

Rapport de thèse professionnelle pour le Mastère PAPDD

L'apport des scénarios  
prospectifs et de la modélisation  
dans l'élaboration de politiques publiques :  
l'exemple du scénario Avec Mesures Supplémentaires (AMS)  
et de la Stratégie Nationale Bas Carbone (SNBC)  
pour atteindre la neutralité carbone en 2050.

Maël Forcier

Année universitaire 2018/2019



Mission professionnelle à la Direction générale de l'énergie et du climat  
encadrée par Monsieur Quentin Deslot

Encadrement académique par Madame Céline Guivarch.

« La Direction générale de l'Énergie et du Climat, l'École des Ponts ParisTech et AgroParis-Tech n'entendent donner aucune approbation ni improbation aux thèses et opinions émises dans ce rapport ; celles-ci doivent être considérées comme propres à leur auteur. »

« J'atteste que ce rapport est le résultat de mon travail personnel, qu'il cite entre guillemets et référence toutes les sources utilisées et qu'il ne contient pas de passages ayant déjà été utilisés intégralement dans un travail similaire. »

A mon grand-père, Joël Morfoisse,  
premier élu écologiste de la ville de Rennes,  
directeur du centre culturel le Triangle,  
qui a œuvré dès les années 80  
pour une transition écologique et solidaire.

## Remerciements

Je tiens tout particulièrement à remercier mon tuteur Quentin Deslot qui m'a guidé tout au long de ce stage, accueilli dans la structure, intégré dans de nombreuses réunions et m'a permis d'effectuer des travaux passionnants qui m'ont beaucoup appris. Nos discussions et échanges ont considérablement enrichi ma réflexion sur les processus d'élaboration des scénarios et leurs liens avec les politiques publiques.

Je remercie aussi mon chef de bureau Joseph Hajjar ainsi que ma cheffe de département Ophélie Risler pour leurs conseils et leur bienveillance.

Je souhaite également remercier Céline Guivarch de m'avoir présenté à Ophélie et Quentin et de m'avoir ainsi permis de réaliser cette mission, d'avoir accepté d'être mon encadrante académique et d'avoir enrichi ma réflexion grâce à ces sources et analyses pertinentes.

Merci à Gwenaél, Marie et Victor de m'avoir accueilli dans leur bureau et pour l'ambiance de travail très chaleureuse que nous avons partagée pendant ma mission.

Merci à Julien, Frédéric, Marie, Joseph et bien sûr Quentin pour leurs relectures de ce rapport.

Je remercie enfin toute l'équipe du département de lutte contre l'effet de serre pour leur accueil très chaleureux, leurs sympathies, les discussions passionnantes et leurs travaux conséquents pour la neutralité carbone.

# Table des matières simplifiée

<b>Introduction</b>	<b>6</b>
<b>1 Pourquoi créer des scénarios prospectifs ?</b>	<b>7</b>
1.1 Qu'est-ce qu'un scénario et pour quelles utilités ? . . . . .	7
1.2 Pourquoi modéliser ? . . . . .	8
1.3 Pourquoi autant de scénarios et modèles ? . . . . .	11
<b>2 Un exemple : comment atteindre la neutralité carbone ?</b>	<b>14</b>
2.1 Qu'est-ce que la neutralité carbone et comment mesurer les objectifs ? . . . . .	14
2.2 Des passages obligés sectoriels . . . . .	19
2.3 Biomasse, électricité, puits, efficacité et sobriété : leviers ou hypothèses discutables ?	23
<b>3 Comment organiser le processus de modélisation ?</b>	<b>28</b>
3.1 Organiser la discussion avec les parties prenantes . . . . .	28
3.2 Mobiliser les experts et les modèles . . . . .	31
3.3 Valoriser les données et conserver les acquis . . . . .	36
<b>4 Comment concrétiser des scénarios et stratégies en politiques publiques ?</b>	<b>39</b>
4.1 Raconter un récit pour se mettre en conformité et rayonner au niveau international	39
4.2 Des lois et des politiques devant « prendre en compte » la SNBC . . . . .	43
4.3 Décliner au niveau territorial . . . . .	46
<b>5 Comment intégrer les citoyens et leurs revendications dans le processus ?</b>	<b>50</b>
5.1 Convaincre les « variables » : Nécessité de vulgariser et de donner une vision . . . .	50
5.2 Comprendre les « réticents » : Acceptabilité et partage des efforts . . . . .	53
5.3 Ne pas décevoir les « moteurs » : Être à la hauteur de l'enjeu . . . . .	57
<b>Conclusion</b>	<b>62</b>
<b>A Organigramme de la DGEC</b>	<b>63</b>
<b>B Organigramme du MTES</b>	<b>64</b>
<b>C Objectifs de la LTECV</b>	<b>65</b>
<b>D Objectifs du projet de la future LEC</b>	<b>66</b>
<b>Table des matières détaillée</b>	<b>67</b>
<b>Table des sigles et abbréviations</b>	<b>70</b>
<b>Références</b>	<b>73</b>

# Introduction

« *L'idée de l'avenir est plus féconde que l'avenir lui-même.* » Le siècle à venir connaîtra un réchauffement climatique sans précédent, son ampleur dépendra de l'action de l'homme et des sociétés pour lutter contre sa cause principale, les émissions de gaz à effet de serre anthropiques. Henri Bergson nous rappelle alors que « *l'idée de l'avenir* » est « *grosse d'une infinité de possibilités* ». En effet, les possibilités infinies des idées seront nécessaires si les sociétés humaines veulent contenir d'ici à 2100 le réchauffement climatique « *bien en dessous de 2 °C par rapport aux niveaux préindustriels* » et si possible viser à « *poursuivre les efforts pour limiter la hausse des températures à 1,5 °C* » comme s'est engagée la quasi totalité des États du monde avec l'accord de Paris. Les scientifiques et experts sont unanimes, seule la **neutralité carbone** permettra d'atteindre cet objectif à la fin du siècle. Ce concept est encore récent et aujourd'hui aucune société industrialisée ne peut se vanter d'être neutre en carbone. La neutralité carbone reste à inventer. Quels outils et méthodes avons-nous alors à notre disposition pour mobiliser l'infinité des possibilités des idées de l'avenir ?

Le 6 juillet 2017, lors d'une conférence de presse pour présenter son plan climat, Nicolas Hulot, alors ministre de la transition écologique et solidaire, annonce que « *nous [les français] allons dès à présent viser la neutralité carbone à l'horizon 2050* ». Un tel projet se prépare et se réfléchit. L'Etat français est déjà doté d'outils institutionnels pour préparer la transition bas carbone. Depuis le grenelle de l'environnement, le gouvernement doit publier tous les 5 ans une **stratégie nationale bas carbone (SNBC)**. La première a été présentée en 2015 et avait pour objectif d'ici 2050 de diviser par 4 les émissions de gaz à effet de serre (GES) par rapport à l'année de référence 1990 ce qu'on appelle communément le **facteur 4**. Pour atteindre la neutralité carbone, une version projet de la deuxième stratégie nationale bas carbone (SNBC 2) [15] a été publiée en décembre 2018 en attendant que la version définitive soit présentée. L'élaboration de cette stratégie est coordonnée par le département de la lutte contre l'effet de serre (DLCES), de la direction générale de l'énergie et du climat (DGEC) du ministère de la transition écologique et solidaire (MTES) (voir les organigrammes en annexes A et B pour plus de détails). La SNBC s'est appuyée sur un scénario physique modélisé appelé **Avec mesures supplémentaires (AMS)**, ayant un rôle central dans le processus d'élaboration de la SNBC, dans le dialogue avec les parties prenantes, avec les experts et le grand public.

Cet exercice particulier servira, dans ce rapport, d'illustration pour analyser l'intérêt des scénarios prospectifs et des stratégies de long terme dans les politiques publiques. Ce rapport de thèse professionnelle a été écrit lors d'une mission professionnelle que j'ai effectuée dans le bureau des émissions, des projections et des modélisations (BEPM) du DLCES. Les thèses de ce rapport sont le fruit de mes réflexions suite à la lecture de la littérature sur le sujet [26, 29, 31, 32] et aux travaux que j'ai effectués dont une présentation pour comparer différents scénarios de réduction d'émissions de GES, la participation à divers groupes de discussion et de travail, la réalisation d'un modèle de consommation énergétique et de parc de bâtiments ou l'écriture de notes administratives.

# 1 Pourquoi créer des scénarios prospectifs ?

## 1.1 Qu'est-ce qu'un scénario et pour quelles utilités ?

Un scénario est une description de la société à une année future donnée que l'on appelle horizon. Les scénarios peuvent être très différents selon leur périmètre, leur objet d'étude ou encore les méthodes ayant permis leurs créations. Certains sont définis à un niveau mondial, d'autres à des niveaux beaucoup plus locaux en passant par les échelles européenne et nationale. Les descriptions peuvent être sociologiques et représenter le quotidien de personnes vivant dans un monde futur, ou décrire un secteur économique, l'aménagement d'une ville, ou encore le climat d'une région. Le but est toujours d'imaginer des futurs possibles.

### 1.1.1 Définition et vocabulaire de la prospective

La réalisation de scénario s'inscrit dans une discipline qu'on appelle prospective. La prospective peut permettre à des décideurs de donner une vision de long terme pour mettre en place des politiques publiques ou, pour des entreprises, de fixer des objectifs à atteindre afin d'élaborer une stratégie. Les scénarios prospectifs n'ont que très rarement la prétention d'être des prédictions du futur, lorsque c'est le cas on parlera plutôt de prévision que de prospective. En effet, les mécanismes faisant évoluer les sociétés étant multifactoriels et extrêmement complexes, il est illusoire de vouloir prédire précisément un système aussi chaotique. La prospective peut permettre de rendre plus concret des concepts abstraits comme la neutralité carbone (cf section 5.1).

**Scénario** : Vision d'un futur possible décrit qualitativement ou quantitativement

**Horizon** : Repère temporel d'un scénario, souvent une année future comme 2030 ou 2050

**Périmètre** : Échelle dont le scénario parle, peut être géographique ou thématique

**Prospective** : Discipline qui vise à préparer l'homme au futur par une approche rationnelle

**Modélisation** : Traduction et simplification d'une réalité complexe en modèles simplifiés

**Modèles** : Logiciels, algorithmes, abstraction mathématique simplifiée qui réalise des calculs et fait des prédictions chiffrées en fonction d'hypothèses données.

**Etude** : Travail thématique réalisé, peut être l'élaboration d'un scénario

Figure 1: Point de vocabulaire

### 1.1.2 Trois manières d’appréhender les scénarios

On peut distinguer plusieurs façons d’aborder des scénarios prospectifs :

- Le scénario prospectif comme un **imaginaire que l’on s’approprie** : Les scénarios prospectifs peuvent donner une vision inspirante de l’avenir. A l’inverse, d’autres scénarios sont des repoussoirs et des situations que l’on veut éviter.
- Le scénario prospectif comme **démonstration de la faisabilité, de la souhaitabilité ou de la nécessité** : Des scénarios prospectifs sont également réalisés dans le but de démontrer la faisabilité voire la souhaitabilité de certains objectifs, par exemple le scénario négaWatt [21] milite pour le 100% d’énergie renouvelable (EnR) dans la consommation et la production d’énergie.
- Le scénario prospectif comme **cadre pour la prise de décision** : Enfin, un scénario peut fournir une trajectoire et une stratégie sur lesquelles s’appuyer pour prendre des décisions, que ce soit par exemple en terme de politique publique pour l’Etat ou en terme d’investissements pour des entreprises. La prospective permet aussi d’évaluer l’impact potentiel des mesures que l’on veut mettre en place.

### 1.1.3 Comment appréhender le scénario AMS et la SNBC ?

Le scénario AMS [16] de la DGEC regroupe les 3 dimensions. L’AMS essaye d’abord de donner une vision de la France neutre en carbone en 2050 dans l’imaginaire collectif, c’est pour l’instant la dimension la moins développée du scénario AMS et de la SNBC. Le scénario AMS démontre la faisabilité de l’objectif de neutralité carbone en 2050 et des objectifs de la loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte (LTECV). Il a ensuite servi de support à l’élaboration de la SNBC 2 [15]. On peut noter alors que regrouper ces 3 aspects n’est pas commun. L’exercice de la SNBC 2 française est très original par rapport à ce qui se fait dans le reste du monde. En effet, le scénario élaboré par la DGEC démontre la faisabilité et la souhaitabilité de la neutralité carbone à l’horizon 2050 mais il a aussi vocation à être articulé avec d’autres plans et programmes nationaux (cf Figure 6) et à être décliné au niveau local (cf 4.3). Ainsi, la SNBC possède une **dimension prescriptive**. Cependant, les différents acteurs publics et privés ne sont pas d’accord pour dire à quel point cette dimension prescriptive est importante. Le « degré de prescriptivité » de la SNBC a beaucoup d’implications politiques concrètes et fait donc beaucoup débat. Nous développons cette réflexion dans la section 4.2.

## 1.2 Pourquoi modéliser ?

Tout un champ de la prospective se contente simplement de donner des visions grâce à des méthodes d’analyse et de réflexion non quantifiables afin de donner des scénarios qualitatifs. Si de tels scénarios peuvent être éclairants et intéressants d’un point de vue sociologique, il me paraît



cependant indispensable de quantifier les scénarios lorsque l'on parle d'énergie et de climat. En effet, si notre objectif est de limiter l'augmentation des températures de la planète à 2°C d'ici la fin du siècle, il faut que les émissions cumulées de GES ne dépasse pas 750 gigatonnes (milliards de tonnes) de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) équivalent (GtCO<sub>2</sub>eq), voir Figure 2. Compter les émissions de gaz à effet de serre est donc un prérequis si l'on veut faire des scénarios bas carbone.

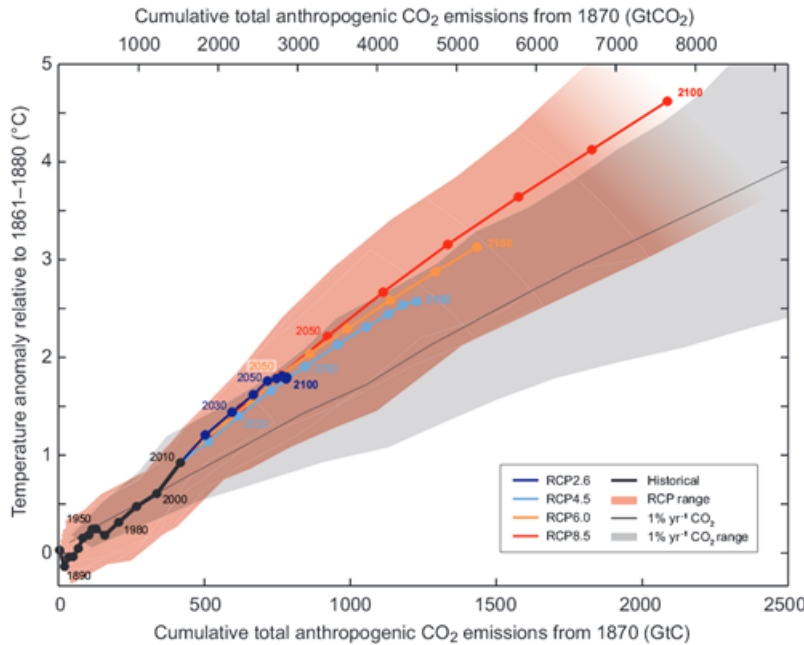


Figure 2: Température en fonction des émissions de gaz à effet de serre. Source : GIEC [14]

### 1.2.1 La difficulté d'estimer des valeurs chiffrées

Comment s'y prend-on alors pour choisir quelles émissions de gaz à effet de serre réduire dans notre scénario à long terme ? Il est intéressant de remarquer qu'il est déjà compliqué d'estimer les émissions de GES françaises des années récentes. Le centre interprofessionnel technique d'études sur la pollution atmosphérique (CITEPA) est chargé d'évaluer toutes ces émissions chaque année. Il utilise alors différents modèles pour estimer les GES émis dans les différents secteurs de l'économie française. Par exemple, grâce aux volumes de carburant vendus, le CITEPA estime les émissions dans le transport routier. Pour réaliser un scénario de neutralité carbone en 2050, c'est encore plus compliqué. Des variables comme la mobilité des français, l'efficacité des moteurs ou la performance énergétique des bâtiments ne sont pas données et doivent être discutées. Le choix de chacune de ces variables peut être long et fastidieux. Il peut être fait grâce à un calcul, on parle alors de variables endogènes. C'est notamment le cas lorsque l'on utilise un modèle d'optimisation qui calcule des valeurs optimales selon un objectif et des contraintes ou lorsque l'on utilise un modèle dynamique qui calcule l'évolution des variables au cours du temps selon des lois particulières. Les

variables que le modèle ne détermine pas sont dites exogènes. La plupart de ces dernières peuvent donc être considérées comme des hypothèses à effectuer. On peut alors déterminer les valeurs grâce à des experts (cf 3.2) et d'autres études. Cependant, certaines valeurs ont des implications très politiques et stratégiques pour certaines organisations qui peuvent critiquer et vouloir discréditer un scénario avec des hypothèses peu réalistes ou qui leur seraient trop désavantageuses. Consulter les différents acteurs des secteurs permet alors de limiter le dissensus. Certaines valeurs d'un modèle sont alors discutées lors de groupes de travail avec des parties prenantes (cf 3.1).

