi, les disparités entre régions sur ce ratio émissions / conso finale restent fortes, tout en étant moindres que pour le transport.

En 2050, l'Île de France et les Hauts de France représentent un peu moins de 60% des émissions totales du secteur. La première est logiquement pénalisée par un point de départ élevé (du fait de sa démographie et son économie tertiairisée), tandis que la deuxième est surtout victime de son hypothèse implicite de quasi corrélation des émissions avec les consommations finales, comme pour le transport.

Contrairement aux autres secteurs, dont les déterminants sont assez peu documentés (du moins par une part significative des Régions), le rythme de rénovation des logements est relativement bien traité dans les SRADDET, il est donc possible d'évaluer de façon transversale l'approche des Régions en allant au-delà de leurs simples courbes de réduction des émissions et de consommation d'énergie finale, ce qui est fait en chapitre 3.2.3.

1.3.3. Agriculture

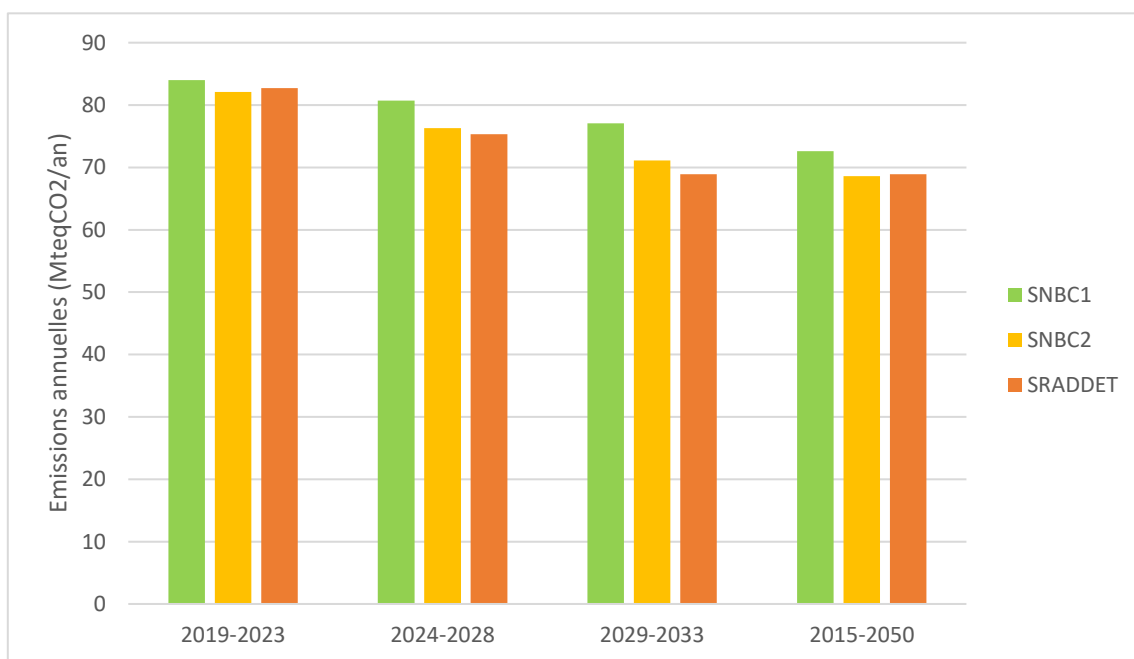
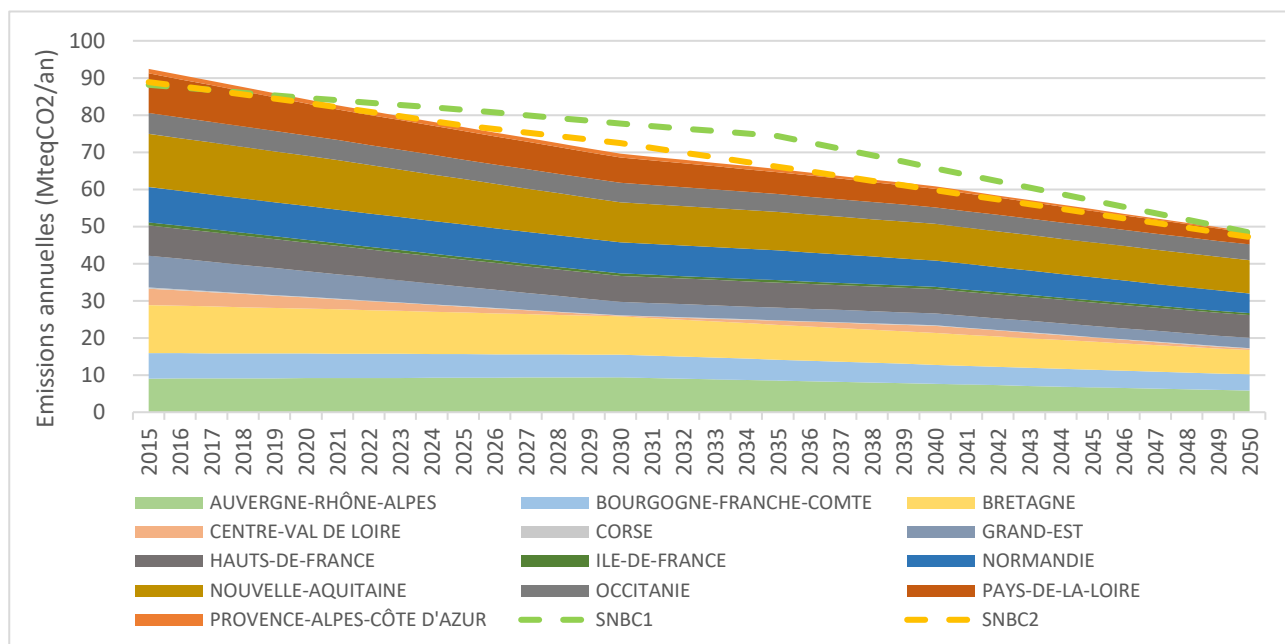


Figure 16 - Comparaison des émissions du secteur « agriculture » vs. SNBC 1 & 2, en moyenne annuelle pour les périodes de référence des budgets carbone, et pour la totalité de la période

L'évolution des émissions du secteur agricole est globalement bien alignée avec les deux SNBC, tout en restant globalement moins réduites que dans les autres secteurs, du fait de leur nature en grande partie non énergétique et donc plus difficilement compressibles. Pour la même raison, l'effort des SRADDET sur la réduction de la consommation finale d'énergie bien qu'un peu moindre (38% vs. 49% de réduction en 2050 par rapport à 2015), n'a pas d'effet majeur en termes d'écart d'émissions avec la SNBC.

Tout comme pour les autres secteurs (hors bâtiment), il n'a pas été possible d'affiner la compréhension des choix régionaux sur les principaux déterminants de ces trajectoires :

¹¹ NB : les émissions tous GES du secteur agriculture ne sont pas explicitées dans les SRADDET d'**Auvergne-Rhône-Alpes, Bourgogne-Franche-Comté, Centre-Val-de-Loire et Occitanie**, elles ont été déduites des émissions totales de la région.

- Pratiques culturelles
- Evolution des cheptels
- Efficacité énergétique des équipements

1.3.4. Industrie manufacturière

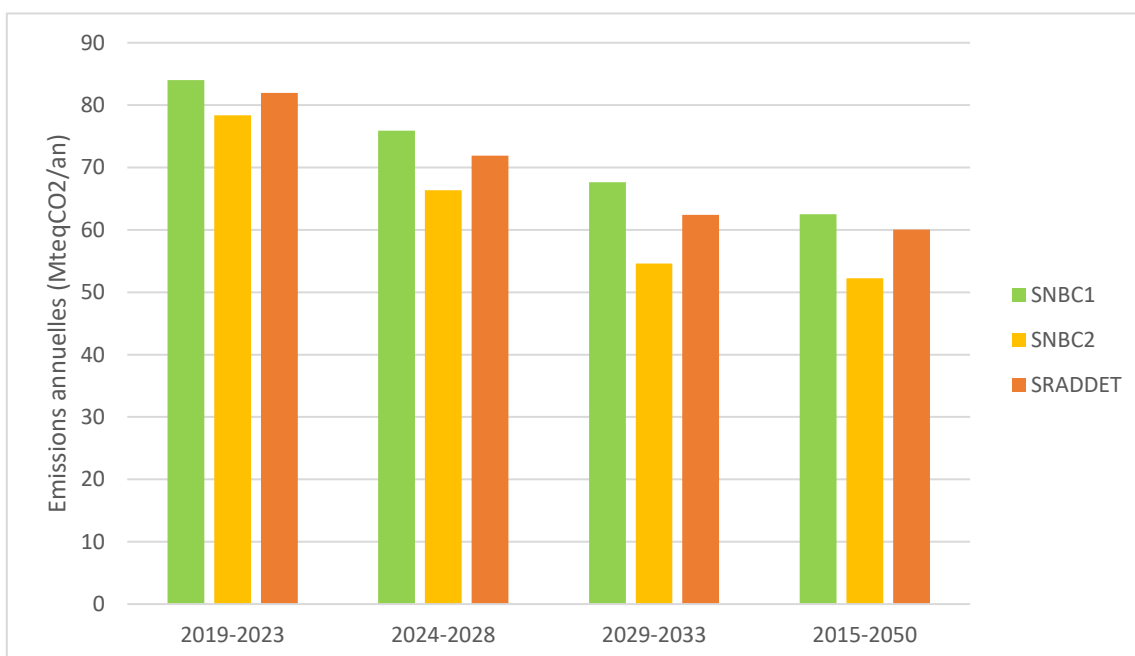
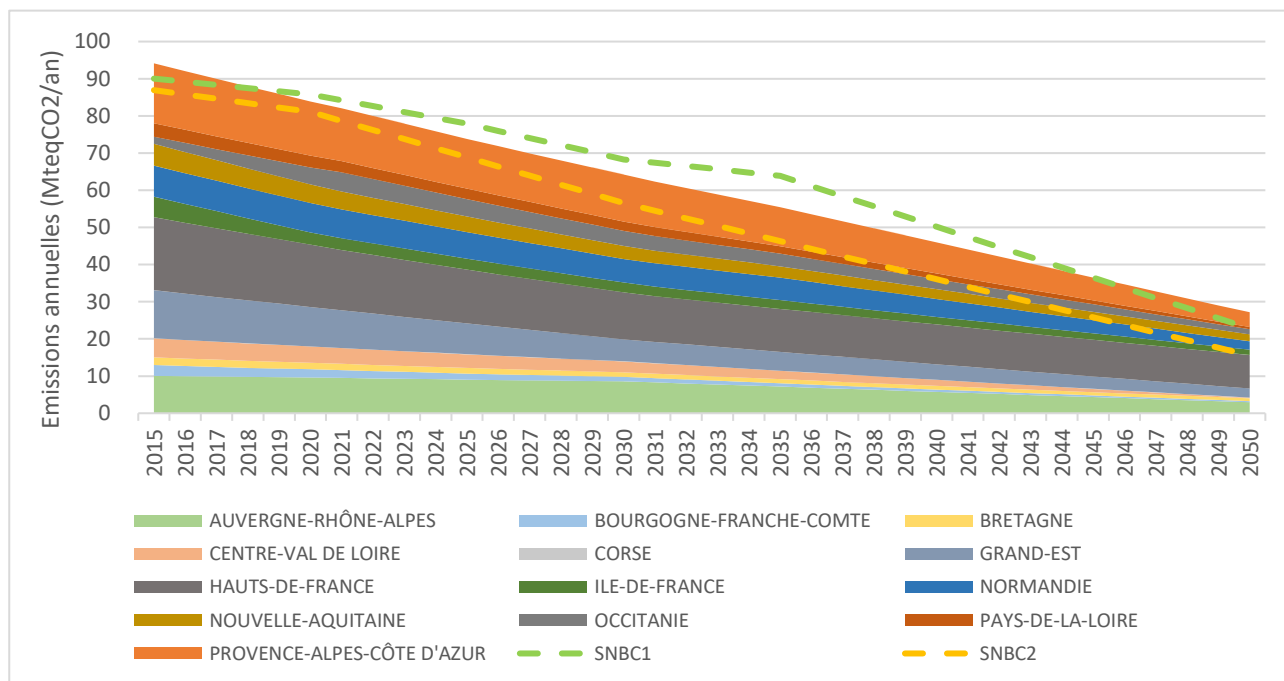


Figure 18 - Comparaison des émissions du secteur « industrie manufacturière » vs. SNBC 1 & 2, en moyenne annuelle pour les périodes de référence des budgets carbone, et pour la totalité de la période

¹² NB : les émissions tous GES du secteur industrie ne sont pas explicitées dans les SRADDET d'Auvergne-Rhône-Alpes, Centre-Val-de-Loire et Occitanie, elles ont été recalculées à partir des émissions totales de la région.