### 1.2.2 Les inconvénients de la modélisation et comment y remédier

L'utilisation de modèles mathématiques et informatiques parfois très compliqués est cependant critiquée. Souvent compris par une poignée d'experts le plus souvent ceux qui les ont imaginés et codés, les integrated assessment models ou modèles d'évaluation intégrés (IAM) (cf [37]) restent des boîtes noires pour la plupart des décideurs et des citoyens. Si les experts et les personnes ayant une éducation très scientifique se sentent rassurés par les chiffres qui paraissent rendre les discours sérieux, des citoyens peuvent être très sceptiques sur ce genre de méthodes modélisées. En effet, les non spécialistes pensent que l'on peut faire dire aux chiffres ce que l'on veut et n'ont aucune raison de faire confiance à un modèle qu'ils ne comprennent pas. Ainsi, la modélisation est utile lorsque ces utilisateurs comprennent un minimum son fonctionnement. Cela peut passer par de la vulgarisation, des interfaces plus faciles à utiliser, des modes d'emploi bien détaillés ou encore des démonstrations de la façon dont peut être utilisé un modèle (cf 5.1).

### 1.2.3 La modélisation pour apporter de la rigueur scientifique

D'un autre côté, on peut aussi critiquer la prospective en particulier lorsqu'elle n'est pas modélisée. Certaines communautés sceptiques et attachées à la méthode scientifique peuvent être méfiantes vis-à-vis de méthodes mal définies comme la prospective (cf [39]). En effet, la prospective ne prône pas une seule méthode et peut aboutir à toutes sortes de scénarios. Si la vocation de la prospective n'est pas d'être un outil prédictif, la question de la vérifiabilité du succès de cette discipline se pose tout de même. Pour se prétendre scientifique, la prospective doit pouvoir se soumettre à des tests de réfutabilité ou de fiabilité, sans quoi il est difficile de la différencier de la voyance ou tout autre pseudo-science ou encore de la science-fiction. La modélisation peut permettre de s'éloigner de cet écueil en quantifiant les scénarios. Mais modéliser un scénario n'empêche pas de lui faire dire n'importe quoi. La crédibilité et l'utilité d'un scénario modélisé dépend d'une part des **hypothèses retenues** et d'autre part de la **méthode de modélisation** ou encore de la structure du modèle. Il est très facile de pouvoir faire dire ce que l'on désire à un modèle si on le programme (consciemment ou non) avec des biais ou si l'on utilise des hypothèses qui nous sont favorables en entrée.

### 1.2.4 Évaluer le succès des scénarios pour améliorer l'efficacité et l'utilité des scénarios

Hulme et Desai [27] font d'ailleurs le constat que le succès des scénarios prospectifs est peu étudié. Ils proposent alors 3 critères pour évaluer le succès d'un scénario. Le **succès prédictif** est celui qui vient le premier en tête. Lorsque l'on parle du futur, il est intéressant de faire des prédictions justes. Les sciences physiques ont un succès prédictif formidable par exemple l'astronomie peut prédire très précisément les marées et les éclipses sur plusieurs années. La prospective a pour objet des sociétés humaines et la prédiction est alors beaucoup plus difficile voir impossible. Critiquer la prospective par son manque de succès prédictif peut être un procès d'intention facile car la prospective n'a jamais prétendu faire des prédictions certaines et précises. En revanche, un scénario prospectif peut inciter des acteurs à prendre de bonnes décisions, Hulme et Desai parlent de **succès décisionnel**, ou peut permettre à des acteurs d'être éclairés sur un sujet, on parle alors de **succès d'apprentissage**. Généraliser l'évaluation des succès des scénarios prospectifs pourrait faire ressortir leur intérêt et permettre de choisir différents scénarios pour alimenter notre réflexion. De telles évaluations contribueront grandement à rendre les scénarios plus efficaces et utiles.

## 1.3 Pourquoi autant de scénarios et modèles ?

Si on a vu que les scénarios peuvent être utiles, on peut en revanche se demander si en avoir trop ne nuit pas au débat. Beaucoup de personnes ne s'y retrouvent plus entre tous les scénarios publiés de plus en plus fréquemment par différents organismes. La multiplicité des scénarios prospectifs s'explique d'abord par la diversité de leurs sujets : périmètres envisagés, horizon temporel, secteurs ou objectifs différents. Mais, comme on le verra, même lorsque tous ces critères sont identiques, plusieurs scénarios peuvent coexister.

### 1.3.1 L'exemple de la comparaison entre les scénarios AMS, Ademe, négaWatt et ZEN 2050

C'est notamment le cas des scénarios AMS de la DGEC [16], du scénario négaWatt de l'association éponyme [21] et du scénario zéro émission nette (ZEN) d'entreprise pour l'environnement (EpE) [22]. Tous 3 ont pour but de montrer que la neutralité carbone en France est possible à l'horizon 2050 en réduisant la consommation d'énergie et en décarbonant l'ensemble des secteurs de l'économie française. Le scénario Visions 2035-2050 de l'agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe) [2] est d'ailleurs similaire aux trois autres, avec un objectif de réduction des émissions de GES plus faible (réduction par 4 par rapport à 1990 et non neutralité carbone). Cette coexistence de scénarios similaires s'explique alors par des positionnements et postures politiques différentes des acteurs. Le scénario AMS a pour but d'actualiser la SNBC et ainsi de présenter la vision de l'Etat pour la transition énergétique des prochaines années. L'Ademe est un organisme

	AMS	Ademe	négaWatt
Visée politique	Actualiser la SNBC	Eclairer le débat public	Démontrer la nécessité et la faisabilité du 100% EnR
Objectifs	Neutralité Carbone	Facteur 4	100% EnR
Réduction consommation d'énergie finale par rapport à 2012	-45%	-45%	-50%
Mix électrique	Décarboné Pas de précisions	80% EnR ou 90 % EnR ou 50% nucléaire	100% EnR
Fossile	Quasi zéro fossile	Un peu de fossile	Zéro fossile
Gaz	100 % biogaz	27 % bio gaz	100% biogaz (utilisation importante de power-to-gaz)
Emissions de GES	80 MtCO <sub>2</sub> e compensées par le puits	153 MtCO <sub>2</sub> e	71 MtCO <sub>2</sub> e compensées par le puits

Table 1: Synthèse des principales différences entre 3 scénarios en 2050

indépendant ayant pour mission d'éclairer le débat public notamment grâce à ce type d'études prospectives. L'association négaWatt est quant à elle plus militante et prône notamment pour un mix énergétique 100% renouvelable.

Les différences entre scénarios peuvent alors alimenter le débat et éclairer la décision. Par exemple, pour atteindre son objectif de 100% d'EnR, le scénario négaWatt doit faire des hypothèses de réduction de la consommation d'électricité. Les technologies consommatrices d'électricité seront donc moins utilisées dans ce scénario qui préférera les voitures au gaz renouvelable pour véhicules (GRV) aux voitures électriques et le chauffage au biogaz au chauffage électrique par effet Joule. A l'inverse, le scénario AMS s'autorise à garder une production d'électricité décarbonée assez élevée et peut alors compter sur ces technologies électriques. Pour faire face à l'intermittence des nouvelles EnR, le scénario négaWatt fait l'hypothèse d'une fort développement et d'une utilisation massive de la technologie power-to-gas. En revanche, le puits de carbone de négaWatt et de l'AMS sont de 70 MtCO<sub>2</sub>eq ce qui est une hypothèse moins ambitieuse que celle de ZEN qui donne un puits de 100 mégatonne (millions de tonnes) de dioxyde de carbone équivalent (MtCO<sub>2</sub>eq).

### **1.3.2 Les types de modèles et leurs hypothèses influent fortement sur les résultats**

De telles différences dans des hypothèses structurantes peuvent faire naître des débats sur la nature de la transition. Les méthodes de comptabilité utilisées peuvent être instrumentalisées pour mieux servir les intérêts d'une partie prenante. En outre, des hypothèses de long terme comme le coût de fonctionnement des énergies renouvelables ou d'un réacteur nucléaire en 2040 sont extrêmement incertaines et leurs déterminations auront toujours une part d'arbitraire. Il convient alors aux décideurs (politiques ou entreprises) de trancher d'une part sur la méthode employée et d'autre part sur les hypothèses retenues pour effectuer les scénarios. Nous revenons sur ce problème en donnant des exemples dans la partie 3.1. Les modèles ont aussi leurs propres manières de fonctionner, tout comme les acteurs qui les ont implémentés. Ils ont ainsi un domaine de validité et des questions précises auxquelles ils peuvent répondre. Il convient donc d'utiliser un outil qui répond pertinemment aux questions posées lors de l'élaboration d'un scénario.

### **1.3.3 Les consensus entre différents scénarios gagnent en crédibilité**

Il peut cependant exister de nombreux points communs entre différents scénarios présentés plus précisément dans la partie 2. C'est le cas des 4 scénarios cités précédemment. Malgré les différences, il y a de grands passages obligés si l'on veut réduire les émissions de GES. L'intérêt d'avoir plusieurs scénarios est de rendre plus robustes les conclusions communes. Il est par exemple illusoire d'envisager la neutralité carbone sans rénover massivement les logements. Les décideurs peuvent avoir tendance à se perdre dans des débats sans fin sur les différences de détails et mettre en avant les désaccords des scénarios. Les points communs entre les scénarios et les passages obligés de la transition sont malheureusement moins mis en avant. Il serait intéressant de mettre tous nos efforts sur les passages obligés consensuels pour entamer rapidement la transition écologique. Les détails de long terme, comme les coûts et les disponibilités des technologies, seront moins incertains dans les années à venir et ces choix pourront être tranchés en temps voulu. Les scénarios de réduction des émissions de GES présentent eux aussi beaucoup de points communs et de passages obligés comme nous le développons dans la partie suivante.

## 2 Un exemple : comment atteindre la neutralité carbone ?

Les scénarios ont parfois des conclusions concrètes, fortes, attendues ou surprenantes. Nous présenterons dans cette partie ce que les scénarios et les modèles nous apprennent de l’objectif de neutralité carbone, ce que signifie ce terme, quels leviers mobiliser pour atteindre cet objectif et quels indicateurs utiliser pour nous guider.

### 2.1 Qu’est-ce que la neutralité carbone et comment mesurer les objectifs ?

La neutralité carbone et la transition écologique en général font appel à beaucoup de notions scientifiques et techniques parfois complexes et difficiles à appréhender. Nous rappelons dans cette partie des distinctions qui nous paraissent indispensables pour bien comprendre ces enjeux. Cette partie n’a pas vocation à être exhaustive et beaucoup d’autres concepts mériteraient d’être plus longuement développés. Nous renvoyons le lecteur intéressé à des ouvrages plus techniques ou de la vulgarisation [43, 40].

#### 2.1.1 Définition de la neutralité carbone

Le terme de neutralité carbone a fait beaucoup débat après l’annonce de Nicolas Hulot d’en faire un objectif pour la France à l’horizon 2050. Cette notion n’est pour l’instant ni comprise ni intégrée dans l’imaginaire collectif des citoyens français. En effet, le quasi intégralité du panel citoyen qui a participé à l’étude ZEN 2050 d’EpE indique qu’elle n’avait pas compris le sens de l’expression « neutre en carbone » avant de participer à la consultation citoyenne de l’étude. La neutralité carbone va être définie dans la loi énergie climat (LEC), en s’inspirant de l’accord de Paris, *« comme un équilibre entre les émissions anthropiques et les absorptions anthropiques de gaz à effet de serre sur le territoire national. Le périmètre des émissions et absorptions comptabilisées correspond à celui des inventaires nationaux de gaz à effet de serre. La neutralité carbone s’entend sans utilisation de crédits internationaux de compensation carbone. »* C’est donc un état d’équilibre dans lesquels les émissions de GES émises par les activités humaines (émissions positives) sont compensées par les absorptions de GES (ou émissions négatives) grâce aux puits de carbone, qu’ils soient biologiques comme les forêts ou les prairies, ou industriels comme les technologies de capture et stockage du carbone (CSC). L’objectif de neutralité carbone laisse donc a priori plus de place à l’interprétation est moins précis que facteur 4, ancien objectif chiffré de la LTECV, qui consistait à diviser par 4 les émissions de GES française en 2050 par rapport aux émissions de 1990.

### **2.1.2 Emissions territoriales ou émissions importées et empreinte carbone ?**

Ces objectifs, facteur 4 ou neutralité carbone, concernent les émissions territoriales et non l'empreinte carbone. Seules les émissions produites sur le territoire français seront comptabilisées. Ainsi, le CO<sub>2</sub> émis lors de la fabrication d'un ordinateur en Chine ne sera pas comptabilisé dans les émissions territoriales françaises même si l'ordinateur est acheté et utilisé en France par un français. A l'inverse, la méthode de comptage par empreinte carbone prend en compte tous les GES émis lors de la fabrication d'un produit, on parle aussi d'émissions importées. Les émissions de CO<sub>2</sub> émises lors de la fabrication du précédent ordinateur compteront donc dans l'empreinte carbone de son acheteur et utilisateur français. La France ayant fortement délocalisé son industrie ces dernières années, ses émissions territoriales sont bien plus faibles que son empreinte carbone. Certains acteurs, comme les organisations non gouvernementales (ONG) de lutte contre le changement climatique ou certains industriels, préféreraient d'ailleurs une comptabilité en empreinte carbone. Les premières préfèrent l'empreinte carbone car cela impliquerait des objectifs plus ambitieux d'une part et que celle-ci traduit plus directement à qui profite les GES émis dans une optique d'équité sociale d'autre part. Les seconds y sont favorables parce que cela inciterait à réindustrialiser la France qui a une production bien moins carbonée que la plupart des autres pays, en particulier par rapport à l'industrie très carbonée de la Chine. Il est cependant beaucoup plus compliqué de calculer l'empreinte carbone car cela nécessiterait des études très poussées notamment dans le domaine de l'analyse du cycle de vie (ACV). Les conventions internationales résonnent pour l'instant en émissions territoriales ce qui permet de simplifier les objectifs. Si raisonner en empreinte carbone peut être préférable, il est utile d'avoir une convention donnant un cadre de discussion et réaliser les efforts de réduction des émissions territoriales est déjà un défi considérable dans un premier temps. Les deux ne sont en aucun cas contradictoires et rien n'empêche dans le même temps de s'interroger et d'essayer de réduire son empreinte carbone.