Si les trajectoires ci-dessus semblent relativement proches en ordre de grandeur, elles masquent toutefois des différences dans la répartition de l'effort entre réduction de la consommation d'énergie finale et décarbonation du mix / des process industriels :

| | AMS | SRADDET |
|--|-----|---------|
| Réduction de la consommation d'énergie finale (2050 vs. 2015) | 19% | 39% |
| Réduction des émissions GES (2050 vs. 2015) | 82% | 69% |

Tableau 3 - Évolution comparée du scénario AMS et des SRADDET pour la consommation d'énergie et les émissions du secteur "industrie manufacturière"

Les Régions sont donc relativement ambitieuses sur leur capacité à réduire leur consommation, mais le sont moins sur la décarbonation du mix énergétique et/ou de leurs process. Cela peut s'expliquer en grande partie par une plus forte électrification de l'industrie dans le scénario AMS (74% de la conso finale en 2050 vs. 55% pour les SRADDET).

Le niveau de production des Industries Grandes Consommatrices d'Énergie (IGCE), prépondérantes dans les émissions du secteur, mériterait d'être spécifié à la fois coté SRADDET et scénario AMS, afin de pouvoir mieux comprendre l'origine des écarts. Ces niveaux de production étant déterminés à la fois par des hypothèses d'évolution de la consommation intérieure, mais aussi et surtout par des hypothèses de relocalisation.

Quoiqu'il en soit, les trajectoires sont relativement plus homogènes entre régions, que pour le bâtiment et les transports.

2.

Le secteur UTCATF

Le sujet du secteur « Utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie » (UTCATF) est devenu particulièrement important avec l'introduction dans la SNBC 2 de l'objectif de neutralité carbone en 2050, incluant les puits de carbone.

Ce sujet étant postérieur ou concomitant avec l'élaboration des SRADDET, il n'a été que superficiellement abordé par les régions, et lorsque cela a été fait, sous l'angle qualitatif uniquement (avec une intention d'augmenter ou maintenir la séquestration carbone naturelle). Il s'agit néanmoins d'un aspect de plus en plus pris en compte dans la comptabilité régionale, qui a certainement vocation à être intégré de façon plus complète dans les prochaines versions des SRADDET.

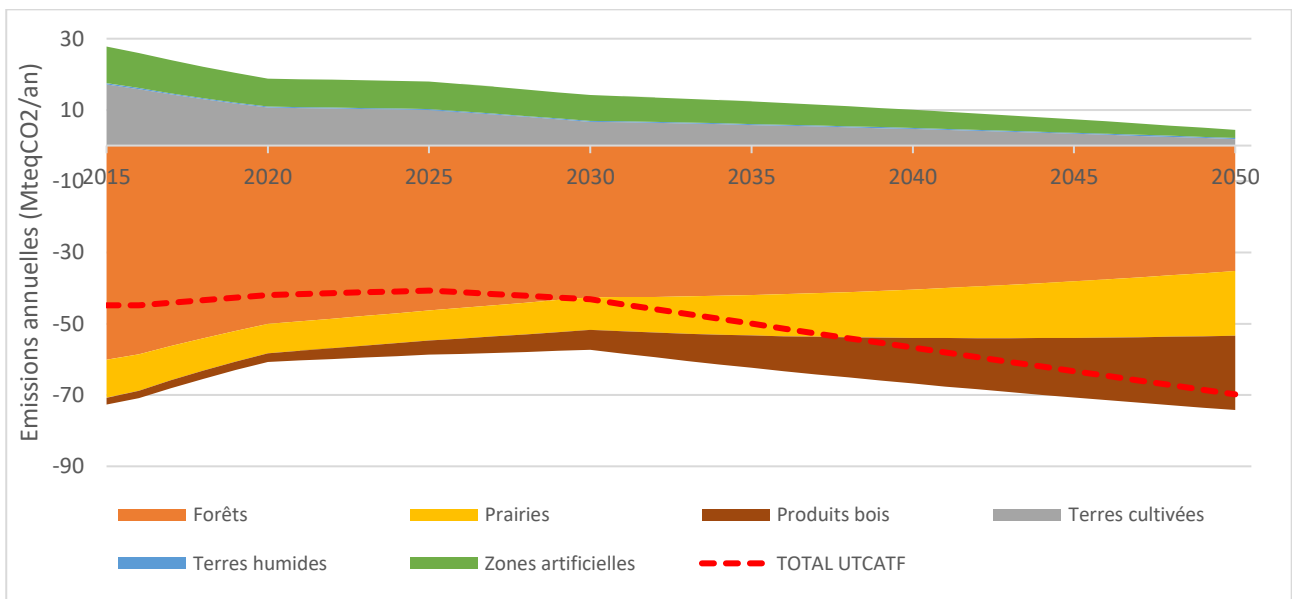


Figure 19 - Trajectoire du secteur UTCATF (et ses sous-secteurs) selon le scénario AMS, recalculé sur périmètre métropolitain

Au sein du secteur UTCATF, se trouve néanmoins la question de l'artificialisation, qui constitue l'un de ses sous-secteurs d'émission (via les changements d'affectation des sols vers / depuis les zones artificialisées). Ce sujet fait bel et bien partie du périmètre des actuels SRADDET, et a été traité par l'ensemble des régions a minima via des intentions qualitatives, parfois via des règles s'imposant aux échelons territoriaux inférieurs (PLU, SCOT). Des objectifs quantifiés de réduction du rythme d'artificialisation ont été par ailleurs exprimés dans la quasi-totalité des régions, à l'exception de la Corse et d'Auvergne-Rhône-Alpes. Ces cibles ne vont cependant pas toutes jusqu'en 2050.

Il est ainsi possible de reconstituer des trajectoires de réduction du rythme d'artificialisation :

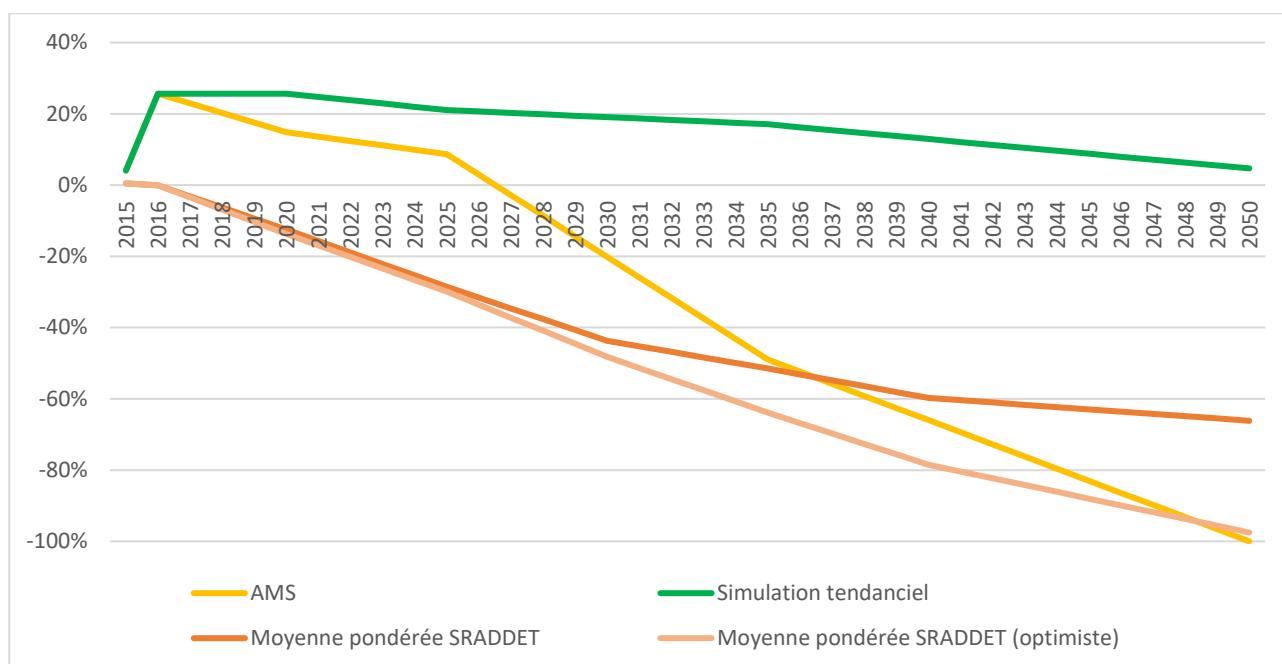


Figure 20 - Rythme de réduction de l'artificialisation nette (base 0 en 2015)

La courbe en marron foncé suppose que les régions n'ayant pas quantifié leur trajectoire du tout vont suivre le tendanciel (scénario « avec mesures existantes » de la SNBC – en jaune), et que les régions n'ayant pas d'objectif à 2050 arrêteront leurs efforts à la dernière année mentionnée. La courbe en marron clair (optimiste) est une analyse de sensibilité qui prend le contre-pied de cette hypothèse conservatrice : en l'absence de cibles quantifiées spécifiques, on suppose que la région suit le rythme AMS.

Il en ressort que les SRADDET ne sont pas tout à fait assez ambitieux sur leur rythme de réduction de l'artificialisation à long terme, par rapport au scénario AMS (qui vise le « zéro artificialisation nette » en 2050), sauf à supposer que celles qui n'ont pas été suffisamment explicites seront bien alignées avec AMS. A contrario, le scénario AMS, et son tendanciel, sont assez pessimistes sur le court-moyen terme (tout comme pour d'autres secteurs d'émission mentionnés précédemment), ce qui tempère l'écart.

L'absence de trajectoires quantifiées jusqu'en 2050 introduit une incertitude assez forte sur « le point d'arrivée » du total des régions, comme l'indique l'écart entre les deux courbes marrons. Si on examine le cumul des surfaces artificialisées sur la période 2015-2050, on constate que les deux estimations (haute et basse) se retrouvent de part et d'autre du scénario AMS, ce qui indique un relatif alignement.

Ce ralentissement de l'artificialisation nette se traduirait par une réduction des émissions associées au changement d'affectation des sols. L'estimation précise est complexe car ces émissions sont en partie concomitantes au changement d'affectation, et en partie différées dans la comptabilité, sur 20 ans glissants. Par ailleurs il existe d'importantes différences sur l'historique des surfaces artificialisées (ha/an) entre les différentes sources consultées (CITEPA, Cerema, AMS...). On peut néanmoins estimer la réduction d'émission dans le scénario AMS, au périmètre métropolitain, et pour l'artificialisation nette (donc tenant compte de la conversion de zones artificialisées en prairies ou forêts) entre **5 et 8 MteqCO₂/an** en 2050, par rapport à 2015. L'écart entre les émissions SRADDET et AMS en 2050 se situerait alors entre **-1,8 MteqCO₂/an** (hypothèses SRADDET optimistes et comptabilisation des émissions GES différée dans le temps) et **2,7 MteqCO₂/an** (hypothèses SRADDET conservatrices et comptabilité des émissions GES concomitante de l'artificialisation), ce qui là aussi, compte tenu des incertitudes, indique un certain alignement.

L'artificialisation n'est toutefois qu'un des enjeux du secteur UTCATF, que nous avons essayé de mettre en perspective avec les autres phénomènes à l'œuvre (selon données du scénario AMS disponibles – une analyse plus rigoureuse nécessiterait des scénarios tendanciels pour chacun des leviers) :

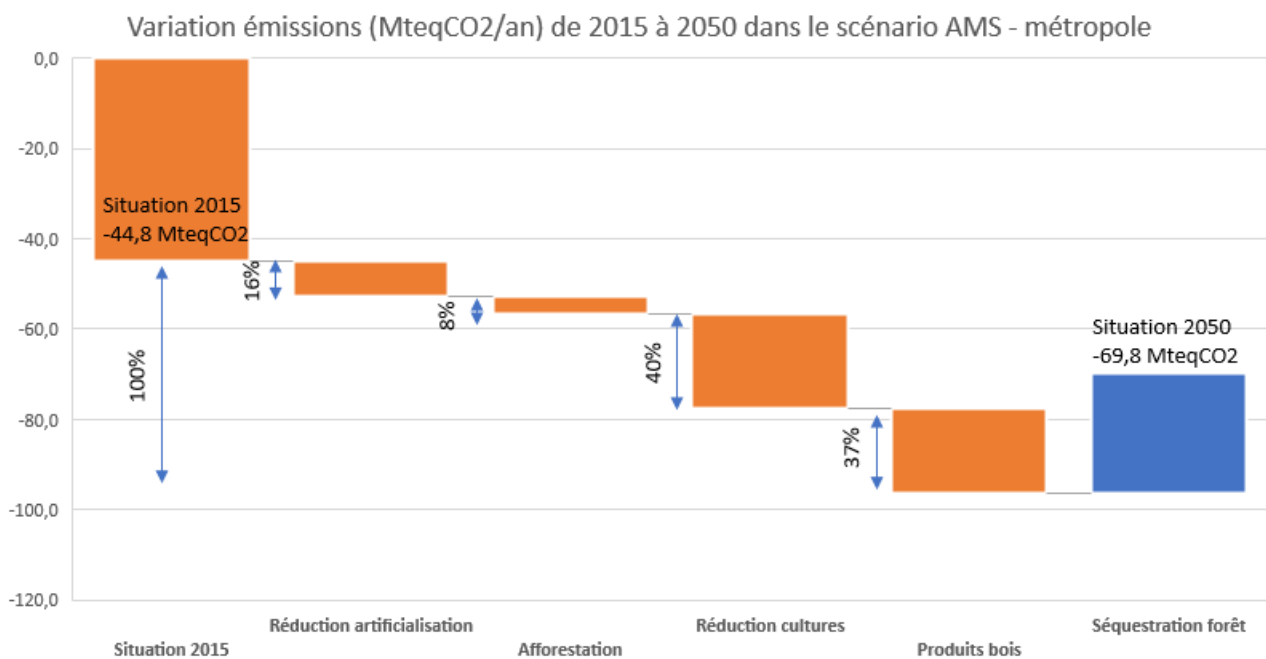


Figure 21 - Estimation du rôle de différents mécanismes dans la variation de séquestration carbone entre 2015 et 2050.

La réduction des cultures se fait a priori principalement au profit de prairies (qui séquestrent plus).

L'artificialisation semble comparativement moins déterminante que d'autres leviers selon cette analyse, ce qui ne signifie naturellement pas que son importance est moindre, du fait de ses autres effets potentiellement néfastes sur la biodiversité, l'imperméabilisation des sols, les risques d'inondations, la réduction des terres arables etc. Il est toutefois judicieux de réfléchir aux autres axes pertinents à intégrer parmi les problématiques à traiter par les SRADDET.

3.

Analyse des trajectoires énergétiques

Le poids du système énergétique dans les émissions de GES totales est important, de l'ordre de 70% actuellement, et ce de façon transversale aux différents secteurs étudiés précédemment. Il est donc crucial de se pencher sur les différentes composantes de la production et de la consommation d'énergie des documents de planification.

Un travail d'analyse des trajectoires énergétiques a déjà été effectué à l'occasion de notre précédent rapport, nous allons toutefois l'affiner ici, à la lumière de nouvelles données et de la comparaison avec différents scénarios récemment publiés.

3.1. Mise à jour de nos données

Depuis le précédent rapport, nous avons en effet pris en compte les dernières versions publiées des SRADDET, et dans certains cas amendées suite à consultation et avis de l'Autorité Environnementale. Cette mise à jour a notamment porté sur les quatre régions (Bourgogne-Franche Comté, Centre-Val de Loire, Grand-Est et Nouvelle-Aquitaine) traitées dans la toute première phase de notre étude, à partir de données non finalisées.

Dans les cas où des zones d'ombres existent dans les SRADDET, des hypothèses ont été effectuées. Un travail d'harmonisation de ces hypothèses a été mené, notamment sur :

- La trajectoire de production d'électricité d'origine nucléaire, qui a été alignée sur l'objectif de 50% du mix en 2035 (objectif LTECV), suivi d'un maintien de la capacité
- Le taux d'incorporation de biocarburants dans les carburants liquides a été aligné sur la trajectoire du scénario AMS
- Dans les régions où la consommation finale d'énergie n'a pas été désagrégée par vecteurs, les parts des différentes énergies au sein de chaque secteur évoluent de façon similaire au scénario AMS

Enfin, de petits ajustements ont été effectués sur le niveau de pertes des réseaux électriques, afin de refléter les données actuelles RTE & Enedis, et les facteurs d'émission GES des énergies fossiles ont été réévalués d'après les données Ademe (Base Carbone).

Au-delà de ces changements transversaux, d'autres ajustements ont été effectués au sein de chaque région suite à des échanges ou à la lecture de documents complémentaires.

3.2. Comparaison avec d'autres scénarios

3.2.1. Scénarios de référence

Pour approfondir l'analyse des trajectoires énergétiques des SRADDET, il convient d'en comparer la concaténation avec d'autres scénarios de prospective énergétique. A cet effet, plusieurs travaux ont été retenus, outre le scénario AMS de la SNBC2 (2020) :

- Le **scénario négaWatt 2022** (SnW22) déclinant la stratégie « sobriété, efficacité et énergies renouvelables » (2021) ;
- Les **quatre scénarios de l'ADEME** regroupés au sein de l'étude Transition(s) 2050 (2021) : S1 (génération frugale), S2 (coopérations territoriales), S3 (technologies vertes) et S4 (pari réparateur) ;
- Les **six scénarios de production électrique RTE** établis dans le cadre du travail Futurs énergétiques 2050 (2021) : M0, M1, M23, N1, N2 et N03 ;
- Le **scénario « territoires » de GRDF et GRTgaz**, qui est également une concaténation des SRADDET pour la consommation et la production de gaz dans le cadre de l'étude Perspectives gaz 2020 (2021).

Tous les scénarios retenus fixent leur horizon de temps à 2050 (sauf GRDF à horizon 2030) et étudient la France métropolitaine uniquement (sauf RTE, dont le périmètre d'étude n'inclut pas la Corse). Toutefois, là où les scénarios AMS, SnW22 et ADEME proposent une trajectoire de décarbonation pour tout le système énergétique

métropolitain, les scénarios RTE se limitent au vecteur énergétique de l'électricité et GRDF au vecteur énergétique du gaz.

Dans les paragraphes suivants, nous explorons tout d'abord les trajectoires de consommation d'énergie finale tous vecteurs confondus, puis analyserons plus spécifiquement les productions et consommations des vecteurs électricité et gaz.

L'analyse qui suit s'intéresse principalement aux objectifs long terme, et non aux objectifs court / moyen-terme tels qu'on peut les trouver dans la PPE, pour une raison méthodologique : plus on regarde les objectifs à court terme, plus "l'écart au démarrage" pèse dans l'analyse : les SRADDET ayant été réalisés pour la plupart bien avant la rédaction de la dernière PPE, le point de départ n'est pas le même, cet écart ayant un effet prépondérant sur le niveau et la crédibilité des objectifs à court terme.

3.2.2. Consommation d'énergie finale

EN RÉSUMÉ

Les SRADDET ont une trajectoire de consommation finale comparable au scénario AMS, bien qu'un peu moins ambitieuse (et de ce fait n'atteignent pas l'objectif de division par deux), et nettement moins ambitieuse que celle du SnW. Les scénarios ADEME balayent une fourchette très large, les SRADDET se situant à mi-chemin.

A niveau de consommation global proche du scénario AMS, les efforts des régions portent toutefois beaucoup moins sur le transport, un peu moins sur le tertiaire, un peu plus sur le résidentiel et beaucoup plus sur l'industrie.

La trajectoire de la consommation d'énergie finale, totale et par secteur, est essentielle pour avoir un premier aperçu des dynamiques de réduction prévues par les différents scénarios étudiés.

La consommation d'énergie finale de la concaténation SRADDET et celle du scénario AMS suivent une trajectoire assez similaire : une diminution annuelle d'environ 1,5% de la consommation d'énergie finale sur toute la période (pente quasi linéaire), mais l'écart se creuse néanmoins progressivement pour atteindre un différentiel de 71 TWh¹³ en 2050.

¹³ Il convient de noter que l'écart est même légèrement supérieur par rapport à la cible de la LTECV de division par deux de la consommation d'énergie finale par rapport à 2012, le scénario AMS arrivant légèrement au-dessus de l'objectif, de l'ordre de 25 TWh selon nos calculs.

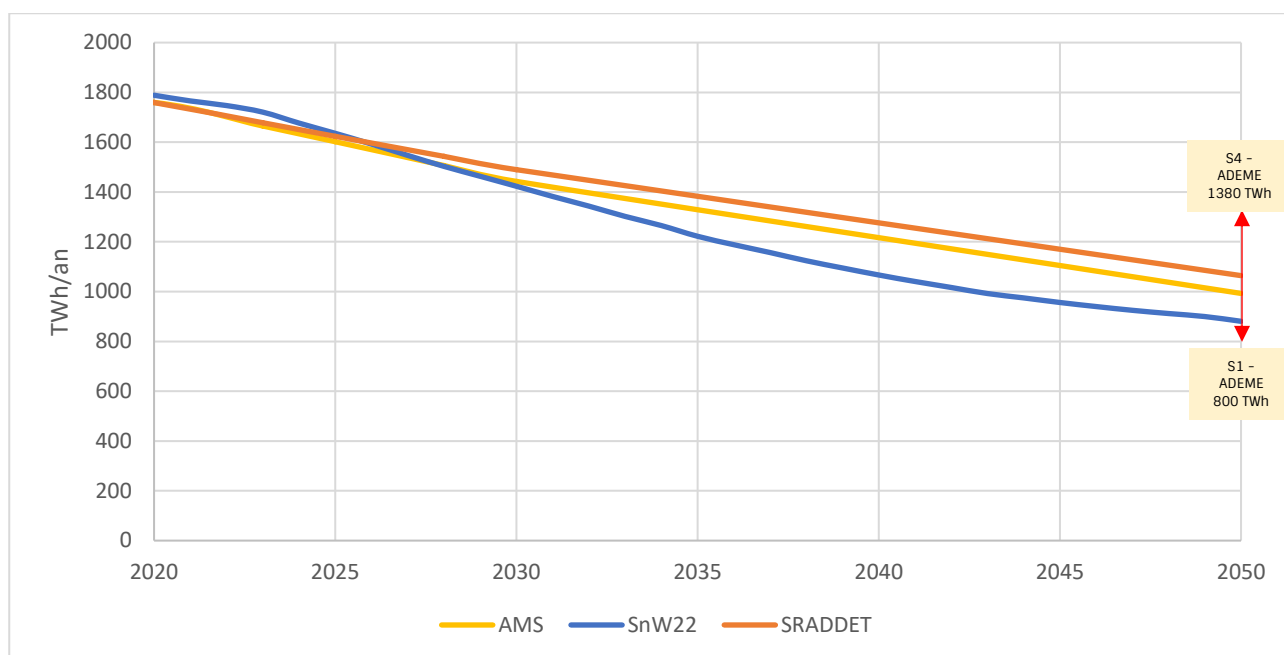


Figure 22 - Comparaison de la consommation d'énergie finale (chaleur environnement et usages non énergétiques¹⁴ inclus, en TWh PCI)

Le SnW22 suit quant à lui une trajectoire plus ambitieuse, malgré un décalage au démarrage de +67 TWh en 2020 comparativement à la concaténation SRADDET : un rythme de réduction annuelle supérieur à 3% entre 2027 et 2041 pour une moyenne de 2,8% sur toute la période. Le résultat est un écart de 153 TWh avec les SRADDET en 2050.

Les scénarios ADEME atteignent pour leur part des niveaux de consommation finale totale entre 800 TWh (S1) et environ 1380 TWh (S4) en 2050, avec un rythme moyen de réduction annuelle pour la période 2015-2050 compris entre 2,3% (S1) et 0,7% (S4). Les SRADDET se situent donc à mi-chemin de ces itinéraires très contrastés.

Dans le détail, la consommation d'énergie finale par secteur apporte un éclairage complémentaire quant aux leviers mobilisés par les différents scénarios : si le SnW22 propose une trajectoire de réduction équivalente aux SRADDET dans le secteur de l'agriculture, il se positionne de façon (beaucoup) plus marquée sur tous les autres secteurs. Cependant, la décomposition par secteur met également en évidence des différences entre le scénario SRADDET et le scénario AMS dans plusieurs secteurs : une réduction de la consommation finale d'énergie moins importante dans le transport et le tertiaire mais plus grande dans le résidentiel et l'industrie.