### **2.1.3 Neutralité carbone ou neutralité gaz à effet de serre**

On peut ensuite noter que le terme neutralité carbone peut porter à confusion. Le mot carbone fait la plupart du temps référence au CO<sub>2</sub> qui est le principal gaz à effet de serre. Mais, le CO<sub>2</sub> n'est pas du tout le seul GES. Si l'on peut, à la rigueur, élargir ce terme générique de carbone à d'autres GES contenant chimiquement du carbone comme le méthane (CH<sub>4</sub>) ou les hydrofluorocarbures (HFCs), d'autres gaz à effet de serre importants comme le protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O) n'ont rien à voir avec le carbone. Si les expressions « neutralité GES » ou « neutralité carbone équivalent » seraient plus exactes, le terme de « neutralité carbone » est celui couramment employé et nous l'utiliserons dans ce rapport tout en sachant qu'il s'agit d'un équilibre des émissions de tous les GES.

### 2.1.4 Neutralité carbone ou Facteur 4 ?



Figure 3: La réaction du ministre de la transition écologique et solidaire François de Rugy à l'article de Libération [46] sur la neutralité carbone et le facteur 4. Source : Twitter

Beaucoup d'acteurs ont fait part de leur scepticisme quant à ce nouvel objectif. Libération avait notamment publié un article [46] accusant « le gouvernement [de] renonce[r] à diviser par 4 les émissions de gaz à effet de la France ». Dans la réalité, la neutralité carbone est bien plus ambitieuse que le facteur 4. Pour atteindre cette neutralité, les études s'accordent sur le fait qu'il faut diviser les émissions françaises d'un facteur allant de 6 à 8. L'inquiétude des rédacteurs de Libération et des ONG était que le remplacement de l'objectif chiffré du facteur 4 par la neutralité carbone ouvrait la porte à des hypothèses irréalistes de développement des technologies de CSC. En effet, si l'on fait l'hypothèse irréaliste que l'on pourra capturer artificiellement plusieurs centaines de MtCO<sub>2</sub>eq d'ici 2050 alors il n'y a pas besoin de faire d'efforts en terme de réduction des émissions. Cependant, comme dans les autres secteurs, l'Etat est tenu de faire des hypothèses réalistes en ce qui concerne le puits de carbone qu'il soit naturel ou technologique. Ce puits peut être un peu agrandi, c'est d'ailleurs un des leviers pour atteindre la neutralité carbone comme on le verra, mais dans la limite des terres et des technologies disponibles. Les études s'accordent donc pour dire que le potentiel de puits de carbone en France même exploité au maximum ne peut compenser qu'une faible partie des émissions de GES, d'où la nécessité de réduire les émissions d'au moins un facteur 6. Après cette réponse, les critiques ont demandé alors pourquoi ne pas garder l'objectif de facteur 4 en rajoutant la neutralité carbone. Pour répondre à cette objection, le gouvernement a finalement décidé d'inscrire l'objectif d' « atteindre la neutralité carbone en



divisant les émissions de gaz à effet de serre d'un facteur d'au moins 6 » dans la future LEC.

### 2.1.5 Energies primaire et finale

La très grande majorité des émissions françaises et mondiales sont dûes à la combustion du  $\text{CO}_2$  pour fournir de l'énergie, on parle d'**émissions énergétiques**. Comprendre les différentes méthodes pour compter l'énergie est donc indispensable pour suivre certains objectifs importants de la LTECV (cf annexe C) et de la future LEC (cf annexe D). En particulier, la distinction entre énergie primaire et finale nous paraît cruciale. L'**énergie primaire** est l'énergie disponible dans la nature, dès qu'elle commence à être exploitée par l'homme, avant toute transformation notamment. Par exemple, une tonne de pétrole peut produire en théorie 11,73 mégawatt-heure (millions de Watt-heure) (MWh). Pour pouvoir utiliser le pétrole, il est nécessaire de faire plusieurs opérations de raffinage et de la transporter jusqu'à la station service, le logement ou la centrale thermique. L'**énergie finale** est l'énergie directement disponible et utilisable par le consommateur. Par exemple, si l'on utilise ce pétrole dans une centrale thermique à fioul pour produire de l'électricité, seulement 35 à 50% de l'énergie primaire, selon le rendement de la centrale, sera convertie en électricité. Il faut encore rajouter les pertes dues au réseau de transports et aux conversions pour obtenir l'énergie finale. Cependant, selon son utilisation par le consommateur et selon l'efficacité de ses équipements, toute l'énergie finale ne pourra pas être utilisée. L'**énergie utile** est l'énergie qui sera effectivement utilisée par le consommateur. Par exemple, l'automobiliste ne va utiliser qu'une faible part de l'énergie dégagée par la combustion d'essence pour faire avancer sa voiture thermique, la majorité de l'énergie sera dissipée sous forme de perte thermique. Si le consommateur avait plutôt utilisé son pétrole pour son chauffage au fioul alors toute l'énergie finale lui aurait été utile. Contrairement à la consommation en énergie finale que l'on peut déterminer facilement grâce aux compteurs d'électricité et aux volumes de carburant vendus, l'énergie utile est peu utilisée en pratique car elle est très difficile à mesurer. Elle dépend notamment de ce que l'on définit comme utile pour l'utilisateur et de l'efficacité de chacun des équipements consommateurs d'énergie. Par exemple, si l'on définit l'énergie utile non pas comme l'énergie nécessaire pour transporter une voiture mais comme l'énergie nécessaire pour transporter un humain d'une masse donnée sur une distance donnée, une voiture d'une tonne aurait alors un rendement désastreux en terme d'énergie utile. Un train qui transporte beaucoup plus de passagers sans perdre d'énergie en freinant à chaque carrefour ou un vélo (électrique ou non) beaucoup plus léger auront des rendements énergie finale/énergie utile bien meilleurs. Choisir de compter en énergie primaire, finale ou utile peut être très politique car cela peut avantager un secteur plutôt qu'un autre (cf partie 3.1).

Utilisation	Energie primaire	Energie finale	Energie utile
Chauffage au fioul	100	100	100
Centrale au fioul + chauffage électrique	100	45	45
EnR électrique + chauffage électrique	100	90	90
Voiture à essence	100	100	40
Centrale au fioul + voiture électrique	100	45	36
EnR électrique + voiture électrique	100	90	72

Table 2: Exemple très simplifié des quantités d'énergies primaire, finale et utile consommées selon l'utilisation, en définissant l'énergie utile comme l'énergie nécessaire pour chauffer un logement ou transporter une voiture. Les rendements de Carnot sont de 50% pour la centrale thermique et de 40% pour la voiture thermique. Les pertes de réseaux, de transports et autres transformations pour l'électricité sont estimées à 10% (90% de rendement). Le rendement de la voiture électrique est estimé à 80%.

### 2.1.6 Les potentiels de réchauffement global

La comptabilité des émissions de GES est quant à elle fixée par la **convention cadre des nations unies sur le changement climatique (CCNUCC)**. La très grande majorité de l'effet de serre d'origine humaine est due au  $\text{CO}_2$ . L'unité pour compter les émissions de gaz à effet de serre est la tonne de dioxyde de carbone équivalent ( $\text{tCO}_2\text{eq}$ ). Le terme équivalent renvoie au fait que d'autres GES, notamment le  $\text{CH}_4$ , le  $\text{N}_2\text{O}$  et les HFCs contribuent à l'effet de serre. Cependant, à masse égale, ces gaz n'ont pas la même puissance d'effet de serre et contribuent donc différemment au réchauffement climatique. La comptabilité en  $\text{tCO}_2\text{eq}$  permet de comparer directement les contributions de ces différents gaz. Pour convertir une tonne de gaz en  $\text{tCO}_2\text{eq}$ , on utilise un facteur de conversion appelé **potentiel de réchauffement global (PRG)**. Par exemple, le PRG du  $\text{N}_2\text{O}$  est égal à 296. Cela signifie qu'une tonne de  $\text{N}_2\text{O}$  contribue autant que au réchauffement climatique que 296 tonnes de  $\text{CO}_2$ . Ainsi, si l'émission d'une tonne de  $\text{N}_2\text{O}$  est compté comme 296  $\text{tCO}_2\text{eq}$  dans le bilan d'émissions de GES. Le PRG du  $\text{CH}_4$  est quant à lui fixé à 24. Comme pour l'énergie primaire et l'énergie finale, la comptabilité des émissions de GES est très subtile et choisir une méthode plutôt qu'une autre peut être très politique. Nous reviendrons sur ce problème dans la partie 3.1.

### 2.1.7 La comptabilité par secteurs

Les émissions de gaz à effet de serre sont réparties dans de multiples secteurs et sous-secteurs. Des règles précises sont fixées pour chacun des sous-secteurs et des vecteurs énergétiques. Ces méthodes officielles sont un compromis pour représenter au mieux la physique des émissions de GES tout en restant assez pratique pour faire des études statistiques et des mesures. Elles peuvent être parfois contre-intuitives. Par exemple, le facteur d'émission de n'importe quelle source d'énergie issue de la biomasse est de 0. Cela signifie donc que selon la comptabilité de la CCNUCC, et

donc de tous les Etats officiels, brûler un litre de biocarburant n'émet pas de carbone ce qui est un non sens physique, la réaction de combustion produit bien du CO<sub>2</sub>. Cependant, contrairement aux combustibles fossiles, la biomasse est renouvelable et sa production a permis de stocker du carbone il y a peu de temps. Sur l'ensemble de son cycle de vie, la biomasse est donc bien neutre en carbone. Il faut cependant faire attention à ne pas compter dans le puits les absorptions de carbone qui serviront à produire de la biomasse. La comptabilité des émissions du bois peut aussi porter à confusion. Lorsque l'une forêt pousse, elle est considérée comme un puits et émet des émissions négatives. Quand cette dernière est coupée, on considère comptablement que tout le bois coupé émet d'un seul coup, comme si tout ce bois avait été brûlé. En effet, il est difficile de suivre tout ce bois et compter les émissions de gaz à effet de serre dès que quelqu'un allume sa cheminée. Mais une part du bois peut être utilisé comme matériau par exemple pour la construction. Ce bois n'a pas vocation à être brûlé. Ainsi, décider d'allouer du bois à un usage matériau crée comptablement des émissions négatives et constitue un puits, même si physiquement aucune molécule de CO<sub>2</sub> n'a été absorbée dans l'atmosphère lorsque l'on décide d'utiliser du bois comme matériau. Si ces comptabilités peuvent paraître étonnantes voire absurdes à première vue, elles obéissent à une certaine logique et ont au moins le mérite de fixer un cadre dans lequel tout le monde peut discuter. Les conventions pourront toujours être changées et améliorées suite à des avancées dans la compréhension scientifique ou dans les méthodes de mesure.

## 2.2 Des passages obligés sectoriels

Pour atteindre la neutralité carbone, les lois de la physique imposent des passages obligés sur lesquels tous les scénarios de réduction des GES convergent.

### 2.2.1 4 grands leviers

Le projet de SNBC a identifié les trois grands leviers suivants pour réaliser la neutralité carbone :

- **Réduire la consommation énergétique** : Les émissions de GES étant principalement dûes à la combustion des ressources fossiles pour produire de l'énergie, limiter la consommation énergétique permet de réduire mécaniquement les émissions de GES. Mais cette réduction est surtout nécessaire car la disponibilité en ressources d'énergie décarbonée est très limitée.
- **Décarboner les usages énergétiques** : Le but est de produire de l'énergie qui n'émet pas de GES. On peut alors remplacer les énergies fossiles par de l'électricité décarbonée (grâce aux EnR ou au nucléaire) ou de la biomasse.
- **Réduire les émissions non énergétiques** : Ces émissions ne sont pas dûes à la combustion de ressources. Elles sont la conséquence de réactions chimiques dans l'industrie ou de procédés agricoles.

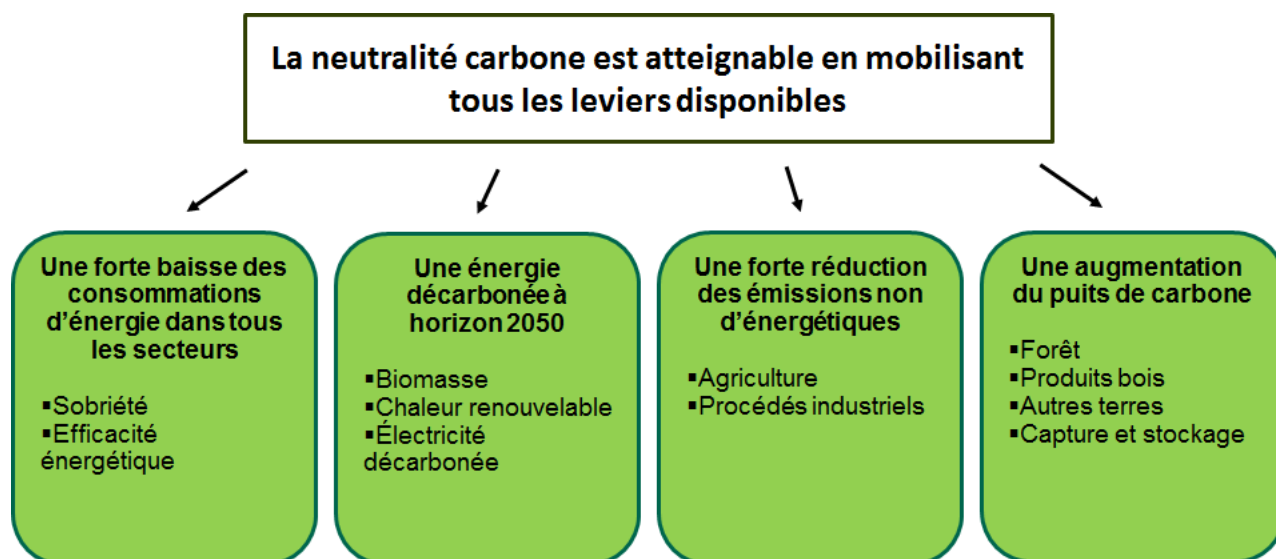


Figure 4: Leviers pour atteindre la neutralité carbone. Source : DGE

- **Agrandir le puits de carbone** : Pour atteindre l'objectif de neutralité carbone, les émissions de GES résiduelles doivent être compensées par des absorptions ou émissions négatives. Il est alors utile d'augmenter le puits de carbone en donnant plus de place aux forêts et aux prairies, en développant la filière bois et les technologies de capture et stockage de carbone.

### 2.2.2 Population

Les projections démographiques indiquent que la population va légèrement augmenter. Le scénario central de projection de population de l'institut national de la statistique et des études économiques (INSEE) [17], sur lequel se base la plupart des scénarios de neutralité carbone, prévoit que la population française passera de 66 millions de personnes en 2015 à 74 millions en 2050. La réduction des émissions de gaz à effet de serre devra donc se faire malgré cette croissance de la population, ce qui implique que les émissions de GES par personne devront encore plus diminuer. Il faut donc nécessairement sortir des énergies fossiles pour atteindre la neutralité carbone. Lorsque l'on décline ces leviers dans les secteurs, des passages obligés sont communs à tous les scénarios.