Tableau 4 - Réduction de la consommation d'énergie finale entre 2020 et 2050 par secteur (TWh)

| Scénario/Secteur | Industrie | Résidentiel | Tertiaire | Agriculture | Transports |
|------------------|-----------|-------------|-----------|-------------|------------|
| AMS | -58 | -186 | -108 | -24 | -301 |
| SRADDET | -128 | -193 | -80 | -14 | -213 |
| SnW22 | -174 | -280 | -99 | -14 | -353 |

¹⁴ La consommation finale non énergétique (pour usages industriels) n'ayant pas pu être calculée dans la concaténation SRADDET, faute de données suffisantes, nous avons repris la trajectoire AMS pour ce secteur afin de se placer sur un périmètre comparable aux autres scénarios.



Figure 23 - Comparaison de la consommation d'énergie finale dans le secteur des transports

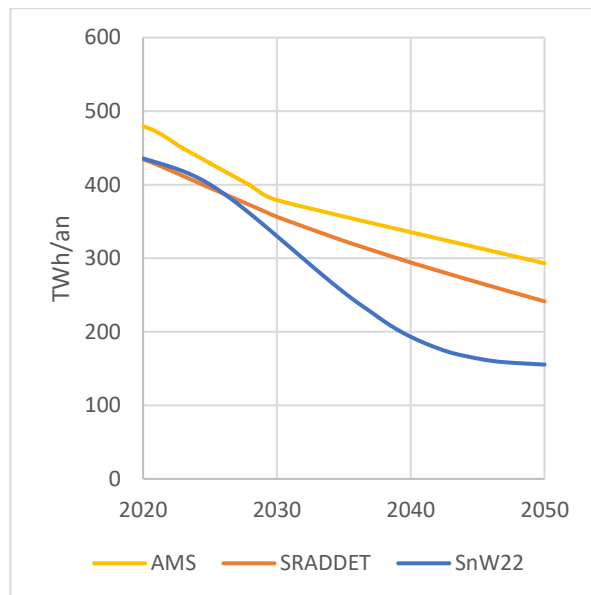


Figure 24 - Comparaison de la consommation d'énergie finale dans le secteur résidentiel

Pour autant, ces écarts peuvent aussi rendre compte des différences de périmètres (ex : prise en compte ou non du transport international) si bien qu'il convient de considérer ces résultats avec prudence.

3.2.3. Focus sur le rythme et la performance des rénovations de logements

EN RÉSUMÉ

Dans l'ensemble, les Régions postulent un rythme de rénovation supérieur aux scénarios AMS et SnW22, mais les niveaux de performance visés sont très hétérogènes et n'atteignent pas dans l'ensemble des niveaux suffisants, ce qui pointe un choix implicite de rénovation « par gestes » (à contrario des rénovations « complètes et performantes »).

En conséquence, les réductions de consommation finale des Régions sont comparables au scénario AMS, mais restent inférieures au SnW22.

La somme des Régions envisage un rythme annuel de rénovations supérieur aux scénarios AMS et SnW22 (sauf les régions PACA et Corse), soit un total de 825 000 logements rénovés par an dans la concaténation SRADDET, contre 583 000 dans la SNBC2 et 671 000 dans le SnW22 (en moyenne).

Il convient toutefois de dépasser ce simple constat, et de déterminer si :

- les rythmes de rénovations envisagés sont compatibles avec les parcs existant
- le niveau de performance visé par ces rénovations est satisfaisant

Concernant le premier point, le nombre annuel de rénovations tiré des SRADDET a été ramené aux nombres de logements par région en 2018 (source INSEE), il s'agit des barres bleues sur la Figure 25. Pour le second point, en l'absence de données détaillées sur la part du chauffage dans la consommation finale, nous avons pris de façon conservatrice la réduction totale de la consommation du secteur bâtiment en 2050 (vs. 2020), il s'agit des points orange sur la Figure 25.

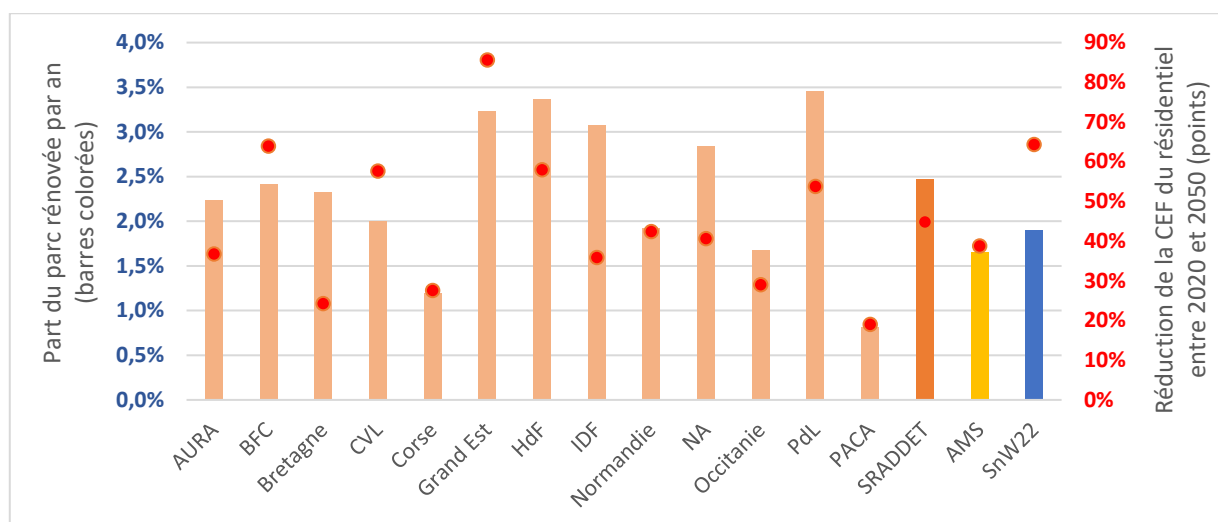


Figure 25 - Part relative du parc de logements rénovés et nombre de logements par an et par région (en moyenne) d'après les SRADDET, la SNBC2 et le SnW22 sur la période 2020-2050¹⁵

Les Régions prévoient un niveau d'effort assez hétérogène, quatre d'entre elles prévoyant un rythme annuel de rénovation supérieur à 3% (Grand-Est, Hauts-de-France, Île-de-France et Pays-de-la-Loire), ce qui soulève les questions de faisabilité et/ou de niveau de performance visé.

Malgré un nombre de rénovations beaucoup plus élevé, la concaténation SRADDET parvient à une diminution de la consommation d'énergie finale du secteur résidentiel entre 2020 et 2050 (hors chaleur environnement PAC) de seulement -45% (240 TWh_{PCI} en 2050). C'est donc plus ambitieux que le scénario AMS (-39%, soit 293 TWh_{PCI} en 2050) mais beaucoup moins que le SnW (-64%, soit 155 TWh_{PCI} en 2050). Cela peut s'expliquer non seulement par le niveau de performance des rénovations prévues, mais aussi par des hypothèses différentes sur la sobriété et sur l'efficacité des systèmes de chauffage.

Le niveau de performance ou le type de rénovations (complète, partielle, mono-geste) n'est malheureusement pas documenté de façon aussi systématique dans les SRADDET, même si le niveau BBC est fréquemment cité comme objectif à terme. Nous avons donc cherché à reconstruire de façon simplifiée les hypothèses prises à ce niveau, en ramenant la réduction totale de la consommation d'énergie finale du secteur au nombre de logements rénovés (cf. Figure 26).

¹⁵ On considère un parc de logements par région fixe à partir des données Insee de 2018 pour simplifier le calcul, étant donné que la croissance du parc de logements est plutôt négligeable en proportion du parc de logements existant, et a vocation à se ralentir dans le cadre du « zéro artificialisation nette ».

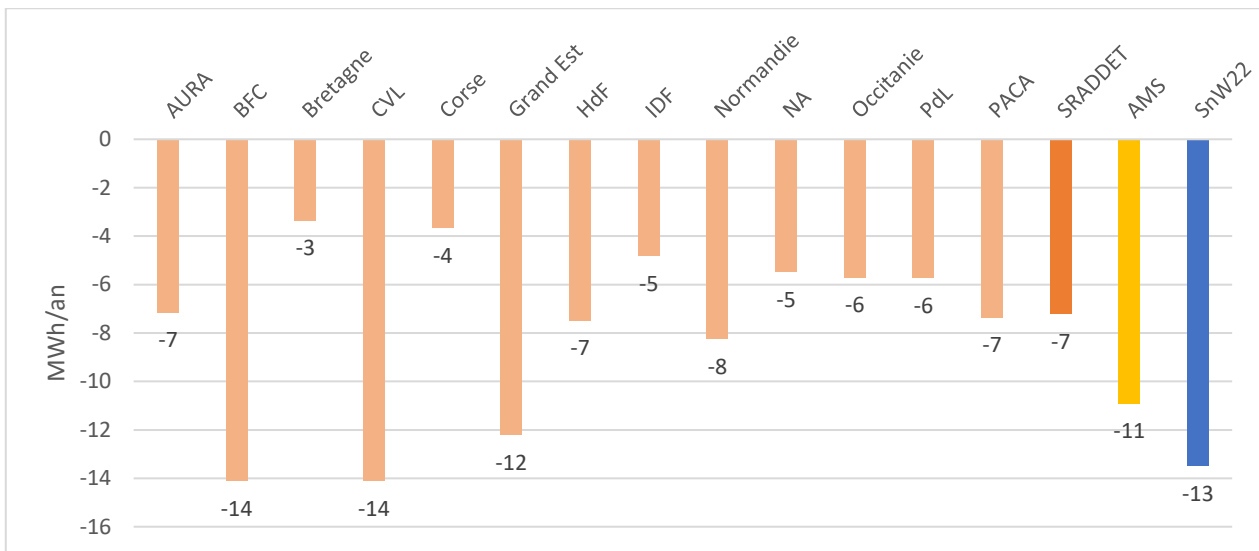


Figure 26 - Diminution moyenne annuelle de la consommation d'énergie finale du secteur résidentiel par logement rénové et par région entre 2020 et 2050 (hors chaleur environnement PAC)¹⁶

On constate que le scénario AMS prévoit une baisse moyenne annuelle de la consommation d'énergie finale supérieure à la concaténation SRADEET : -11 MWh_{PCI}/an contre -7 MWh_{PCI}/an. Le scénario négaWatt pour sa part va encore plus loin avec -13 MWh_{PCI}/an.

La décomposition par région de la diminution moyenne annuelle de la CEF par logement rénové met également en évidence des niveaux d'ambition très variés : de 3-4 MWh_{PCI}/an à 12-14 MWh_{PCI}/an d'économies d'énergie par logement rénové. Trois catégories se distinguent : les régions supérieures à 10% (Bourgogne-Franche-Comté, Centre-Val-de-Loire et Grand Est), comparables aux scénarios AMS et SnW22 ; les régions inférieures à 5% (Bretagne, Corse, Ile-de-France, Nouvelle Aquitaine) et les régions intermédiaires.

3.2.4. Vecteur électricité

EN RÉSUMÉ

Les SRADEET se situent plutôt sur la fourchette basse des scénarios en termes de production éolienne et PV, avec une préférence assez marquée pour le solaire, et une répartition géographique qui ne respecte pas toujours les potentiels techniques des différentes filières (certaines régions surexploitent leur gisement, et plus souvent le sous-exploitent).

Côté consommation, les SRADEET se placent dans une situation de relatif statu quo comparativement aux autres scénarios, avec un niveau de consommation global médian, et une progression de la part de l'électricité dans la consommation totale globalement faible.

La comparaison de la production éolienne & photovoltaïque avec la consommation d'électricité tend à placer les SRADEET implicitement sur une trajectoire de prolongation, voire relance, du nucléaire, sans que le sujet soit pour autant abordé de façon explicite.

Dans cette partie, il sera à la fois question de la production et de la consommation d'électricité.

Concernant la production, la question des facteurs de charge des éoliennes et du solaire PV doit être abordée. En effet, si tous les SRADEET fournissent des trajectoires de production énergétique (en TWh), tous ne précisent pas les capacités installées (en GW). C'est pourquoi, à partir de données régionalisées de l'ADEME¹⁷ et d'une trajectoire d'amélioration des rendements moyens des technologies de production renouvelables, nous avons

¹⁶ Après vérification, la prise en compte de la chaleur environnement (source froide PAC) et la correction des variations climatiques par l'utilisation des degrés-jour unifiés ne remettent pas en cause ces ordres de grandeur

¹⁷ Mix électrique 100% renouvelable ? Analyses et optimisations. ADEME, 2016.

pu reconstituer les capacités installées pour les 7 Régions¹⁸ n'ayant pas précisé les facteurs de charge moyens locaux. Un tableau disponible en annexe précise les hypothèses retenues pour ces sept Régions, et les hypothèses faites par les Régions ayant explicité les facteurs de charge du PV et de l'éolien dans leur SRADDET.