### 2.2.3 Bâtiment : résidentiel et tertiaire

Le secteur du bâtiment, que l'on sépare habituellement entre les secteurs du résidentiel et du tertiaire, représente un cinquième des émissions de GES françaises en 2050. Les 3 quarts de la consommation énergétique de ce secteur sont dus au chauffage. Le principal levier pour décarboner les bâtiments est donc de réduire le besoin de consommation de chauffage en améliorant la performance thermique des bâtiments. Les réglementations thermiques et environnementales successives

Secteur	Part de la consommation énergétique finale	Part des émissions de GES
Bâtiment	47%	20%
Transports	31%	29%
Industrie	19%	18 %
Déchets	<1%	4%
Agriculture	2%	19%

Table 3: Part des différents secteurs dans la consommation énergétique finale en 2015. Source : DGEC, scénario AMS [16]

obligent les constructions neuves à être très performantes. Construire des logements neufs très performants thermiquement pour compenser la destruction de logements vétustes, en plus d’être une nécessité pour héberger une population qui grandit légèrement, est un levier pour la réduction de la consommation d’énergie dans le bâtiment. Ainsi, les scénarios de neutralité carbone prévoient de 200 à 300 000 nouveaux logements par an aux meilleures normes thermiques. Contrairement aux véhicules, on ne peut pas renouveler tout un parc de bâtiment en 30 ans ; les constructions et destructions ne suffiront pas à rendre tout les logements et bureaux performants. La rénovation thermique des bâtiments existants est alors indispensable pour atteindre l’objectif de neutralité carbone. Les scénarios prévoient de rénover thermiquement environ 600 000 logements par an et en priorité les 7 millions de passoires thermiques, des bâtiment très mal isolés dont la consommation en chauffage est très importante. En plus de la réduction de la consommation d’énergie, la décarbonation du chauffage est nécessaire. Les scénarios misent sur une sortie des chaudières au charbon (déjà marginales aujourd’hui) et au fioul au profit du chauffage par pompe à chaleur (PAC) ou des réseaux de chaleur urbain. Le chauffage électrique par effet Joule et les chaudières à gaz font débat car ces vecteurs énergétiques peuvent être décarbonés ou non et dépendent beaucoup des quantités d’électricité et de biogaz disponibles. Nous discutons ce points dans la partie suivante 2.3. Le recours à des équipements plus efficaces voire des smart technologies (technologies intelligentes) permet de réduire la consommation d’énergie et en particulier d’électricité spécifique. Des hypothèses de sobriété sont aussi nécessaires et on misera sur une modération des usages et un bon dimensionnement des appareils.

#### 2.2.4 Transports

Dans le secteur des transports, l’objectif est de sortir du pétrole fossile. En 2015, la très grande majorité des trajets français sont effectués en voiture individuelle. Qu’elles soient à essence ou au diesel, ces dernières fonctionnent au pétrole pour 99% d’entre elles. Ce mode de transport doit alors être décarboné en subsistant d’autres vecteurs, comme l’électrique et les biocarburants au pétrole fossile. Les choix des ces vecteurs de substitution font beaucoup débat car ils supposent des technologies matures et rentables d’une part et une quantité de biomasse ou d’électricité importante

d'autre part (cf 2.3). Les scénarios utilisent le levier de l'efficacité dans ce secteur en supposant que les voitures seront moins consommatrices de carburant pour atteindre de 2 à 3 litres consommés aux 100 kilomètres en moyenne. La neutralité carbone passe aussi par le report modal. La part de la voiture baisse au profit des transports en commun et des modes doux comme la marche et le vélo, notamment en ville où les trajets en voiture sont les plus fréquents. Les changements de comportements se traduisent aussi par une augmentation du nombre de passagers par véhicule grâce aux covoiturages. La hausse de la demande en transport est supposée maîtrisée grâce à des formes de sobriété et des nouvelles façons de s'organiser comme le télétravail. L'aviation civile est un secteur qui fait actuellement beaucoup débat. L'aérien est peu traité dans des scénarios à l'échelle française car les vols internationaux relèvent de comptabilités différentes. Les scénarios sont peu ambitieux sur ce point et font seulement allusions à des formes de sobriété et au recours à long terme au biokérosène

### 2.2.5 Industrie

Le secteur de l'**industrie** français est le seul qui a vu réellement ses émissions de GES baisser par rapport à 1990. En revanche, cette réduction est plus subie que planifiée et désirée car elle est en majeure partie due à la désindustrialisation. Cette dernière a pour effet de baisser les émissions territoriales mais au contraire d'augmenter l'empreinte carbone des français car les mix énergétiques des industries des pays étrangers sont en général beaucoup plus carbonés que celui de la France. Les scénarios se veulent donc compatibles avec un maintien de l'industrie française voire avec une réindustrialisation. Malgré des émissions non énergétiques difficiles à réduire notamment dans la production de ciment, l'industrie de 2050 se décarbone alors grâce à des progrès et des changements de méthodes dans les procédés et l'utilisation des matériaux, par exemple en ayant recours à l'électrique ou à l'hydrogène. Une hausse de l'efficacité des procédés et la valorisation de l'énergie thermique sont envisagées. Mais le principal levier pour réduire les émissions de l'industrie est de jouer sur la demande. Celle-ci peut fortement réduire en luttant contre l'obsolescence programmée, en concevant des objets plus facilement réparables et recyclables avec une longue durée de vie.

### 2.2.6 Agriculture

Dans l'agriculture, les principales émissions sont non énergétiques. L'élevage bovin émet notamment beaucoup de méthane notamment à cause de la fermentation entérique. L'épandage d'engrais azotés cause quant à lui beaucoup d'émissions de  $N_2O$ . Ces émissions non énergétiques sont difficilement compressibles à part en réduisant fortement les activités émissives. La réduction des GES de l'agriculture passe donc par un changement d'habitudes alimentaires, notamment par une baisse de la consommation de protéines animales. Le cheptel bovin peut ainsi être divisé par 2 tout en privilégiant l'élevage en prairies qui constituent des puits de carbone. Le développement de

l'agriculture biologique permet de limiter l'usage des engrais azotés. La baisse de la consommation de viande se fait au profit des légumineuses qui sont très utiles pour fixer l'azote dans les sols. Le gaspillage alimentaire est réduit au moins de moitié. Les émissions énergétiques sont réduites en baissant la consommation des engins agricoles. Cette transition de l'agriculture se fait en synergie avec, d'une part, une mobilisation accrue de la biomasse grâce à la revalorisation des déchets, des résidus de culture et des effluents via des techniques comme la méthanation et d'autre part, en augmentant le puits de carbone en développant l'agroforesterie et en donnant plus de places aux prairies.

## **2.3 Biomasse, électricité, puits, efficacité et sobriété : leviers ou hypothèses discutables ?**

Une réponse simple pour décarboner l'économie française est de remplacer toutes les utilisations des sources d'énergies émettrices par des énergies décarbonées. Nous avons identifié 3 sources d'énergie décarbonée qui peuvent servir de leviers. Cependant, ces sources sont en quantité limitée et il est donc indispensable de réduire la consommation énergétique grâce notamment à l'efficacité et la sobriété.

### **2.3.1 L'électricité**

L'**électricité** est un vecteur énergétique et non pas une source d'énergie primaire. Elle est donc aussi carbonée que son moyen de production. Dans le monde, une grande partie de l'électricité est produite grâce au charbon et est donc très carbonée. Sortir des centrales à charbon est alors un enjeu central dans la réduction des émissions de GES pour beaucoup de pays. La France est plutôt une exception à cette règle car son électricité est déjà fortement décarbonée. En revanche, elle repose en grande partie sur la technologie du nucléaire qui se heurte à des problèmes d'acceptabilité. Si la nécessité d'avoir recours à une électricité décarbonée fait plutôt consensus, les parts des nouvelles EnR électriques et du nucléaire font beaucoup débat. Les premières posent plusieurs problèmes comme la gestion de l'intermittence, des coûts encore élevés même s'ils sont en baisse, un problème d'acceptabilité pour l'éolien ou des recours à des matériaux rares en particulier pour le photovoltaïque. Le nucléaire est quant à lui surtout critiqué pour les risques de catastrophes, réels ou fantasmés, la gestion de ses déchets dangereux et l'incertitude concernant le démantèlement, ainsi que pour le coût des futurs réacteurs quand on voit que le futur réacteur européen à eau pressurisée (EPR) de Flamanville a pris du retard et que son prix a triplé. En revanche, les experts s'accordent plutôt sur le fait qu'un mix plus nucléarisé français produira une plus grande quantité d'énergie électrique et aura moins de problèmes de pics et de puissance. Un mix électrique 100% EnR nécessitera donc une plus faible consommation électrique, une plus grande souplesse dans les usages ainsi que des moyens de stockage pour pallier l'intermittence. Pour réduire la consommation d'électricité, les scénarios, comme négaWatt visant un mix énergétique 100% EnR,

devront faire des hypothèses plus ambitieuses, d'une part sur la sobriété et l'efficacité et d'autre part sur l'utilisation d'autres énergies renouvelables non électriques comme la biomasse.

### 2.3.2 La biomasse

La biomasse est un terme générique qui lorsque l'on parle d'énergie désigne l'ensemble des matières organiques (animales, végétales ou bactériennes) utilisables comme sources d'énergie. Si le charbon, le pétrole et le gaz fossiles sont, en fait à strictement parlé, dus aussi à une décomposition de matières organiques, on ne les considère pas comme de la biomasse dans le langage courant des énergéticiens. Le temps de décomposition de plusieurs millions d'années des ressources fossiles les rendent non renouvelables. Même si cela est un abus de langage d'un point de vue scientifique, la biomasse dans le sens énergétique du terme désigne seulement les ressources organiques renouvelables. Comme on l'a vu, la biomasse n'émet pas de GES selon la comptabilité officielle. Il s'agit là aussi d'une simplification scientifique mais cela peut se justifier car sur l'ensemble du cycle d'utilisation de la biomasse incluant la captation du carbone par les organismes constituant cette biomasse. La biomasse peut prendre la forme de plusieurs vecteurs. La forme de biomasse qui est largement la plus utilisée dans le monde est solide, il s'agit du bois utilisé pour se chauffer. La biomasse peut aussi être liquide, on parle alors de biocarburant dont on distingue principalement le biogazole (ou biodiesel) et le bioéthanol. Enfin, on peut valoriser la biomasse sous forme gazeuse que l'on appelle biogaz. La plupart du temps ce biogaz est du  $\text{CH}_4$  et on parle alors de biométhane. D'autres termes peuvent aussi être utilisés notamment lorsque l'on veut désigner un usage particulier comme dans le cas du biogaz naturel pour véhicules (bioGNV) ou GRV. Les taux d'incorporation de la biomasse dans les gaz et carburants restent encore marginaux, excepté en Amérique latine. L'utilisation de la biomasse pose la question de la compétition entre les différentes formes d'usage des terres. Ce secteur appelé utilisation des terres, changement d'affectation et foresterie (UTCAF) est au croisement de beaucoup d'enjeux des autres secteurs. Il détermine les terres disponibles pour augmenter le puits de carbone comme les forêts et prairies, pour les surfaces agricoles servant à alimenter la population et à produire de la biomasse ou pour des surfaces que l'on appelle artificialisées servant aux logements, aux transports, à l'industrie et aux services. L'enjeu est de limiter l'artificialisation des terres pour obtenir plus de terres disponibles pour l'agriculture et le puits de carbone, cela aura aussi comme cobénéfice de limiter l'expansion urbaine et ainsi réduire la demande en transport. Réduire le nombre de terres artificialisées peut néanmoins signifier pour beaucoup une baisse de confort due à un manque d'espace, de libertés ou à une réduction des services. La quantité de terre est toutefois limitée et les différents usages sont en compétition les uns avec les autres. Une utilisation massive de la biomasse posent, en plus des problèmes de compétitivités et de disponibilité des technologies, le problème de la compétition des usages avec l'agriculture. Le levier de la biomasse peut donc être très intéressant mais les scénarios sont limités dans leurs usages par la quantité de biomasse disponible.



### 2.3.3 La chaleur

La chaleur est elle aussi un vecteur énergétique décarboné auquel on pense peu. Contrairement à l'électricité, la chaleur est une énergie de très mauvaise qualité. Elle est très difficilement transportable, se diffuse vite et devient alors très rapidement inutilisable pour créer de l'énergie mécanique et donc faire tourner un moteur dès qu'elle n'est plus concentrée. A part pour les usages de chauffage, de cuisson et d'eau chaude sanitaire, la chaleur est toujours une perte d'énergie due aux frottements et à un manque d'efficacité intrinsèque de nos appareils. Si son utilisation est compliquée pour la plupart des usages, il peut néanmoins être très utile de revaloriser la chaleur perdue dans les procédés par exemple dans le chauffage. Les réseaux de chaleur permettent cette réutilisation de la chaleur et représentent donc un levier pour réduire la consommation et un type de chauffage très encouragé dans les scénarios de neutralité carbone.

### 2.3.4 Levier ou hypothèse discutable ?

La figure 5 résume les différentes implications du facteur 4 et de la neutralité carbone ainsi que les leviers pour les atteindre. Chaque levier qui facilite les objectifs a son pendant en contrainte. Aucune solution n'est un miracle sinon elle aurait déjà été adoptée. Actionner un levier nécessite donc de faire des hypothèses ambitieuses, que cela soit au niveau de l'acceptabilité, de la maturité des technologies ou des quantités disponibles. En faisant le choix de recourir à un mix 100% EnR, le scénario négaWatt doit réduire fortement sa demande électrique. Le scénario AMS n'impose pas de contraintes moins fortes sur le mix électrique et peut donc développer d'avantage l'électricité dans plusieurs usages. Le choix des technologies majoritairement utilisées dépendra donc du mix de production. L'AMS misera plutôt sur des voitures électriques alors que le scénario négaWatt préférera les voitures au bioGNV. Si les pompes à chaleur et les réseaux de chaleur urbains sont très utilisés dans les deux scénarios, négaWatt se débarrasse complètement des radiateurs électriques fonctionnant par effet Joule quitte à rajouter des chaudières au gaz (supposé complètement renouvelable en 2050) alors que l'AMS n'est pas complètement hostile au chauffage par effet Joule et garde des radiateurs d'appoint. Un scénario comme négaWatt devra donc utiliser une très grande quantité de biomasse et la disponibilité de la biomasse sera alors une grande contrainte. Des technologies qui pourront potentiellement se développer comme le power-to-gas (transformer l'électricité en gaz) permettent de réduire ces problèmes, on compense l'intermittence des EnR en utilisant le surplus d'électricité non nécessaire aux heures creuses pour créer du biogaz et on augmente ainsi la quantité de biomasse. Cette hypothèse ambitieuse est cependant discutable car d'une part elle repose sur une technologie dont le développement et la rentabilité restent très incertains et d'autre part les rendements de conversion sont assez très faibles et cela induit une efficacité énergétique faible comparée à une utilisation directe de l'électricité.

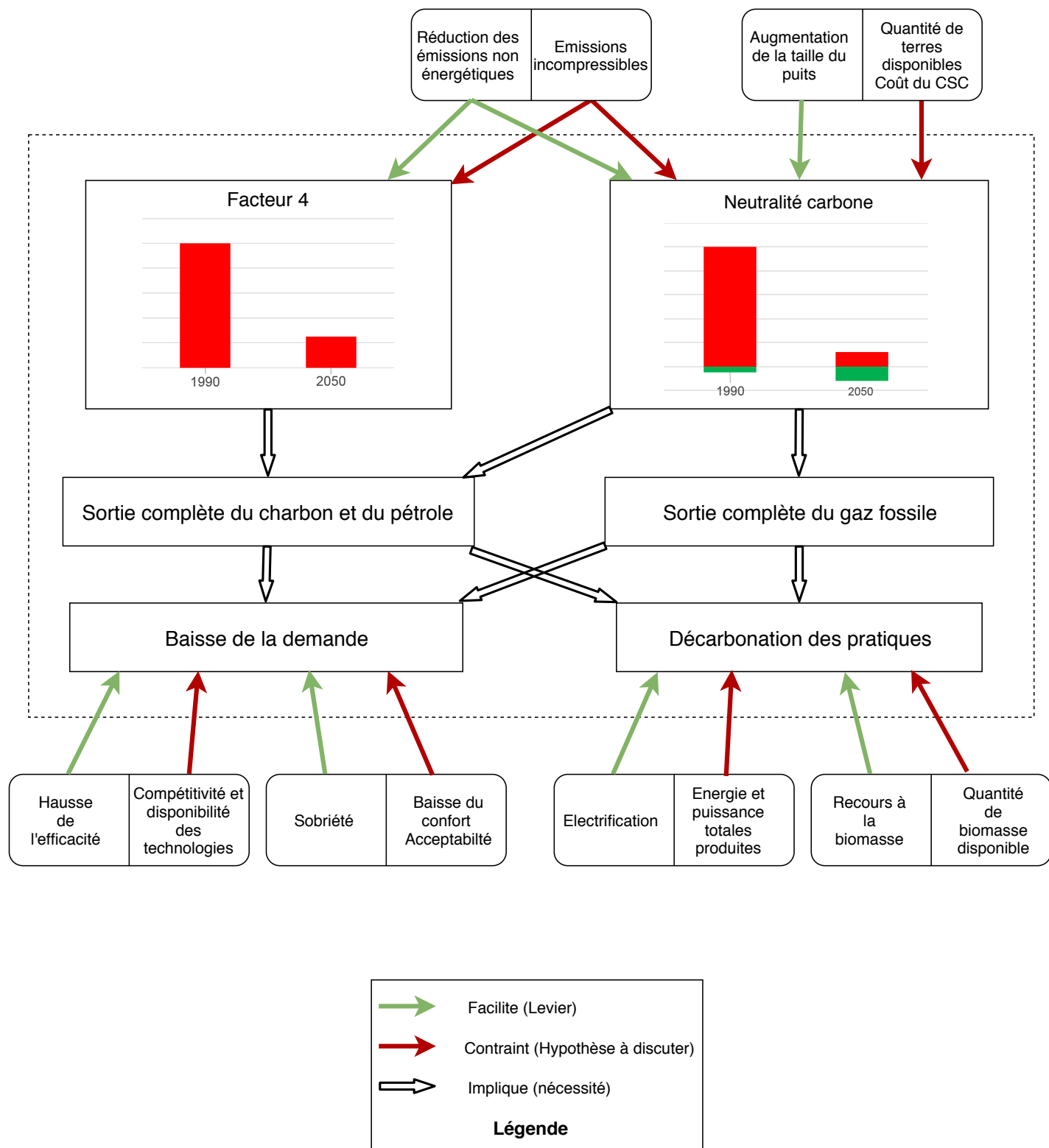


Figure 5: Diagramme des passages obligés, leviers et contraintes pour des scénarios facteur 4 ou neutralité carbone.  
 Source : diagramme imaginé et réalisé par Maël Forcier en guise de synthèse pour une présentation comparant les scénarios AMS, Ademe et négaWatt

### 2.3.5 Efficacité ou sobriété ?

Enfin, on a vu que la neutralité carbone ne pouvait être atteinte sans faire intervenir l'**efficacité** des technologies ainsi que des changements de comportements que l'on regroupe de plus en plus sous le terme générique de **sobriété**. Ces leviers indispensables ne sont pas non plus infinis. Si l'on peut fantasmer une société parfaitement efficace où l'énergie est disponible en grande quantité et les équipements ont tous un rendement parfait, cela est contraire à la plupart des principes de la physique et de la thermodynamique. Les technologies peuvent améliorer grandement la situation et contribuer à la neutralité carbone mais les scénarios tendent à montrer qu'elles ne seront pas une solution à elles toutes seules. Malgré les énormes progrès faits en terme d'efficacité, la consommation énergétique mondiale et les émissions de GES n'ont cessé d'augmenter. Les gains d'efficacité ne compensent pas la hausse de la production et de la consommation. En plus de la recherche d'efficacité, une forme de sobriété dans les comportements est nécessaire. Des sociétés complètement sobres en carbone ne sont quant à elles pas en désaccord avec les lois de la physique et ont déjà existé avant la révolution industrielle. Elles ne correspondent malheureusement pas du tout aux idéaux de progrès et de développement actuel. Gaël Giraud fait remarquer qu'il est extrêmement difficile d'être un pays développé et sans empreinte écologique. Seul le Cuba des années 2000 possède un indice de développement humain (IDH) supérieur à 0,8 tout en ayant une empreinte écologique de moins d'une planète. L'enjeu est alors d'imaginer et d'implémenter un modèle souhaitable pour concilier sobriété et développement. A long terme, une société neutre en carbone n'implique pas forcément une baisse du confort. Au contraire, les scénarios concluent que la qualité de vie augmentent dans une société neutre en carbone. Cependant, les changements de paradigmes peuvent être difficiles à effectuer en particulier si la répartition de l'effort ne paraît pas juste comme on le verra dans la partie 5.2.

### 3 Comment organiser le processus de modélisation ?

La SNBC a été élaborée à la suite d'un processus compliqué incluant différents acteurs. Les **parties prenantes** sont des entreprises, des organismes publics, des lobbies, des syndicats ou des associations qui donnent leurs avis sur le réalisme des hypothèses et objectifs proposés par le projet de SNBC. Les **experts** sont des chercheurs ou des acteurs proches du monde académique. Ils réalisent des études ou ont recours à des modèles pour répondre à des questions techniques précises par exemple dans des secteurs particuliers. La figure 6 résume le processus d'élaboration de la SNBC. Les **décideurs** ne sont pas représentés sur cette figure. Ils sont cependant très importants pour valider le processus et trancher en prenant une décision finale. Dans l'élaboration de la SNBC, les décideurs sont en pratique des politiques (ministres et membres du gouvernement) représentés par leur cabinet.

#### 3.1 Organiser la discussion avec les parties prenantes

Les hypothèses d'un scénario ont des conséquences politiques très concrètes et stratégiques. La neutralité carbone est un objectif très ambitieux qui nécessite des changements de paradigme tant au niveau des structures de l'économie, des technologies, qu'au niveau des comportements et des habitudes. Chaque partie prenante donne un point de vue conforme à son intérêt propre. L'atteinte de la neutralité carbone créera nécessairement quelques perdants. Pour éviter des critiques trop fortes lors de la sortie de la SNBC, il est indispensable de discuter de ce que pourrait être la neutralité carbone avec des acteurs de la société française. Sinon, la transition écologique risque d'être extrêmement compliquée à mettre en place sans projet commun. Une des grandes réussites de cette deuxième SNBC est d'avoir pu intégrer le dialogue avec les parties prenantes. Cela a permis de dégager une image de la France neutre en carbone à l'horizon 2050 qui minimisait le dissensus, à défaut de faire l'unanimité. Intégrer de tels dialogues dans le processus nécessite cependant beaucoup de temps et d'organisation. Nous nous intéresserons dans cette partie à l'intérêt et aux difficultés de l'exercice de discussion avec les parties prenantes.

##### 3.1.1 Le processus d'élaboration de la SNBC

La concertation dans la SNBC s'est réalisé à trois niveaux différents. Le **comité d'information et d'orientation (CIO)** intègre l'ensemble des parties prenantes pour orienter les hypothèses en donnant une vision globale sur l'ensemble des secteurs. Dans chaque secteur (bâtiments, transports, Industrie/déchets, Agriculture, Forêt Economie), des **groupes de Travail (thématique) (GT)** se réunissent pour discuter de la pertinence d'hypothèses sectorielles plus précises en donnant une vision d'expert. Les **groupes de Modélisation (GM)** sont constitués des modélisateurs, de la DGECE et l'administration en charge du secteur et modélisent les trajectoires sectorielles. Nous revenons sur la difficulté de cet exercice dans la partie 3.2. Un tel processus collégial prend d'abord

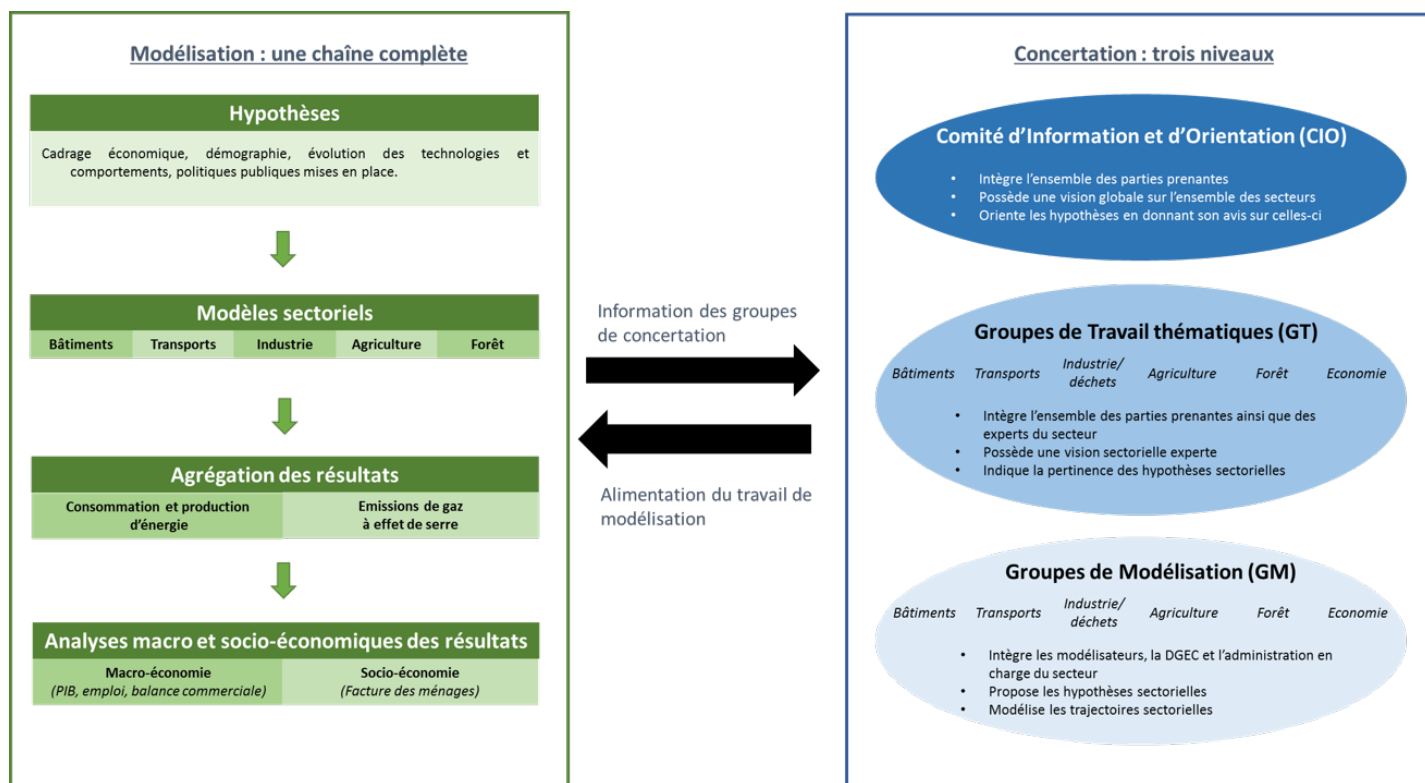


Figure 6: Schéma du processus d'élaboration de la SNBC. Source : DGECC

du temps. Il faut contacter les différentes parties prenantes, les informer de cet exercice, organiser l'agenda des réunions du CIO et les GT. Cela mobilise du personnel ainsi que des salles de réunion. C'est donc un travail beaucoup plus conséquent que de faire tourner un modèle de la DGECC ou du MTES grâce à des hypothèses choisies en interne.

### 3.1.2 Comprendre les intérêts et les stratégies des parties prenantes

Le travail de gestion des discussions est aussi délicat. Les parties prenantes sont des acteurs stratégiques avec des intérêts parfois contraires. Les hypothèses et les résultats du scénario sont des enjeux forts. Il est évident que les lobbies gaziers pousseront à une augmentation de la production de gaz, que les électriciens miseront sur un mix énergétique plus électrique et que les ONG représentées par le réseau Action Climat (RAC) feront en sorte que les réductions des émissions de GES soient rapides et robustes dans le scénario. Mais si ces objectifs généraux sont clairs et évidents, la discussion se porte plutôt sur des détails plus techniques. Il peut être plus compliqué de retrouver le lien entre un débat sur un chiffre particulier avec les objectifs finaux des parties prenantes. Ces dernières usent alors de toutes sortes d'arguments et de stratégies parfois difficiles à déceler pour que la décision finale se rapproche de leur intérêt. Dans son petit bréviaire tactique de la SNBC, [30] présente une liste très complète des différents arguments et stratégies utilisées lors de ces débats.

### 3.1.3 Exemple de discussion sur des détails a priori techniques mais qui se révèlent stratégiques

Choisir d'utiliser l'énergie primaire plutôt que l'énergie finale est par exemple très politique. Les diagnostic de performance énergétique dans le bâtiment sont par exemple déterminés en énergie primaire. Avec cette comptabilité, un logement chauffé à l'électrique bien isolé peut être moins bien classé qu'un logement moins bien isolé mais chauffé au gaz. La méthode pour compter les émissions de méthane fait elle-aussi l'objet de débats aux enjeux très politiques. En effet, le PRG d'un gaz dépend de l'échelle de temps envisagée. Tous les GES n'ont pas la même durée de vie dans l'atmosphère. Par exemple, le méthane reste en moyenne 12 ans dans l'atmosphère ce qui est nettement moins que la durée de vie du CO<sub>2</sub> (une centaine d'année). Sur 20 ans, le CH<sub>4</sub> a alors un PRG beaucoup plus grand (72) que son PRG moyenné sur 100 ans (24). Choisir un PRG sur 20 ou 100 ans a donc des implications très différentes sur la nécessité ou non de réduire les émissions de méthane. C'est la thèse de Benjamin Dessus dans sa critique de la comptabilité de émissions de méthane [38]. Des pays sud américains comme le Brésil sont eux-aussi favorables à la prise en compte du PRG sur 20 ans. Les émissions de CH<sub>4</sub> très importantes de ces pays augmenteront donc artificiellement. En particulier, avec des émissions passées plus élevées pour l'année de référence 1990, il est plus facile de réduire sa part relative de d'émissions de GES. Les gisements potentiels de réduction est donc beaucoup plus grand ce qui laisse de plus grandes marges de manoeuvre pour ces pays agricoles très émetteurs de méthane. Jusqu'à présent, la CCNUCC a tranché ce débat en fixant la comptabilité officielle avec des PRG sur 100 ans. L'argument principal est l'objectif de long terme de contenir l'élévation des températures d'ici la fin du siècle et donc l'horizon de 100 ans est pertinent. Cependant, on voit là encore que le choix d'un coefficient scientifique plutôt qu'un autre peut être extrêmement politique. En plus de ces deux exemples, beaucoup d'autres coefficients et hypothèses sont aussi très stratégiques.

### 3.1.4 A quel point la SNBC est-elle prescriptive ?

On peut aussi mentionner que les parties prenantes insistent beaucoup sur le fait que la SNBC doit rester stratégique et donc ne doit être ni prédictive ni prescriptive. Elles demandent par ailleurs des variantes du scénario (ou des scénarios alternatifs) pour explorer plusieurs hypothèses ; le principal reproche fait à la SNBC est de ne présenter qu'un unique scénario de neutralité carbone, le scénario AMS. Cette tension entre un scénario seulement censé donner une vision contre un scénario prescriptif sur lequel doivent reposer les politiques publiques est une spécificité de la SNBC. Les autres scénarios ne peuvent en aucun cas être prescriptifs. Le scénario négaWatt donne le point de vue de l'association éponyme et n'engage qu'elle. L'Ademe a pour rôle d'éclairer le débat public avec ses scénarios mais n'a pas de pouvoir exécutif. Enfin, EpE est une vision des entreprises de la neutralité carbone. La synthèse de l'étude ZEN 2050 précise par ailleurs que ce scénario n'est ni une prévision, ni un engagement d'entreprises, ni une prescription normative mais plutôt

des propositions et des invitations au débat. Ces scénarios peuvent donc inspirer les politiques publiques mais ne peuvent en aucun cas prétendre les imposer. La position du scénario AMS est plus ambiguë. Présenter la SNBC comme normative et prescriptive pose beaucoup de problèmes. Les parties prenantes ne sont pas prêtes à accepter toutes les propositions et ne veulent pas servir de caution ou donner leur accord à un scénario dont ils n'acceptent pas les conclusions. Au contraire, présenter le scénario AMS comme une vision parmi d'autres permet de ne pas froisser les parties prenantes et de commencer à débattre constructivement. De plus, il est illusoire de croire que le scénario de neutralité carbone de l'Etat est une prédiction ou un engagement détaillé sur lequel s'aligneront toutes les lois. La démocratie permet à tout moment de revenir sur ce scénario si les citoyens et leurs représentants y sont complètement hostiles. Cependant, pour atteindre un objectif aussi ambitieux que la neutralité carbone, il est important de fixer les grandes lignes de la politique à long terme. La SNBC est comme son nom l'indique d'abord une stratégie. L'Etat a vocation à s'appuyer sur la SNBC et à s'en inspirer. Nous essayons de résoudre cette tension dans la partie 4.