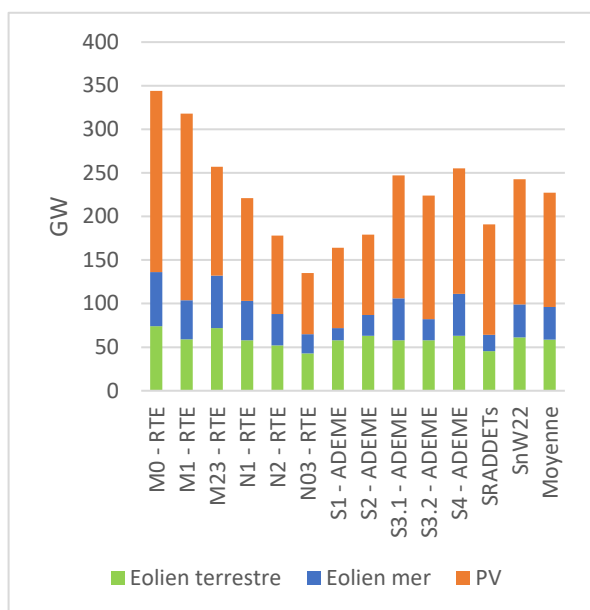


Figure 27 - Comparaison des capacités installées éoliennes et PV en 2050

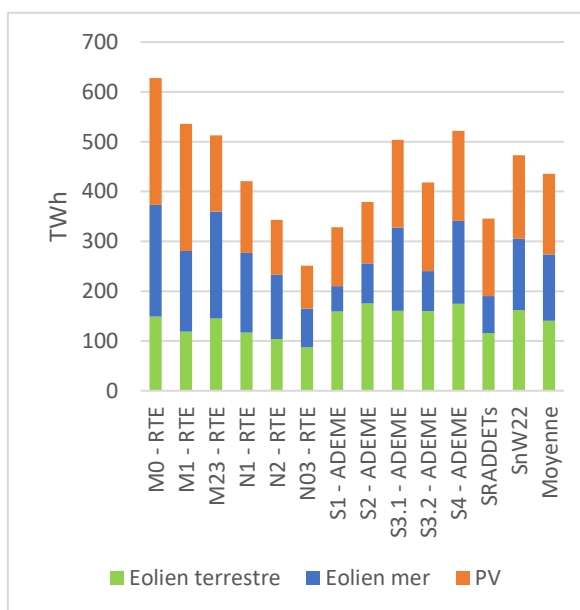


Figure 28 - Comparaison de la production électrique éolienne et PV en 2050

La comparaison des capacités installées et de la production électrique de l'éolien et du PV en 2050 semble indiquer que les objectifs des Régions françaises sont généralement inférieurs aux cibles des autres scénarios étudiés, sauf le scénario sobriété de l'ADEME (S1) et les deux scénarios les plus nucléarisés de RTE (N2 et N03). Plus particulièrement, les capacités installées éoliennes issues de la concaténation SRADDET sont inférieures aux capacités installées éoliennes prévues par tous les autres scénarios retenus, même le scénario sobriété de l'ADEME (-8GW) et le scénario N03 de RTE (-1GW).

Bien que le total des capacités installées éoliennes et photovoltaïques soit a priori plutôt cohérent avec les scénarios de sobriété ADEME et N2 de RTE, leur répartition relative (34% d'éolien sur le total) apparaît comme plutôt proche du scénario « diffus » 100% renouvelables M1 de RTE (33%) et du scénario « technologies vertes » (variante nucléarisée) ou S3.1 de l'ADEME (37%). Tous les autres scénarios ont une part d'éolien comprise entre 40 et 50% du total des capacités installées éoliennes et photovoltaïques.

Cela étant, les hypothèses relatives aux facteurs de charge moyens peuvent expliquer cette répartition relative différente en fonction des scénarios. De fait, alors que RTE fait l'hypothèse d'un facteur de charge moyen de 23% pour l'éolien terrestre et de 41% pour l'éolien en mer en 2050, les SRADDET considèrent un facteur de charge moyen de 29% pour le premier et de 46% pour le second. En revanche, tous les scénarios s'accordent sur le facteur de charge moyen du PV (entre 13 et 15%, hors Corse). Toutefois, seules 6 Régions sur 13 ont explicité des hypothèses sur les facteurs de charge, ce constat est donc à nuancer.

Par ailleurs, les objectifs de développement du PV sont très inégaux entre les différentes Régions : si l'on s'en tient à ses objectifs SRADDET, la Région PACA produirait environ 60 TWh d'électricité photovoltaïque en 2050, soit 39% de la production totale d'électricité photovoltaïque à l'échelle nationale. Cela correspond à une capacité installée d'environ 47 GWc, soit une puissance largement supérieure aux hypothèses les plus élevées de RTE pour cette Région (35 GWc). Inversement, la plupart des régions se placent sur la fourchette basse des estimations RTE, cf. Figure 29.

¹⁸ Bretagne, Centre-Val de Loire, Grand-Est, Hauts-de-France, Ile-de-France, Normandie, Pays-de-la-Loire.

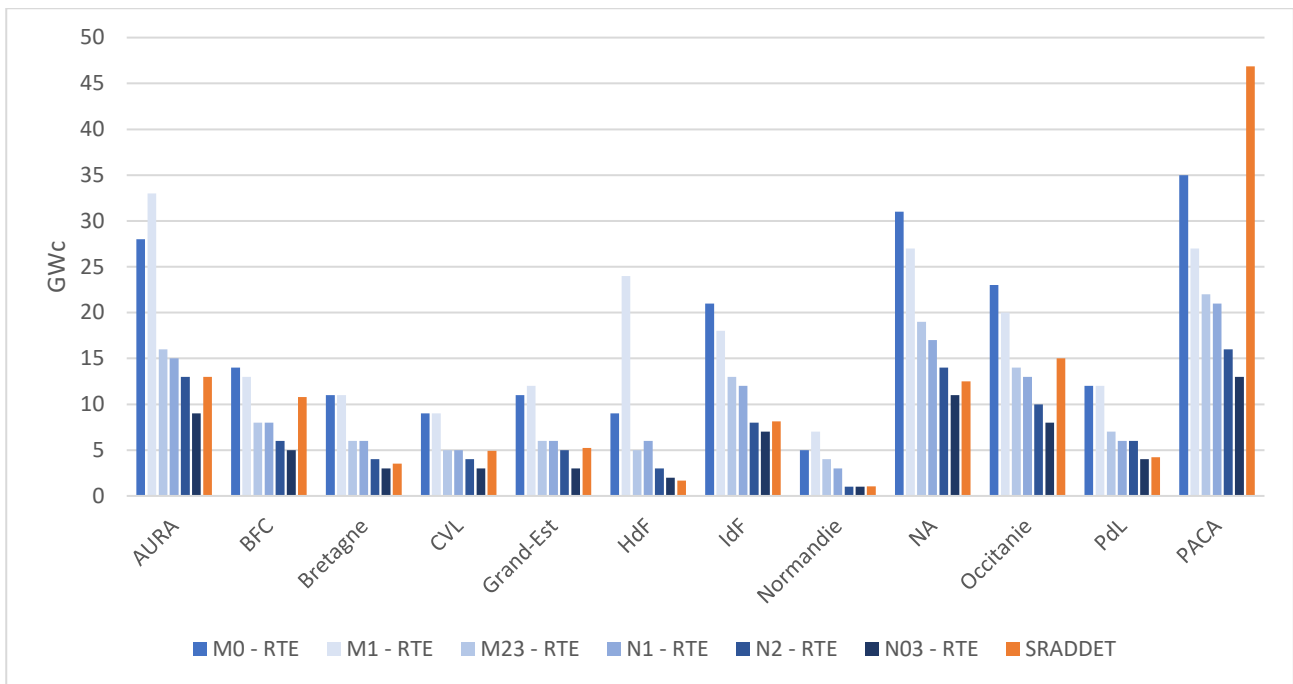


Figure 29 - Capacité installée de PV par Région (scénarios RTE et concaténation SRADDET)

Concernant l'éolien terrestre, les résultats SRADDET dépendent beaucoup des hypothèses sur les facteurs de charge, mais les régions semblent se situer à nouveau plutôt sur la fourchette basse des estimations RTE, à quelques exceptions près (et notamment un écart étonnant sur PACA).

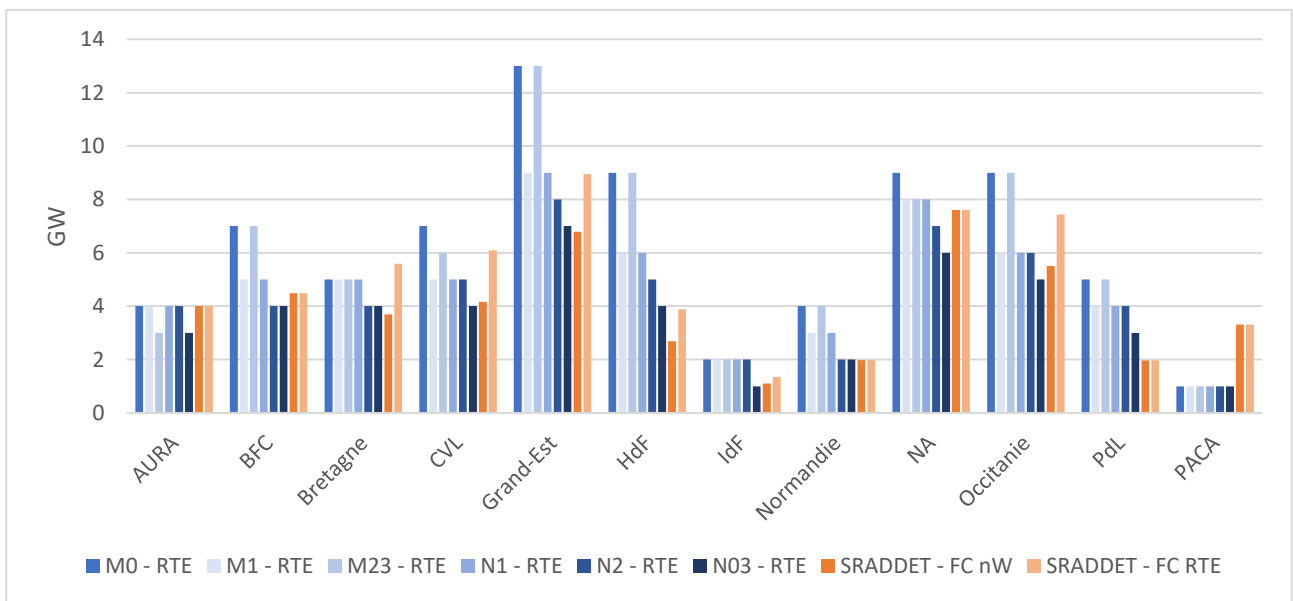


Figure 30 - Capacité installée d'éolien terrestre par Région (scénarios RTE et concaténation SRADDET)¹⁹

A l'exception de la Nouvelle Aquitaine, le potentiel éolien marin est plutôt sous-mobilisé, comme indiqué dans la Figure 31.