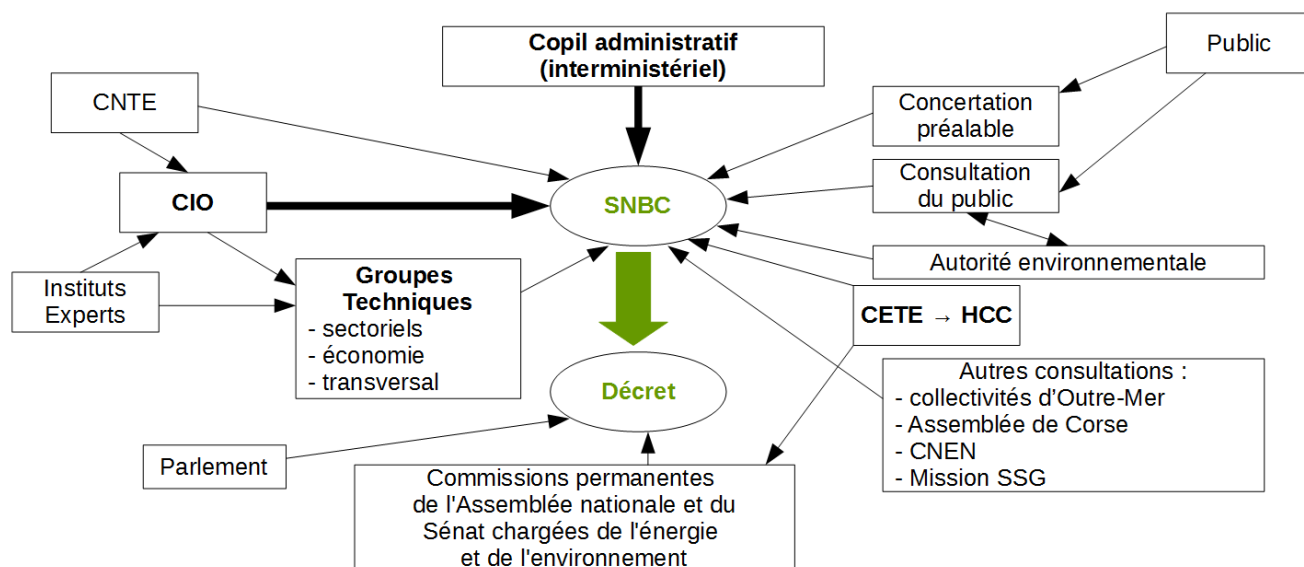


Figure 7: Acteurs dans le processus de la SNBC. Source : DGE

### 3.2 Mobiliser les experts et les modèles

Différents experts sont intervenus dans l'élaboration de la SNBC. Les modèles ont permis de chiffrer les ordres de grandeur d'une société neutre en carbone en 2050. Ils donnent une vision d'experts de ce que peuvent être les réductions de gaz à effet de serre dans chaque secteur. A titre d'exemple, les modèles qui ont été utilisés dans l'élaboration de la SNBC sont les suivants :

- Modèle résidentiel : MENFIS, géré par l'Ademe

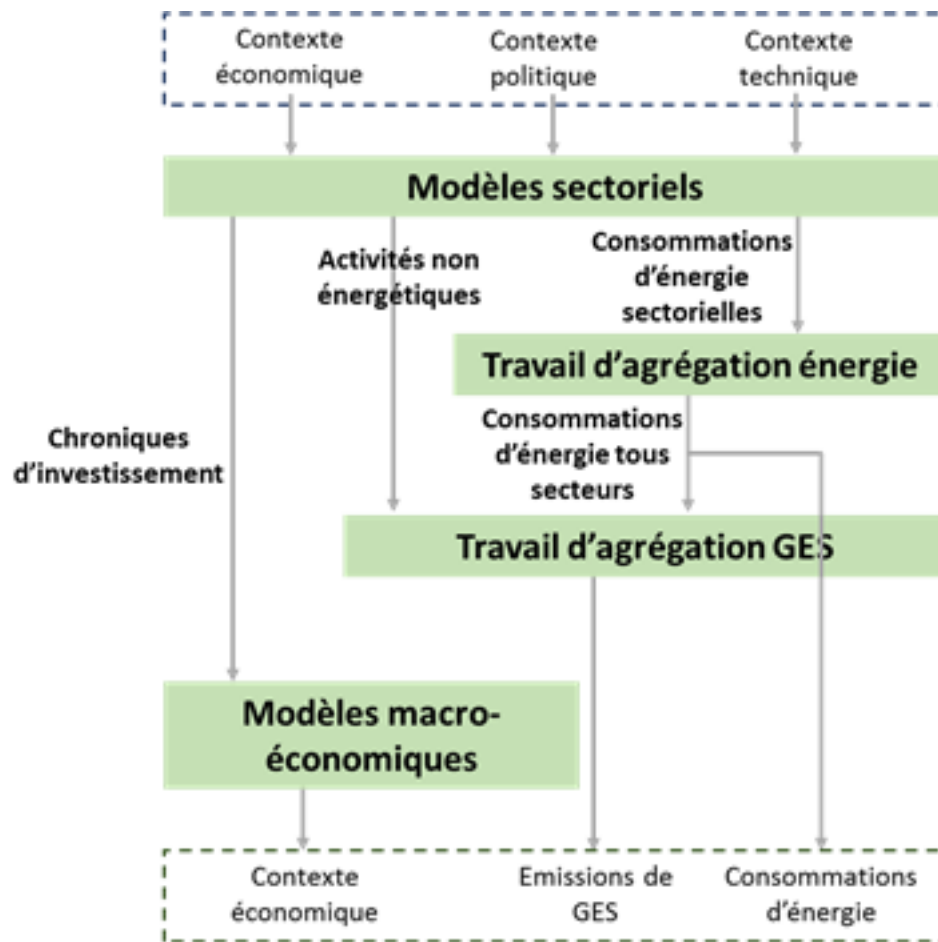


Figure 8: Liens entre les différents modèles. Source : DGEC [16]

- Modèle Tertiaire : modèle tertiaire, géré par le commissariat général au développement durable (CGDD)
- Modèle Trafic : MODEV, géré par le CGDD
- Modèle parc voitures : modèle de la direction générale des infrastructures, des transports et de la mer (DGITM)
- Modèle agriculture : Clim'agri, géré par l'Ademe et le ministère de l'agriculture et de l'alimentation (MAA)
- Modèle agrégateur de l'énergie : MedPro, géré par Enerdata
- Modèles macro-économiques : 3ME, géré par l'Ademe et le CGDD et ImaClim géré par le centre international de recherche sur l'environnement et le développement (CIRED)
- Modèle socio-économique : Prometheus, géré par le CGDD



### 3.2.1 Des modèles sectoriels

Les modèles sectoriels décrivent l'activité dans l'un de ces 5 secteurs : bâtiment, transports, industrie, agriculture, forêt. Certains d'entre eux utilisent des **modèles de parcs** qui décrivent concrètement un ensemble d'équipements. On peut penser à un modèle de bâtiments où on considère des logements que l'on distingue selon plusieurs critères : maisons individuelles ou logements collectifs, performance thermique de l'enveloppe, zone géographique, année de construction, type de chauffage. Le parc a la possibilité d'évoluer selon des hypothèses sur les rythmes de construction, de destruction et de rénovation ainsi que sur les performances du neuf et des rénovations. Le modèle peut alors calculer le besoin énergétique par exemple dans le chauffage de ce parc de bâtiment en fonction d'autres hypothèses sur l'efficacité des équipements, la sobriété des usagers. De tels modèles de parc sont aussi utilisés dans les transports pour représenter l'ensemble des véhicules en France.

Maisons individuelles	Neuf 2015-2030 elec	Neuf 2015-2030 hors elec	Neuf 2008-2015 elec	Neuf 2008-2015 hors elec	Très performant	Performant		Moyen		Passoire	
						Rénové	Non renové	Rénové	Non renové	Rénové	Non renové
Conso hors efficacité/sobriété kWh/m2	18	40	19	50	39	60	75	100	125	150	295
Electricité	103 032	0	434 700	0	1 875 245	319 783	1 282 167	0	0	0	0
Gaz	0	246 888	0	202 860	177 101	233 056	934 436	751 199	2 121 456	188 697	384 856
Fioul	0	0	0	0	16 566	42 431	170 128	203 155	573 619	97 675	199 213
Biomasse dont bois	0	297 432	0	164 220	189 471	117 209	469 949	369 713	1 042 614	728 889	1 486 601
PAC	0	1 172 232	0	164 220	239 882	74 573	299 000	164 520	464 543	74 232	151 399
Réseau de chaleur	0	77 760	0	0	827	448	1 797	1 494	4 217	669	1 365
Solaire thermique	0	44 712	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Autres	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figure 9: Exemple d'un parc simplifié de bâtiment : les maison individuelles en 2030. Source : DGEC, modèle de parc de bâtiment dans GESTime

### 3.2.2 Des modèles agrégateurs

Les modèles agrégateurs permettent de calculer les production et consommation d'énergie ainsi que les GES à l'échelle française. Ces modèles somment donc les contributions de chaque secteur pour donner un bilan détaillé des consommations énergétiques selon les secteurs et les vecteurs énergétiques 10. Si le principe est simple d'un point de vue technique et mathématique, ce travail est plus compliqué en pratique. L'énergie consommée ne doit être comptée qu'une seule fois. Certaines consommations sont difficiles à classer dans un secteur plutôt qu'un autre. La construction

de logements et de véhicules neufs relèvent-elles de l'industrie ou des logements et des transports ? Un agriculteur qui déplace son tracteur pour travailler consommera dans le secteur agricole mais que se passe-t-il s'il utilise son tracteur comme véhicule particulier ? On peut aisément donner des réponses à ces questions en fixant des normes de comptabilité que l'on essaye de rendre les plus pertinentes possibles. La construction sera donc du ressort de l'industrie et l'ensemble des tracteurs consommera dans le secteur agricole peu importe leurs utilisations. D'autres problèmes sont plus subtils pour compter notamment les pertes énergétiques dans les transports et les conversions d'énergie. Nous renvoyons à la partie 1.1 pour une première distinction entre énergies primaire, finale et utile. Pour aller plus loin, l'agence internationale de l'énergie (AIE) présente un manuel de statistiques à l'énergie qui revient en détails sur ces questions comptables [19]. Des problèmes similaires de comptabilité se posent pour les émissions de GES. L'organisme qui a pour mission de compter les émissions de GES en France est le CITEPA. La méthode couramment utilisée pour calculer les émissions de GES est de multiplier les consommations énergétiques par des facteurs d'émissions.

### 3.2.3 Le calage avec les données réelles

Bilan 2015											
Mtep	Charbon	Pétrole brut	Produits pétroliers raffinés	Gaz	Nucléaire	EnR électriques	EnR thermiques et déchets	Électricité	Chaleur vendue	Hydrogène	Total
Production d'énergie primaire	0,0	1,0	0,0	0,0	114,0	7,2	17,6	0,0	0,0	0,0	139,8
Importations	8,8	58,8	41,3	39,4	0,0	0,0	0,6	0,9	0,0	0,0	149,7
Exportations	-0,1	-0,1	-21,2	-4,9	0,0	0,0	-0,2	-6,4	0,0	0,0	-32,8
Soutes maritimes internationales	0,0	0,0	-1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-5,9
Soutes aériennes internationales	0,0	0,0	-5,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-1,6
Variations de stocks (+ = déstockage, - = stockage)	0,1	0,1	-0,1	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7
<b>Total approvisionnement / consommation primaire</b>	<b>8,8</b>	<b>59,8</b>	<b>12,5</b>	<b>35,0</b>	<b>114,0</b>	<b>7,2</b>	<b>18,1</b>	<b>-5,5</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>249,8</b>
Transferts	0,0	-0,3	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1
Écart statistique	0,3	0,1	1,9	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	2,2
Production d'électricité seule	2,8	0,0	0,5	1,7	114,0	7,2	1,3	-47,2	0,0	0,0	80,3
Production d'électricité et de chaleur cogénérées	0,2	0,0	0,2	2,1	0,0	0,0	2,4	-1,4	-1,9	0,0	1,5
Production de chaleur seule	0,2	0,0	0,1	0,7	0,0	0,0	0,8	0,0	-1,9	0,0	-0,2
Injections de biométhane	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Raffinage de pétrole	0,0	61,2	-60,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5
Production d'hydrogène	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Autres transformations	2,9	-1,2	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,9
Usages internes de la branche énergie	1,0	0,0	1,8	1,2	0,0	0,0	0,1	2,8	0,1	0,0	7,0
Pertes de transport et de distribution	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	3,0	0,8	0,0	4,3
<b>Consommation nette de la branche énergie</b>	<b>7,4</b>	<b>59,8</b>	<b>-54,7</b>	<b>6,2</b>	<b>114,0</b>	<b>7,2</b>	<b>4,5</b>	<b>-42,9</b>	<b>-3,0</b>	<b>0,0</b>	<b>98,4</b>
Industrie	1,0	0,0	2,4	10,2	0,0	0,0	1,4	10,1	1,1	0,0	26,2
Transport	0,0	0,0	39,8	0,1	0,0	0,0	2,9	0,9	0,0	0,0	43,8
Résidentiel	0,0	0,0	6,7	11,8	0,0	0,0	8,8	13,6	1,2	0,0	42,2
Tertiaire	0,0	0,0	3,0	7,1	0,0	0,0	0,9	12,7	0,7	0,0	24,5
Agriculture	0,0	0,0	3,4	0,2	0,0	0,0	0,2	0,7	0,0	0,0	4,5
<b>Consommation finale énergétique</b>	<b>1,1</b>	<b>0,0</b>	<b>55,2</b>	<b>29,4</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>14,2</b>	<b>38,1</b>	<b>3,1</b>	<b>0,0</b>	<b>141,1</b>
Consommation finale non énergétique	0,3	0,0	12,5	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,9
<b>Consommation finale</b>	<b>1,4</b>	<b>0,0</b>	<b>67,7</b>	<b>30,5</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>14,2</b>	<b>38,1</b>	<b>3,1</b>	<b>0,0</b>	<b>155,0</b>

Figure 10: Bilan des consommations d'énergie en 2015. Source : DGEC [16] et CGDD

Enfin, les modèles sont calés sur des données réelles. Une année passée proche sert de référence sur laquelle s'appuyer pour élaborer les trajectoires et les scénarios à horizon long. Le scénario AMS utilise par exemple l'année 2015 comme référence. Mais même pour ces années de référence,

les données ne sont pas certaines à 100 %. Elles dépendent d'études statistiques publiées par différents organismes et observatoires, souvent à caractère public, et basées sur d'autres données sectorielles. Selon les observatoires et les études, les données peuvent différer. Ces différences sont souvent de l'ordre du détail mais certaines peuvent être non négligeables et poser problème. Il est alors intéressant de comprendre quelles différences de méthode impliquent quels biais susceptibles de changer les résultats. De plus, les périmètres des études peuvent être différents ainsi que les niveaux de détails et les catégories considérées ce qui rend la comparaison difficile. On peut aussi noter des problèmes de compatibilité entre les différentes sorties des modèles. Nous revenons sur ces problèmes de données et de standards dans le paragraphe suivant. Le travail d'agrégateur est donc de normaliser toutes ces irrégularités pour former un tout cohérent.