¹⁹ FC nW = calcul des capacités installées à partir de la modélisation nW ou directement issu des SRADDET. FC RTE = recalcul des capacités installées à partir de la production électrique en 2050 et du facteur de charge moyen du parc de production en 2050 dans les scénarios RTE (pour les régions n'ayant pas défini de facteur de charge)

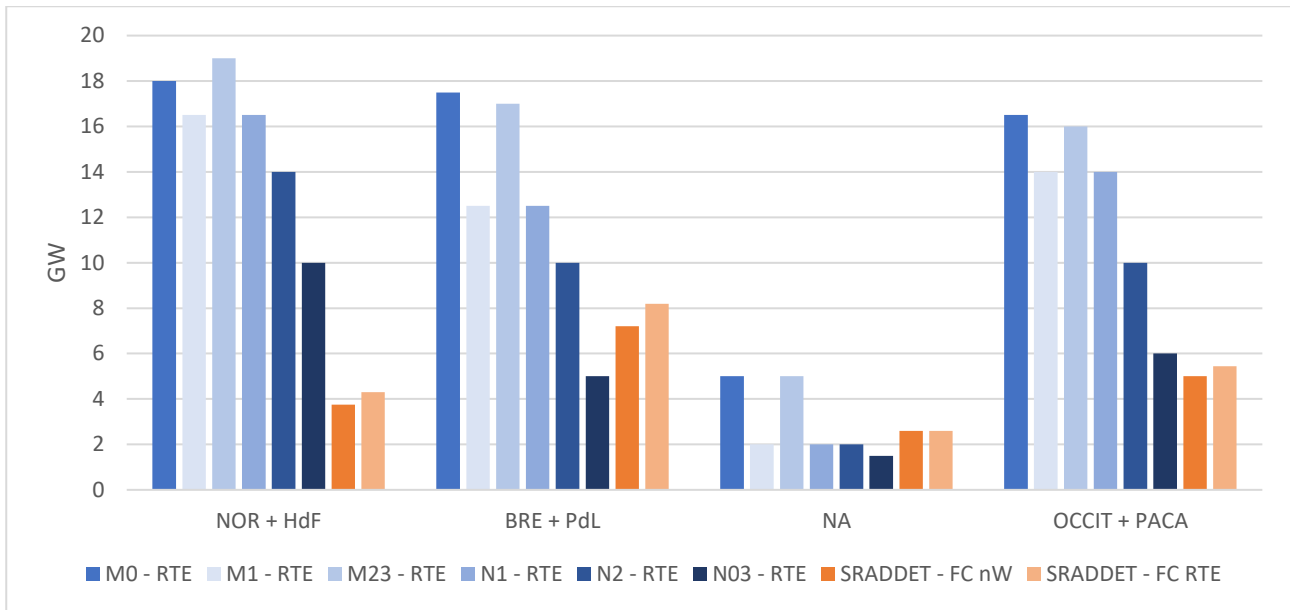


Figure 31 - Capacité installée d'éolien marin par Région (scénarios RTE et concaténation SRADDET)

Côté consommation, les scénarios font des hypothèses très différentes : de 839 TWh pour le scénario « pari réparateur » de l'ADEME (S4) à 408 TWh dans le scénario sobriété de l'ADEME (S1). Entre les deux, la concaténation SRADDET fait l'hypothèse d'une consommation totale d'électricité en 2050 très proche de celle du SnW22 : 487 TWh (contre 504 TWh dans le SnW22). C'est toutefois largement inférieur à la trajectoire de référence des scénarios RTE (qui s'aligne sur le scénario AMS de la SNBC) et même à sa variante sobriété, non représentée sur le graphique ci-dessous (555 TWh).

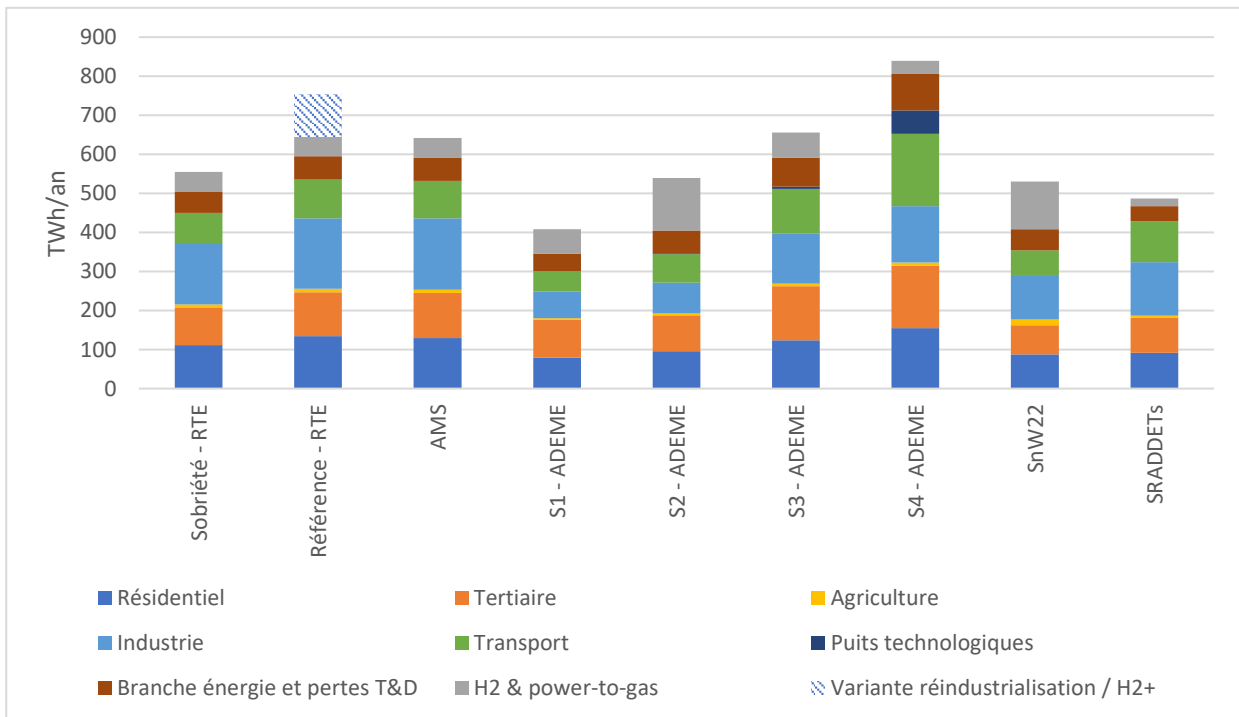


Figure 32 - Comparaison de la consommation totale d'électricité en 2050 (consommation finale et usages power-to-gas)

La répartition sectorielle de cette consommation est également très différente. Non seulement la concaténation SRADDET fait l'hypothèse la plus basse de consommation d'électricité pour la production d'hydrogène (20 TWh), ce qui pose question pour ce qui est de l'absorption d'excédents d'EnR non pilotables, mais ses ambitions sont de plus très contrastées en fonction des secteurs : sa consommation d'électricité pour les secteurs résidentiel et tertiaire est plutôt en phase avec celle du SnW22 et du S1 de l'ADEME, tandis

que sa consommation d'électricité pour le secteur des transports correspond plutôt à celle de la trajectoire SNBC et celle pour l'industrie aux scénarios S3 et S4 de l'ADEME.



Figure 33 - Comparaison de la consommation finale d'électricité (hors branche énergie) entre 2015 et 2050

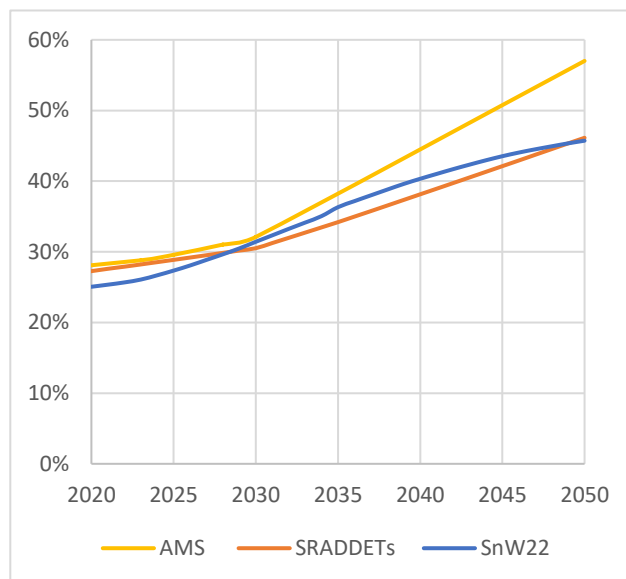


Figure 34 - Comparaison de la part d'électricité dans la consommation finale d'énergie entre 2015 et 2050

Par ailleurs, l'étude de la trajectoire de consommation finale d'électricité du scénario SRADDET semble indiquer que celui-ci adopte une position intermédiaire entre le scénario AMS et le SnW22 pour la consommation finale d'électricité, et une position comparable au SnW22 pour la part de l'électricité dans la consommation finale d'énergie.

Enfin, une remarque s'impose. Dans le scénario SRADDET, les capacités installées éoliennes et PV en 2050 permettent de produire 346 TWh d'électricité, soit 71% de la consommation totale d'électricité. Or, dans les deux seuls scénarios dénucléarisés en 2050, cette part atteint 97% (RTE M0) et 94% (SnW22), c'est-à-dire 23 à 26 points de plus. Implicitement, cet écart pose la question de la place du nucléaire dans le mix électrique du scénario SRADDET, ou de l'importation massive d'électricité, ou encore du recours à des moyens de production fossiles. De fait, la part de la production éolienne et PV dans la consommation totale d'électricité en 2050 est non seulement largement inférieure à celle des scénarios dénucléarisés mais aussi et surtout très proche des scénarios prévoyant :

- Soit une prolongation du parc nucléaire « historique » (M1, M23, S1, S2, S3.1) jusqu'en 2050 ;
- Soit une prolongation du parc nucléaire « historique » et la mise en service de réacteurs nucléaires de nouvelle génération (N1, N2, N03, S3.2, S4).

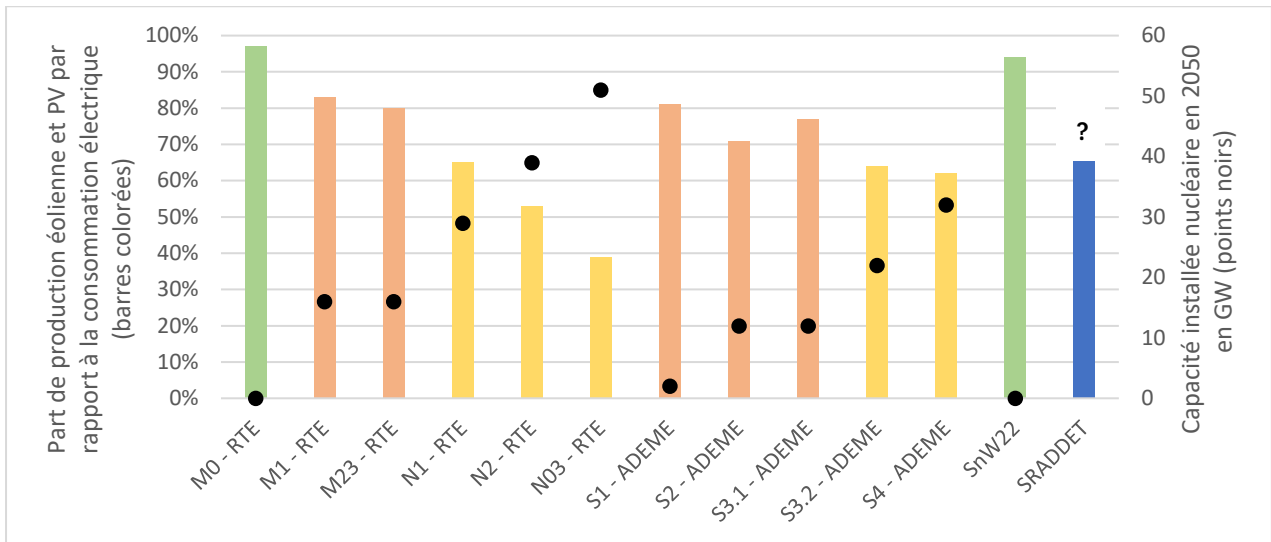


Figure 35 - Part de production éolienne et PV par rapport à la consommation électrique totale en 2050²⁰ et capacité installée nucléaire en 2050

3.2.5. Vecteur gaz

EN RÉSUMÉ

Les régions se positionnent de façon comparable aux scénarios de référence sur la production de gaz renouvelable, excepté pour le power-to-gas, qui est peu abordé.

Néanmoins la réduction du niveau de consommation finale de gaz est beaucoup moins forte, ce qui impose des niveaux d'importation significatifs en 2050, et annule ainsi les bénéfices attendus de l'effort consenti sur la production.

Ces résultats sont néanmoins sujets à caution, du fait de nombreuses incertitudes dans les SRADDET sur les filières de production, et la part de gaz dans la consommation finale.