### 3.2.4 Une modélisation qui prend du temps : La difficulté de changer rapidement des hypothèses structurantes

Tous ces problèmes pratiques nous apprennent donc que **réaliser un scénario même modélisé est loin d'être automatique**. Son élaboration nécessite au contraire de faire des choix voire des arbitrages dans les hypothèses, de gérer « à la main » des problèmes de compatibilité de données et d'appliquer des coefficients de correction pour corriger les biais des modèles. L'agrégation de plusieurs scénarios prend encore plus de temps et de travail humain car elle nécessite aussi une organisation pour lier et faire discuter les experts des modèles sectoriels entre eux. Le travail de modélisation n'est donc **pas « presse-bouton »** comme on pourrait idéaliser une science prospective parfaite utilisant des technologies d'intelligence artificielle avancées. De telles approches ne seraient d'ailleurs vraisemblablement pas fiables et donneraient des résultats peu crédibles qui ne prennent pas assez en compte de la complexité du problème comme on l'a vu dans 1.2. Cette temporalité assez longue de la recherche prospective est souvent en conflit avec la temporalité politique qui est plus focalisée sur la réactivité et l'urgence. Cela peut poser problème lorsque, suite à une décision politique, une hypothèse cruciale de la modélisation est changée. Après la crise des gilets jaunes, le gouvernement a décidé de geler l'augmentation prévue de la taxe carbone. La valeur de la composante carbone est une hypothèse très importante de la modélisation du scénario AMS et l'atteinte des objectifs est largement dépendante de celle-ci. Les résultats de ce scénario pourraient donc être remis en cause avec la suspension de la hausse de cette taxe. De nombreux acteurs ont donc demandé au gouvernement de produire un nouveau scénario intégrant cette décision du gel de la taxe carbone. Il convient pour ces acteurs de mettre sur la table des mesures concrètes permettant de combler cette décision. Pour réaliser un tel scénario, de nouvelles hypothèses et de nouvelles politiques publiques en complément d'une taxe carbone affaiblie seraient nécessaires. Il semble possible aujourd'hui de donner des ordres de grandeur pour un tel scénario avec de nouvelles politiques publiques plus ambitieuses. Mais mobiliser de nouveau tout le processus, notamment la consultation des parties prenantes, semble impossible en quelques semaines ou même quelques mois. Il est donc illusoire de réaliser dans ces délais un travail aussi précis que la SNBC 2 qui

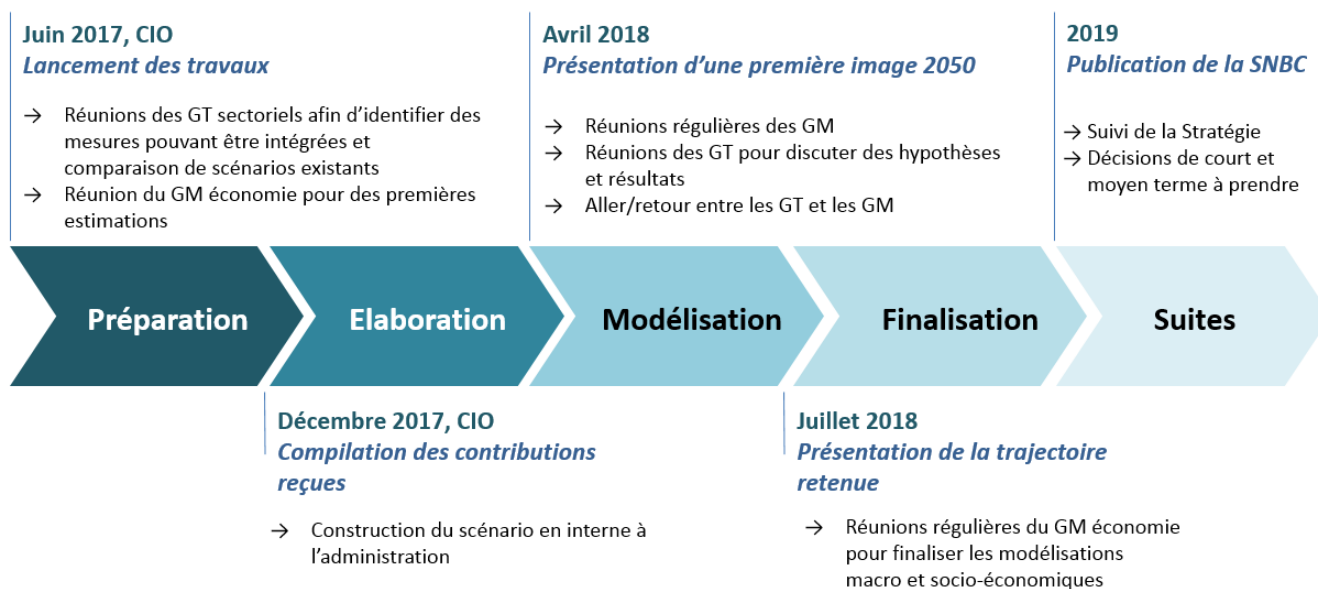


Figure 11: Chronologie de l'élaboration de la SNBC. Source : DGEC

a mobilisé de nombreux acteurs (parties prenantes, experts ou modélisateurs) et est le fruit de presque deux ans de travail.

### 3.3 Valoriser les données et conserver les acquis

Lors de l'élaboration d'un scénario, beaucoup de temps est consacré à la recherche de données pertinentes ou au développement de nouveaux modèles. Comment peut-on faciliter l'utilisation des modèles et des données ?

#### 3.3.1 Le problème de la diffusion des données

De nombreuses études statistiques et d'enquêtes sont réalisées par plusieurs organismes dont c'est le coeur de métier dont voici une liste non exhaustive : CGDD, Ademe, CITEPA, INSEE, centre d'études et de recherches économiques sur l'énergie (CEREN), agence nationale de l'habitat (Anah), centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (Cerema). Certaines entreprises possèdent elles-aussi des données. Leur intérêt peut être alors de les conserver secrètement pour garder un avantage concurrentiel ou au contraire de les diffuser et de les mettre en accès libre dans une logique de transparence, mais aussi d'émulation et de mises à contribution d'utilisateurs intéressés pour stimuler les partenariats et l'innovation. Ceux qui ont besoin des données ne sont pas toujours en contact avec ceux qui les possèdent. Il y a donc un problème de diffusion de l'information. Pour certains utilisateurs, il peut être extrêmement compliqué d'obtenir une base de données pertinente qui leur serait très utile pour leurs travaux.

### 3.3.2 Standardiser les formats et officialiser les règles de comptabilité

D'autre part, les données n'ont pas toutes le même format. Différents jeux de données ne sont alors pas compatibles entre eux et bien les comparer nécessite alors un travail parfois très conséquent. Ces différences de standards peuvent venir de logiciels informatiques différents. Néanmoins, ces problèmes se posent un peu moins pour le DLCES dont les modèles font rarement intervenir des données massives ou big data. En pratique, les modèles simples utilisés en interne sont disponibles sous forme de tableur. Le principal problème est le manque de définitions précises et officielles. Il n'existe par exemple pas de définition claire de ce qu'est une rénovation. Si dans le langage courant, on comprend que c'est l'acte qui permet d'améliorer la performance thermique d'un bâtiment, cela ne nous donne aucune indication sur la façon de les compter. Toutes les rénovations ne se valent pas. Certaines permettent d'isoler complètement un bâtiment en le passant aux meilleures normes de performances énergétiques. D'autres sont plus superficielles et se résument à quelques gestes qui ne changeront que marginalement la consommation énergétique du logement. Pourtant, dans leurs discours, les hommes politiques affichent des objectifs chiffrés en nombre de rénovations. Quitte à définir ce qu'est une rénovation moyenne ou à considérer différentes sortes de rénovation, comme les rénovations bâtiment basse consommation équivalent, un cadre réglementaire doit être fixé pour que tous les acteurs parlent de la même chose. Sans cela, différentes études portant sur le même objet peuvent obtenir des nombres de rénovation allant du simple au triple selon la méthode considérée. Si l'on a vu précédemment que la pertinence de la comptabilité en  $tCO_2eq$  avec des PRG sur 100 ans, ou d'un coefficient énergie primaire énergie finale fixé par réglementation, fait beaucoup débat, ces normes, bien que critiquables, ont le mérite de fixer un cadre commun qui permet aux différents acteurs de la société de discuter. Il est donc indispensable de clarifier les méthodes pour compter les mêmes objets.

### 3.3.3 Des initiatives à suivre ou poursuivre

Ces problèmes ne sont pas spécifiques aux domaines de l'énergie et de l'environnement. De nombreuses initiatives contribuent à standardiser les données et faciliter l'accès notamment grâce à l'open source. Certaines petites ou moyennes entreprises ainsi que des géants d'internet sont beaucoup plus en avance que l'Etat sur ces questions. L'Etat, et en particulier le MTES, doivent donc se mobiliser pour exploiter au mieux les données dont ils disposent et faciliter l'accès aux utilisateurs. La DGECC a lancé plusieurs initiatives allant dans ce sens. L'organisation d'un évènement appelé Data DGECC a permis de faire se rencontrer différents acteurs pour discuter des potentiels d'exploitation des données énergie-climat, ainsi que des améliorations possibles pour la diffusion et l'accès aux données ou une visualisation plus facile des données. Pour poursuivre sur cette lancée, certains envisagent de nommer un responsable données dans chaque équipe qui utilise des données pour faire remonter à intervalles réguliers les jeux de données qui pourraient être utiles ainsi que des propositions pour faciliter leurs accès. De tels initiatives doivent être poursuivies pour

augmenter l'efficacité du travail à long terme et exploiter au mieux les données disponibles. Elles prennent cependant du temps et du personnel, on peut alors se poser la question de la quantité des moyens humains et financiers à allouer au ministère.

### 3.3.4 Développer son propre modèle ou s'appuyer sur des modèles existants ?

Tout comme pour les données, l'existence de certains modèles n'est pas forcément connue des utilisateurs potentiels. On constate un problème similaire de diffusion de l'information. L'utilisation de modèles peut aussi se heurter à leur complexité d'utilisation. Les manuels d'utilisateurs ainsi que les modes d'utilisation simplifiés sont donc cruciaux pour les modèles qui ont vocation à être utilisés. En pratique, en l'absence de diffusion de l'information et à cause d'une complexité causant un coût à l'entrée, on constate que les modèles sont peu utilisés à l'exception de quelques experts qui ont contribué à le réaliser. Si le modèle est complexe et pertinent, les experts qu'ils soient chercheurs ou dans une entreprises de conseil, l'utiliseront pour réaliser des commandes. Si le modèle est plus simple, il ne sera vraisemblablement utilisé qu'en interne et d'autres acteurs créeront eux-mêmes leurs propres modèles simples. Élaborer son modèle permet de mieux le connaître et de comprendre clairement son fonctionnement. On peut cependant questionner l'utilité de recoder des modèles similaires à d'autres modèles existants, notamment lorsqu'ils sont créés par plusieurs bureaux de structures publiques et qu'ils ont vocation à être open source et partagés. Élaborer un modèle est un exercice très formateur qui permet de comprendre certains mécanismes de notre objet d'études utiles pour réfléchir à différents scénarios. La question de savoir si la valeur d'un modèle ou d'un scénario est dans le produit fini ou dans son processus d'élaboration est ouverte. Dans [27], Hulme et Desai distinguent les scénarios « *proccess oriented* » des scénarios « *product oriented* ». Pour qu'un modèle soit utilisé par d'autres personnes que ses créateurs, cela nécessite beaucoup de communication pour informer de l'existence de ce scénario ainsi que des manuels utilisateurs claires voire des cours et tutoriels pour apprendre l'intérêt et la manière d'utiliser de tels modèles. Faire vivre un modèle est donc un travail à part entière qui peut prendre beaucoup de temps.

## 4 Comment concrétiser des scénarios et stratégies en politiques publiques ?

Si l'on a vu que réaliser des scénarios à horizon long comme 2050 peut être utile pour fixer un cap, il est nécessaire que cette stratégie de long terme se concrétise à court terme grâce à des politiques publiques pertinentes. Malgré des objectifs de long terme toujours plus ambitieux (facteur 4 puis neutralité carbone), la transition est plus lente que prévue, comme le montre le dépassement du premier budget carbone et celui déjà très probable du deuxième. Contrairement à des scénarios étatiques comme la « United States Mid-Century Strategy for Deep Decarbonization » [23] réalisée par la maison blanche, la SNBC n'éclaire pas seulement le débat en donnant différentes visions de la neutralité carbone mais elle a aussi vocation à être cohérente avec les engagements de la France au niveau international, à s'opérationnaliser concrètement dans des politiques nationales et à être déclinée au niveau territorial. Cet exemple de la prise en compte de la SNBC mettra en évidence les impacts d'un scénario prospectif sur des politiques publiques concrètes.

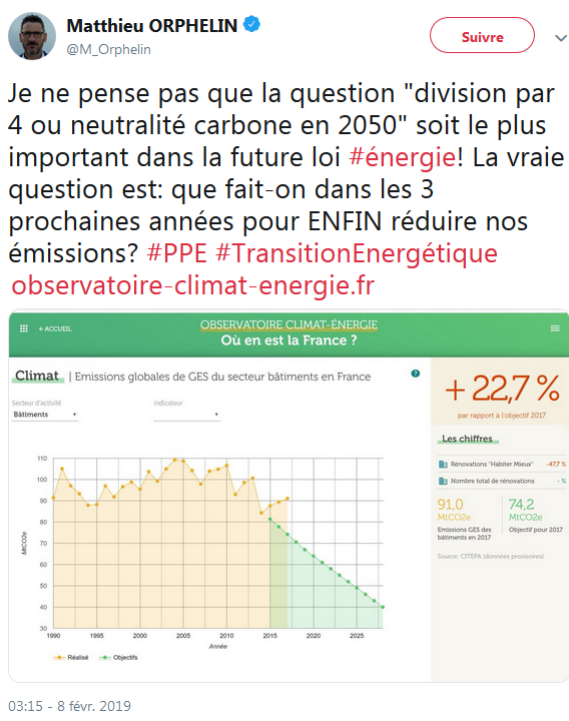


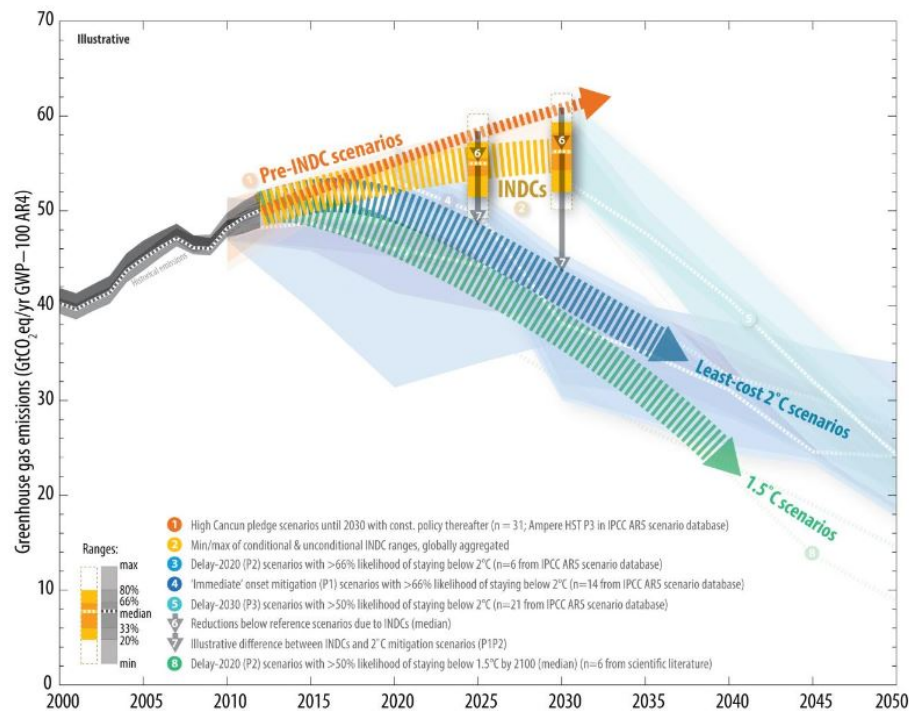
Figure 12: Réaction du député Matthieu Orphelin au débat neutralité carbone/facteur 4

### 4.1 Raconter un récit pour se mettre en conformité et rayonner au niveau international

La SNBC est la stratégie officielle présentée par la République française pour réduire ses émissions de GES. Elle est de ce fait très importante pour se positionner dans les négociations internationales.