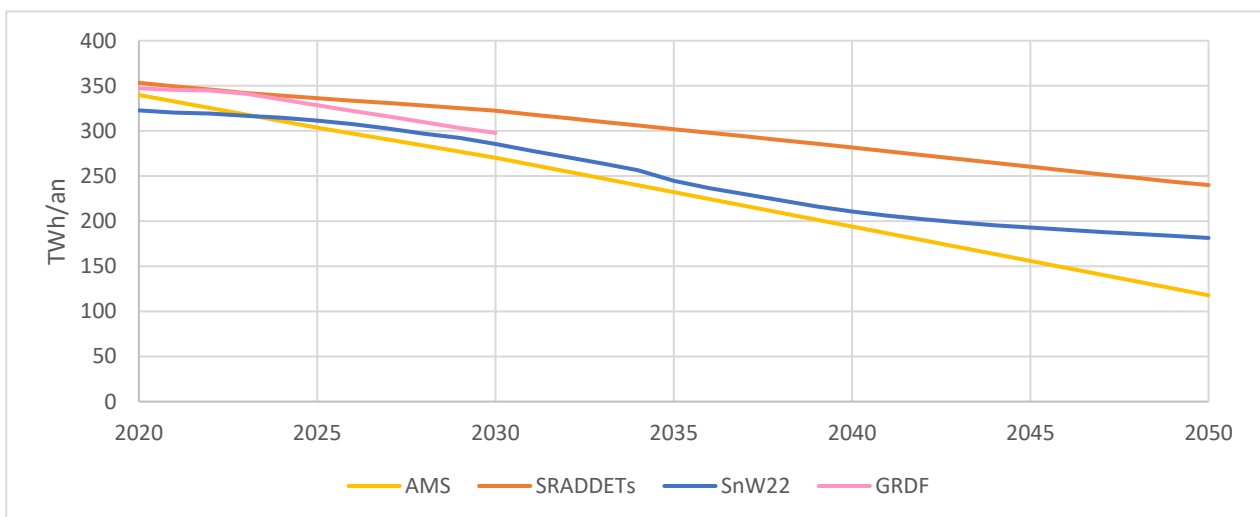


Figure 36 - Comparaison de la consommation finale de gaz entre 2015 et 2050

²⁰ (vert = 0 GW de nucléaire ; rouge = nucléaire historique encore en fonctionnement ; jaune = nouveau nucléaire ; bleu = incertitude)

Dans la concaténation SRADDET, la consommation finale de gaz (c'est-à-dire hors 22 TWh de biogaz à usage local, consommations non énergétiques et pertes sur le réseau) diminue significativement en 2050 pour atteindre 240 TWh, ce qui reste bien plus élevé que dans le SnW22, le scénario AMS et trois des quatre scénarios ADEME (S1, S2, S3). Seul le scénario « pari réparateur » (S4) la dépasse largement. La concaténation SRADDET effectuée par GRDF, GRTgaz, Spegnn et Teréga dans le cadre de l'étude Perspectives Gaz 2020 semble alignée avec la concaténation réalisée par négaWatt pour la production de biométhane par méthanisation, mais aboutit à des résultats sensiblement différents pour la consommation finale de gaz en 2030. Cet écart peut s'expliquer par l'ambiguïté de certaines Régions concernant l'évolution de la part du gaz dans leur consommation finale : les hypothèses prises par cette étude à ce niveau ont probablement divergé des nôtres (pour rappel nous avons choisi d'aligner l'évolution de ces Régions sur les parts vectorielles du scénario AMS, en repartant de données historiques).

Coté production de gaz renouvelable, on distingue différentes filières :

- La **méthanisation**, filière historique qui demeure prépondérante dans les différents scénarios étudiés
- La **pyrogazéification** de biomasse solide (ou de déchets) : technologie présente dans la plupart des scénarios dans des proportions variables
- Le « **power-to-gas** » : production d'hydrogène d'origine renouvelable, puis conversion en méthane par procédé de « méthanation »

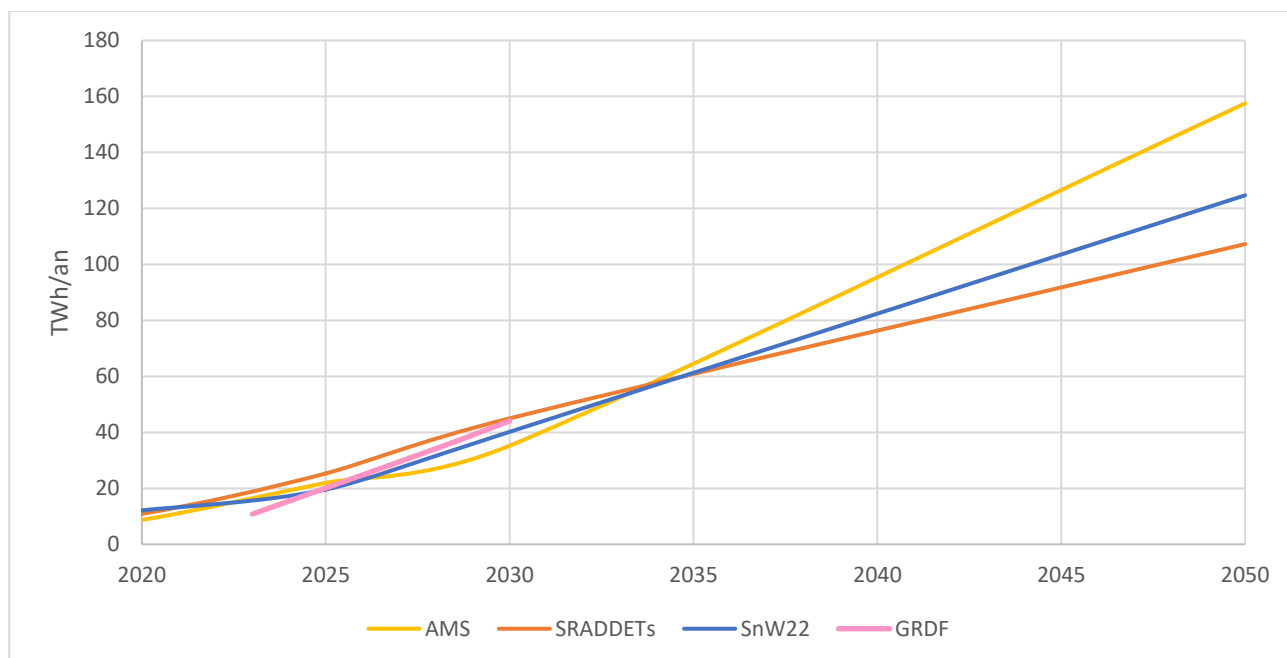


Figure 37 - Comparaison de la production de biométhane par méthanisation entre 2015 et 2050

Pour ce qui est de la production de biométhane par méthanisation, tous les scénarios étudiés proposent un développement soutenu pour atteindre en 2050 entre 91 TWh (S1) et 158 TWh (AMS – voir 202 TWh pour sa variante « gaz haut ») pour la production de biogaz (biométhane + biogaz à usage local). En part du mix gazier, ces niveaux de production permettent de satisfaire entre 35% (S4) et 96% (AMS) de la demande de gaz, ce qui en fait la principale source locale de gaz renouvelable. Dans la concaténation SRADDET, la production de biogaz par méthanisation atteint *a priori*²¹ 129 TWh, dont 107 d'injection sur le réseau et 22 à usage local (essentiellement de la cogénération), ce qui place les Régions à un niveau comparable au SnW22 et au scénario S4, mais inférieur au scénario AMS (et a fortiori sa variante « gaz haut »), et supérieur aux scénarios S1 à S3 de l'ADEME.

²¹ Il convient de nuancer ce chiffre car, pour la concaténation SRADDET, la production de gaz renouvelable a été affectée à 100% à la méthanisation dans plusieurs Régions faute de données sur la répartition entre les différentes technologies de production de gaz renouvelable (méthanisation, pyrogazéification et méthanation).

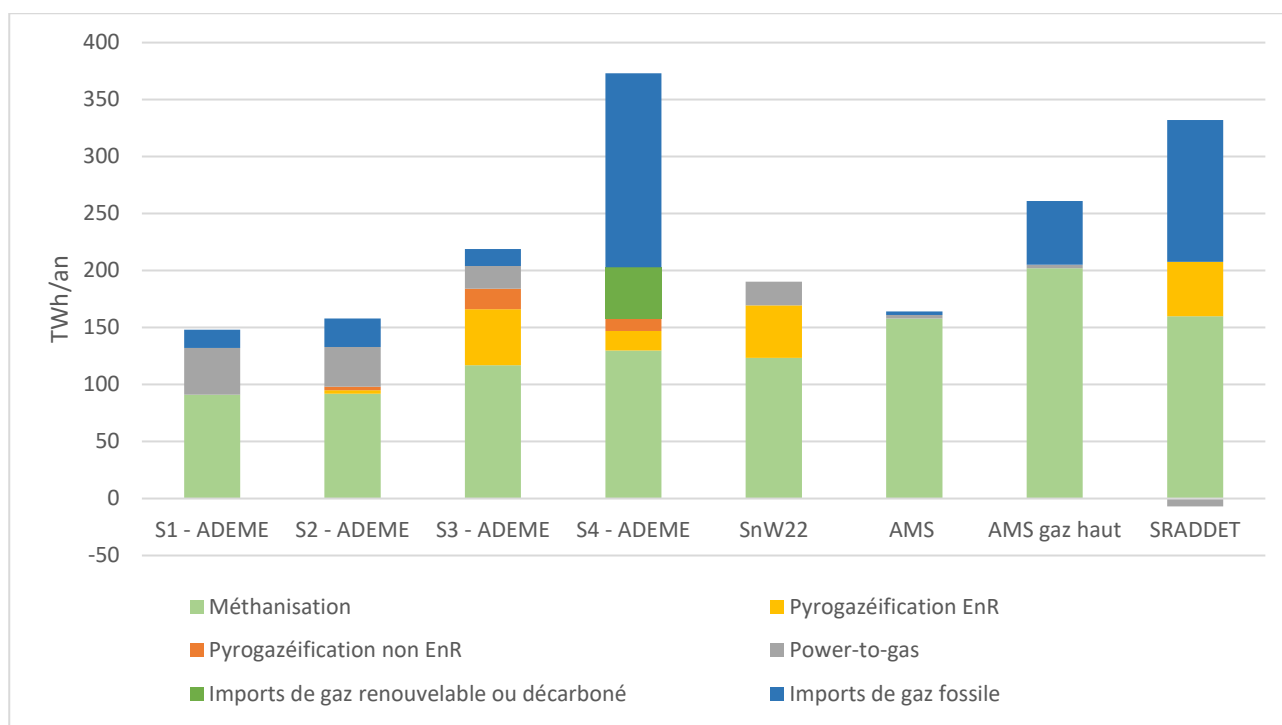


Figure 38 - Comparaison du mix gazier (y compris usages locaux) en 2050

En dehors de la méthanisation, la concaténation SRADDET prévoit une production de gaz par pyrogazéification plutôt élevée en 2050 (32 TWh), comparable aux scénarios les mieux disants (SnW, et S3), ce qui n'est pas le cas de la SNBC2 qui mentionne à peine la pyrogazéification (et la méthanation). Cela étant, ce résultat dépend largement des trois Régions Grand-Est (16 TWh), Bourgogne-France-Comté (5 TWh) et PACA (4 TWh). Les scénarios ADEME S1 et S2 n'envisagent pas le développement de cette filière « *faute de ressource disponible* »²², le bois étant essentiellement alloué aux secteurs de la construction, de la rénovation et du bois-énergie.

Enfin les SRADDET mentionnent assez peu le développement de la méthanation (9 TWh en 2050) : ce moyen de production est essentiellement présenté comme une technologie de rupture, encore en phase de R&D, qui pourrait contribuer au mix gazier en 2050 mais dont la production n'est souvent pas détaillée ni quantifiée.

En combinant les différentes filières de production, le niveau de production local reste dans des ordres de grandeurs relativement comparables entre les différents scénarios. En revanche, la très grande disparité des niveaux de consommations envisagés aboutit à des importations de gaz contrastées. Si les scénarios AMS et SnW22 visent une autonomie totale (ou presque) sur ce vecteur, la plupart des scénarios gardent des importations de gaz en 2050. A niveau de consommation comparable avec le SnW22, les scénarios S1 et S2 de l'ADEME ne parviennent pas à l'autonomie, malgré un fort développement du *power-to-gas*, du fait de l'absence de la pyrogazéification dans le mix gazier. Les besoins d'importation de gaz fossile sont les plus importants dans le scénario « pari réparateur » ou S4 de l'ADEME (170 TWh + 45 TWh de gaz importé considéré comme décarboné) et dans la concaténation SRADDET (124 TWh – par conservatisme, tous les imports de gaz ont été considérés comme fossiles). Or, le S4 a une consommation de gaz très élevée en 2050 (371 TWh) et fait l'hypothèse que les investissements économiques soutiendront le développement des solutions de captage de CO₂ plutôt que les technologies de production de gaz renouvelable, ce qui n'est pas exprimé ainsi dans les SRADDET.

De fait, peu de Régions se trouvent en position d'autonomie (et a fortiori d'exportation) de gaz renouvelable en 2050. Plus qu'un enjeu d'augmentation de la production de gaz renouvelable, les Régions ont surtout un effort à faire sur la réduction de la consommation de gaz.

²²p389 du rapport complet Transition(s) 2050.

4.

Recommandations méthodologiques

Ce travail a soulevé une hétérogénéité de pratiques entre régions, au niveau de la prospective et de la comptabilité climat, pour certaines déjà identifiés dans le rapport 2020 du Haut Conseil pour le Climat. Ce constat rejoint également le nôtre sur la partie système énergétique des SRADEET. Nous allons donc évoquer dans ce chapitre quelques points de vigilance, et des pistes d'amélioration pour faciliter le travail de concaténation des documents régionaux et la bonne articulation avec l'échelon national.

Comme souligné plus haut, l'une des difficultés identifiées est la désynchronisation des exercices de prospective entre l'échelon régional et national, avec en outre des disparités de calendrier entre régions (cf. SRADEET vs. SRCAE et SAR, qui s'étalent sur une période de quasiment 10 ans).

La synchronisation de ces différents acteurs/exercices peut sembler complexe, et n'est pas forcément souhaitable entre les échelons régional et national, car l'aller-retour entre les deux est intéressant, ce qui n'est possible que si les deux se « répondent » avec un certain temps de décalage.

Il semble en revanche pertinent que cette synchronisation ait lieu entre les différentes régions, a fortiori avec un cadre de référence clair et partagé, dans un contexte où les engagements nationaux sont évolutifs. Ce cadre commun pourrait prendre la forme d'une référence à un ou des document(s) précis (ex. Loi Energie Climat 2019, SNBC 2...), ou mieux, expliciter clairement les objectifs nationaux à retenir en termes de réduction de GES, de maîtrise de la demande, et de production renouvelable. Au-delà de son caractère plus explicite, cette dernière option permettrait aussi plus de flexibilité/réactivité pour anticiper de prochaines évolutions pressenties de la SNBC, pouvant refléter des engagements climatiques internationaux récents (notamment le paquet législatif européen « Fit for 55 / Paré pour 55 », renforçant les ambitions à l'échéance 2030), non encore formalisés dans la réglementation et la stratégie nationale.

Pour aller plus loin, les trajectoires d'évolution du mix énergétique et du contenu carbone des vecteurs énergétiques interconnectés (électricité et gaz) issues du scénario AMS pourraient, sans être imposés, être partagées de façon transparente auprès des régions, afin d'encourager une meilleure cohérence globale... avec à la suite une analyse de la cohérence ou non de ces trajectoires nationales, avec la concaténation des exercices régionaux (ce qui peut aussi donner lieu à une réévaluation de la stratégie nationale, dans une boucle de rétroaction vertueuse).

Une révision à échéance fixe des documents régionaux n'est pour l'instant pas prévue, en dehors du choix laissé aux régions de revoir leur SRADEET dans les 6 mois suivant les dernières élections régionales. Mais il va donc se présenter très rapidement un cas concret : certaines régions vont peut-être mettre à jour leur document, alors que la France a mis à jour la SNBC, et réfléchit déjà à sa 3^{ème} édition, avec en toile de fond des engagements renforcés pour 2030, à la suite du récent Plan climat européen... C'est une bonne occasion de clarifier/réactualiser la référence à suivre pour les régions.

Par ailleurs, dans ce contexte d'engagements nationaux et internationaux évoluant régulièrement dans le sens d'une ambition toujours plus forte (en partie pour compenser des écarts à l'objectif), il semble inévitable que les engagements régionaux soient régulièrement réhaussés à leur tour, ce que nous voyons ici concrètement avec le passage de la SNBC 1 à la SNBC 2. Si ce travail peut être laissé à l'appréciation des régions, un cadre de dialogue inter-régional paraît néanmoins indispensable pour s'assurer que le niveau visé est bien atteint. On peut saluer l'initiative engagée, et proposée dans le cadre de la Convention Citoyenne pour le Climat, d'intégrer les Régions à la révision des objectifs de la PPE... Cette démarche salutaire mériterait d'être étendue aux aspects de maîtrise de la demande, et de réduction des émissions GES.

Sur le plan purement méthodologique, il conviendrait d'uniformiser le format de rendu des trajectoires d'émission dans les SRADEET :

- **Choix d'un format de comptabilité des émissions unique** : le choix du format SECTEN peut faire sens vis-à-vis du scénario AMS, tout comme le format PCAET est également logique pour la bonne articulation avec les échelons infrarégionaux. Si ce dernier format (actuellement majoritaire) est retenu, il serait alors utile de fournir les trajectoires AMS sous ce format également, pour une comparaison plus aisée.
- Corollaire du point précédent : il convient de **clarifier la liste et le périmètre des différents secteurs d'émission à faire apparaître** (par ex. avec ou sans sources internationales, industrie de l'énergie, déchets...), avec une demande explicite d'exprimer les trajectoires par secteurs et non en réduction globale, laquelle peut masquer une modélisation approximative et ne facilite en tout cas pas le travail d'analyse critique de la bonne prise en compte des objectifs sectoriels nationaux.
- De même, **clarifier les méthodes de comptabilité des gaz à adopter** (PRG et liste des gaz pris en compte, avec ou sans prise en compte des traînées de condensation des avions...). A minima, il conviendrait que les documents soient explicites dans leurs choix à ce niveau, ce qui n'est actuellement pas le cas.
- Rappeler les **échéances à faire figurer dans les trajectoires**, tels qu'exprimées dans l'article R4251-5 du CGCT²³ : actuellement 2021, 2026, et 2030 et 2050. Si certaines régions l'ont fait, ce n'est pas le cas de toutes.

Ce travail d'uniformisation pourrait se faire via la définition d'un cadre de dépôt standard, sur le modèle de ce qu'a mis en place l'ADEME, pour les Plans Climat Air-Energie Territoriaux (PCAET).

Enfin, le secteur UTCATF est devenu un sujet d'ampleur au niveau national et international, et devrait donc idéalement se retrouver à l'échelon régional. Au-delà des aspects « artificialisation des sols » déjà traités, il conviendrait d'aborder de façon plus précise et quantifiée les efforts portant sur le stockage carbone dans les forêts, les arbitrages entre prairies et surfaces cultivées, le développement des produits bois etc.

L'empreinte carbone est un autre indicateur devant faire son apparition dans la SNBC, les régions pourraient donc anticiper cette évolution du cadre national, en démarrant la réflexion sur cette notion épineuse d'un point de vue méthodologique, pour un échelon infranational ne disposant pas des mêmes facilités statistiques... Certains OREC comme l'Observatoire de l'environnement en Bretagne travaillent à élaborer des outils et méthodologies d'inventaire. Au-delà de l'enjeu de rester « au niveau » méthodologique de la SNBC, les régions ont tout à gagner à développer cet indicateur complémentaire, qui illustre mieux leur périmètre d'action et de responsabilité réel, comme souligné par le HCC dans son rapport 2020. Dans les SRADDET/SRCAE actuels, cinq régions mentionnent l'empreinte comme un enjeu, avec parfois des mesures préconisées pour la réduire (particulièrement en Ile-de-France, la plus concernée par cette problématique).

²³ « Les objectifs quantitatifs de maîtrise de l'énergie, d'atténuation du changement climatique, de lutte contre la pollution de l'air sont fixés par le schéma à l'horizon de l'année médiane de chacun des deux budgets carbone les plus lointains adoptés en application des articles L.222-1-A à L.222-1-D du code de l'environnement et aux horizons plus lointains mentionnés à l'article L. 100-4 du code de l'énergie »

Conclusion

En synthèse, la concaténation des trajectoires de réduction d'émission de GES dans les SRADDET et SRCAE sur le territoire métropolitain semble indiquer un relativement bon alignement avec la 1^{ère} SNBC (facteur 4), mais pas avec la SNBC révisée (neutralité carbone).

Les évolutions sectorielles révèlent des dynamiques contrastées, qui cependant convergent à long terme vers un écart en défaveur des SRADDET, à l'exception de l'agriculture. La comparaison des trajectoires d'émission de GES, avec celles de consommation finale d'énergie par secteurs révèle là aussi des hypothèses très différentes entre régions, et avec la SNBC.

Le système énergétique étant un des principaux déterminants de l'évolution des émissions de GES, une mise à jour de nos résultats et une comparaison a été effectuée entre la concaténation des SRADDET et différents scénarios de référence récemment publiés. Cette comparaison est riche d'enseignements sur les choix des Régions, explicites ou non, sur le développement des renouvelables et la maîtrise de la demande.

Au-delà, l'exercice aura permis de mettre en exergue plusieurs difficultés méthodologiques liées à l'hétérogénéité des pratiques régionales, et au manque de cadre harmonisé. Des pistes ont donc été proposées pour surmonter ces obstacles, et mieux les anticiper lors des prochaines révisions des exercices prospectifs régionaux et nationaux.

Annexe 1 : Hypothèses de facteur de charge

En vert, les Régions pour lesquelles des facteurs de charge ont été calculés dans le cadre de cette étude à partir de données régionalisées de l'ADEME et d'une trajectoire d'amélioration des rendements des technologies de production. En blanc les valeurs calculées à partir des données SRADEET.

Facteur de charge régionalisé de l'éolien terrestre

| Région | 2015 | 2030 | 2050 |
|----------------------------|-------|-------|-------|
| Auvergne-Rhône-Alpes | 21,2% | 21,9% | 22,0% |
| Bourgogne-Franche-Comté | 17,0% | 21,6% | 24,0% |
| Bretagne | 20,9% | 27,8% | 34,8% |
| Centre-Val-de-Loire | 23,1% | 27,0% | 33,7% |
| Corse | 17,9% | 19,0% | 19,0% |
| Grand-Est | 22,4% | 24,2% | 30,3% |
| Hauts-de-France | 22,3% | 26,5% | 33,2% |
| Ile-de-France | 20,8% | 22,4% | 28,0% |
| Normandie | 23,2% | 30,0% | 37,5% |
| Nouvelle-Aquitaine | 21,8% | 26,3% | 26,3% |
| Occitanie | 25,5% | 26,1% | 27,0% |
| Pays-de-la-Loire | 21,7% | 27,5% | 34,4% |
| Provence-Alpes-Côte-d'Azur | 23,9% | 29,6% | 26,2% |

Facteur de charge régionalisé de l'éolien marin

| Région | 2030 | 2050 |
|----------------------------|-------|-------|
| Bretagne | 38,3% | 49,2% |
| Corse | 36,6% | 47,1% |
| Hauts-de-France | 31,5% | 40,5% |
| Normandie | 36,4% | 46,8% |
| Nouvelle-Aquitaine | 40,0% | 40,0% |
| Occitanie | 43,0% | 47,0% |
| Pays-de-la-Loire | 33,0% | 42,5% |
| Provence-Alpes-Côte-d'Azur | 45,7% | 45,7% |

Facteur de charge régionalisé du PV

| Région | 2015 | 2030 | 2050 |
|----------------------------|--------------------|-------|-------|
| Auvergne-Rhône-Alpes | 12,6% | 12,6% | 12,6% |
| Bourgogne-Franche-Comté | 12,6% | 13,8% | 12,8% |
| Bretagne | 12,3% | 14,2% | 14,2% |
| Centre-Val-de-Loire | 12,5% | 13,4% | 13,4% |
| Corse | 9,9% ²⁴ | 14,7% | 16,6% |
| Grand-Est | 12,3% | 12,8% | 12,8% |
| Hauts-de-France | 11,6% | 12,6% | 12,6% |
| Ile-de-France | 9,9% | 13,4% | 13,4% |
| Normandie | 11,7% | 13,4% | 13,4% |
| Nouvelle-Aquitaine | 12,1% | 13,0% | 13,1% |
| Occitanie | 14,3% | 14,9% | 15,7% |
| Pays-de-la-Loire | 12,7% | 14,1% | 14,1% |
| Provence-Alpes-Côte-d'Azur | 15,8% | 14,6% | 14,6% |

²⁴ Cette valeur étonnamment basse est a priori explicable par un document ancien (2013).