#### 4.1.1 A l'échelle des Nations unies : conference of parties, Conférence des Parties (COP) et nationally determined contributions (NDCs)

A l'issue de la COP21, l'adoption de l'accord de Paris [5] prévoit de contenir le réchauffement climatique « bien en dessous de 2 °C par rapport aux niveaux préindustriels » et de « poursuivre les efforts pour limiter la hausse des températures à 1,5 °C » (article 2). Dans ce cadre, l'article 4 stipule que chaque pays doit « communique[r] et actualise[r] les contributions déterminées au niveau national » ou NDCs. Pour chacun des pays, chaque NDC devra déterminer des objectifs de réduction de GES et être plus ambitieuse que la précédente. La CCNUCC laisse cependant les États proposer leurs NDCs sans être contraignante. Cette absence de contrainte autorise les États à ne pas être ambitieux sur le plan climatique s'ils ne le souhaitent pas. En conséquence, les engagements pris à travers les NDCs sont loin de permettre d'atteindre l'objectif de Paris de limiter le réchauffement à 2°C et encore moins à 1.5°C comme le montrent les rapports [4, 13] ou les articles [24, 28] qui proposent des marges de manoeuvre pour améliorer les NDCs. Les pays de l'Union européenne (UE) ne rapportent pas leurs NDCs individuellement car l'UE communique sa propre NDC [11]. Le fonctionnement européen est très différent de celui des Nations unies.





## Evolution du marché ETS

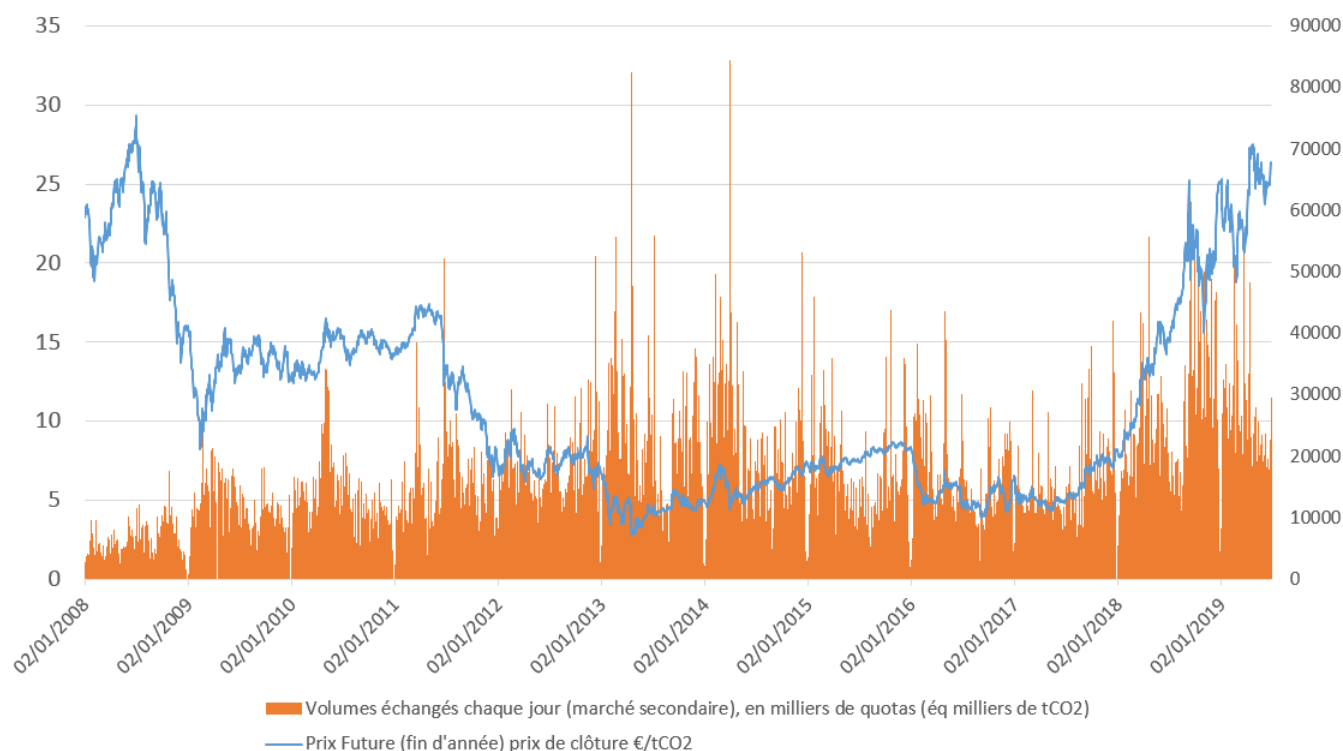


Figure 14: Évolutions des volumes de quotas échangés et prix de la tonne de CO<sub>2</sub> au sein de l'ETS. Source : [12]

### 4.1.2 A l'échelle européenne : le marché européen trade system (ETS) et le système effort Sharing Regulation (ESR)

Une partie de la politique climatique des Etats membres est directement déterminée par l'UE. En particulier, depuis son lancement en 2005, le système communautaire d'échange de quotas d'émissions ou ETS met en place un marché d'autorisations d'émettre des GES pour des installations des secteurs énergétiques, industriels ainsi que l'aviation depuis 2012 (cf [10]). Les entreprises concernées reçoivent ce que certains appellent des « droits à polluer » et peuvent les utiliser pour émettre du CO<sub>2</sub>, les vendre si elles ne les utilisent pas ou bien en acheter sur le marché si elles n'en ont pas assez. Le but de ce marché carbone est de diminuer les émissions en réduisant année après année le nombre de quotas carbone et pour faire augmenter le prix, qui dépend de l'offre et de la demande, de la tonne de CO<sub>2</sub> émise. Cependant, ce système a été vivement critiqué par des associations de défense de l'environnement par son manque d'effet sur la réduction des émissions de GES. Jusqu'à l'automne 2018, l'ETS n'a en effet pas réussi à faire augmenter le prix du CO<sub>2</sub> émis. Le nombre de quotas délivré était donc trop important. La crise de 2008 explique cet échec car les entreprises ont vu leur production diminuer après la crise et la demande de quotas a beaucoup baissé. Depuis 2018, une réforme a entraîné la mise en place d'une réserve de stabilité de marché ayant eu pour conséquence de réduire la disponibilité des quotas. Par anticipation du marché, le

prix du quota a augmenté pour retrouver son niveau d'avant 2008. Au sein du DLCEs, le bureau des marchés carbone est chargé de faire le lien entre la politique française et ce marché des quotas. Le marché ETS ne couvre cependant que 3 grands secteurs (l'énergie, l'industrie et l'aviation depuis 2012) et 40% des émissions de GES de l'UE. Le reste des émissions est géré par l'ESR [9]. Le partage des efforts est d'abord déterminé après des négociations au niveau européen, puis chacun des États membres doit atteindre l'objectif fixé par l'UE. Ces objectifs prennent en compte les capacités des Etats membres. Ainsi, les Etats les plus riches comme la France (qui doit par exemple réduire de 37% ses émissions de GES par rapport à leur niveau de 2005) ou l'Allemagne (-36%) doivent faire davantage que la Pologne (-7%) ou la Bulgarie (0%). La répartition des efforts européens doit permettre à l'UE d'atteindre ses objectifs.

#### **4.1.3 La SNBC pour faire rayonner la France à l'internationale**

On peut donc voir la SNBC 2 comme une mise en conformité au niveau international (cf [30]). La SNBC permet d'assurer que la France possède une stratégie pour atteindre ses objectifs de réduction au niveau européen et donc être en phase avec la NDC de l'UE. Si cette mise en conformité est indispensable d'un point de vue du droit international, on ne peut réduire la SNBC à cette vision très minimaliste. Comme on l'a déjà vu, la SNBC prétend aussi donner une vision souhaitable d'une France neutre en carbone en 2050. Certaines personnalités espèrent même qu'elle pourrait être centrale pour écrire une nouvelle page dans ce que certains français aiment appeler « le récit national » ou « le roman national ». L'annonce de l'objectif de neutralité carbone en 2050 est aussi un positionnement diplomatique important. Suite à la décision le 1er juillet 2017 du président étatsunien de quitter l'accord de Paris, Emmanuel Macron annonce qu'il souhaite rendre sa grandeur à notre planète (« Make our planet great again ») en détournant le slogan de campagne « Make America great again » de Donald Trump. Le président français cherche depuis à prendre le leadership climatique mondial. Se présenter comme un élève modèle contribue au rayonnement de la France au niveau international et peut aussi avoir un effet d'entraînement positif sur les autres pays. En effet, la France représente moins de 1% des émissions mondiales et ses efforts ne changeront que marginalement les effets sur le réchauffement climatique. En revanche, de part son statut diplomatique privilégié au sein de l'organisation des nations unies (ONU) et de l'Europe, la France peut être écoutée et inciter d'autres pays à être plus ambitieux et plus rapides dans leur transition écologique.

## **4.2 Des lois et des politiques devant « prendre en compte » la SNBC**

### **4.2.1 Les valeurs juridiques de la SNBC et de ses objectifs**

La SNBC est un document stratégique national ayant une valeur de décret. Elle n'a donc pas un statut législatif ou constitutionnel. Les lois et les programmes n'ont qu'un lien de prise en compte avec la SNBC. Cela signifie que les politiques ne doivent « pas ignorer ni s'éloigner [de ces] objectifs et orientations fondamentales ». Il serait impossible que la SNBC soit directement contraignante pour des raisons démocratiques. Contrairement aux lois, la SNBC n'a pas été soumise aux délibérations et au vote du parlement. En revanche, elle peut servir d'inspiration à des lois qui sont très en lien avec la transition écologique comme les récentes loi orientation et mobilités (LOM) et LEC.

Si la SNBC n'est pas inscrite dans la loi, certains objectifs à long terme le sont. La LTECV fixe notamment les objectifs suivants qui seront mis à jour dans la future LEC (cf C et D) :

- Réduire les émissions de gaz à effet de serre de 40 % entre 1990 et 2030 et de diviser par quatre les émissions de gaz à effet de serre entre 1990 et 2050.
- Réduire la consommation énergétique finale de 50 % en 2050 par rapport à la référence 2012, en visant un objectif intermédiaire de 20 % en 2030.
- Réduire la consommation énergétique primaire des énergies fossiles de 30 % en 2030 par rapport à l'année de référence 2012.
- Porter la part des énergies renouvelables à 32 % de cette consommation en 2030.
- Réduire la part du nucléaire dans la production d'électricité à 50 % à l'horizon 2025.

Les budgets carbone permettent de vérifier que l'on ne s'éloigne pas trop de ces objectifs. Cependant, ni les budgets carbone ni les objectifs ne sont une garanties de réduction des émissions de GES.

### **4.2.2 L'articulation de la SNBC avec les autres acteurs et programmes**

Dans un souci de cohérence de l'Etat, la SNBC doit dialoguer avec d'autres programmes liés aux enjeux environnementaux, énergétiques et climatiques. Les qualités de l'eau, des sols et de l'air, l'énergie, la mobilisation de la biomasse, la biodiversité, la rénovation énergétique de l'habitat, les risques d'inondation, l'économie circulaire, la recherche ou l'adaptation au changement climatique sont autant d'enjeux transversaux qui relèvent d'une stratégie ou d'un plan national dont le fonctionnement est semblable à la SNBC (cf figure 16). Ces autres programmes ne sont pas gérés par le DLCES mais par d'autres services de la DGEC comme la direction de l'énergie (DE), d'autres directions sectorielles du MTES (DGITM, direction de l'habitat de l'urbanisme et des paysages

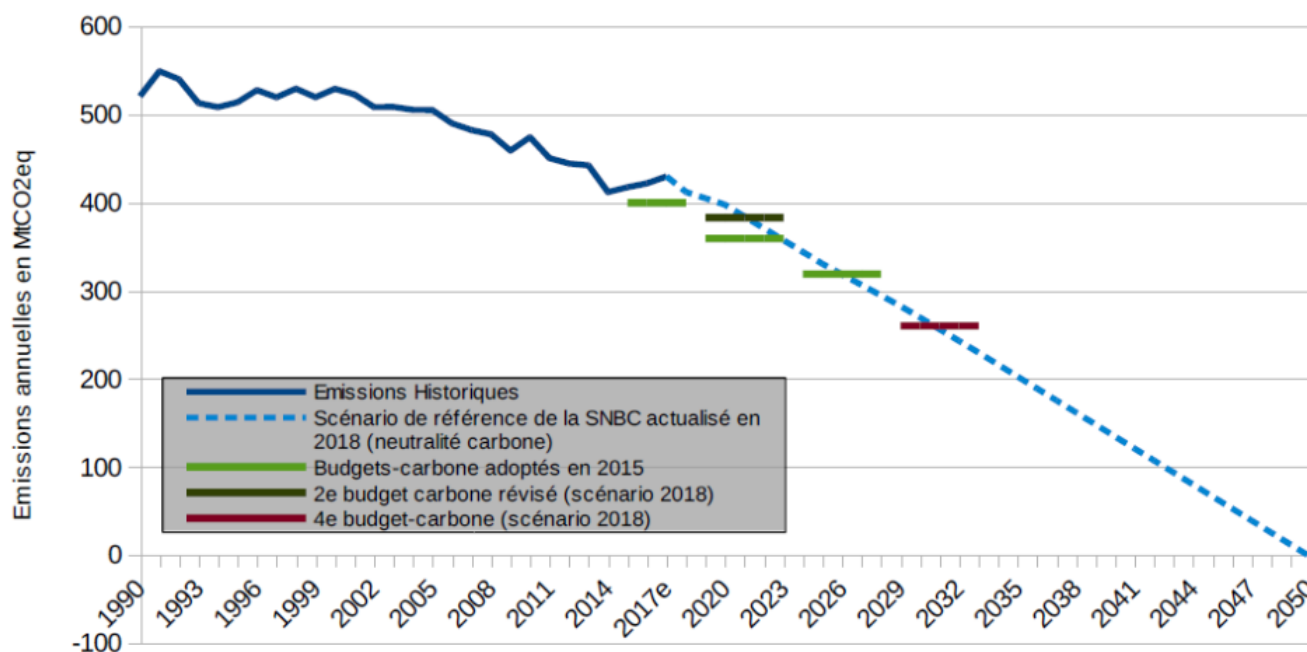


Figure 15: Trajectoire des émissions de GES et budgets carbone. Source : SNBC 2 [15]

(DHUP), direction de l'eau et de la biodiversité (DEB)) voire d'autres ministères (éducation nationale, santé, enseignement supérieur et recherche ou MAA). Si la plupart des programmes font ressortir des synergies et des cobénéfices entre eux, d'autres peuvent avoir des intérêts divergents. Chaque direction sectorielle et ministère défend alors sa stratégie et veille à ce que les décisions du gouvernement soit le plus possible en faveur de son objectif. Pour permettre d'aligner les objectifs et mettre de la cohérence entre les programmes, certains experts officiels et indépendants des structures émettent des avis c'est le cas notamment de l'autorité environnementale. Les annonces récentes de la création du Haut Conseil pour le Climat (HCC), du conseil de défense écologique et de la convention citoyenne sur le climat laissent penser que la manière dont ces programmes sont pris en compte et évalués est amenée à changer dans les mois qui viennent.

#### 4.2.3 Les arbitrages

Lorsqu'une loi est votée, le climat n'est qu'une préoccupation parmi tant d'autres des parlementaires élus par les citoyens pour les représenter. Laisser le temps à l'industrie de se reconvertir, protéger des emplois, garantir des libertés dans les choix des citoyens et des consommateurs, ne pas porter atteinte à la compétitivité des entreprises française ou ne pas diminuer le pouvoir d'achat sont autant de préoccupations qui selon la loi et l'amendement discutés peuvent être compatibles avec la volonté de réduire les émissions de GES ou au contraire être contradictoires. Lorsque c'est le cas, un arbitrage est nécessaire pour déterminer quelle préoccupation est la plus importante. Suite à des débats en plénière ou en commission, des amendements sont déposés pour modifier des parties de la loi, les administrations centrales en charge comme la DGEC donnent leurs avis

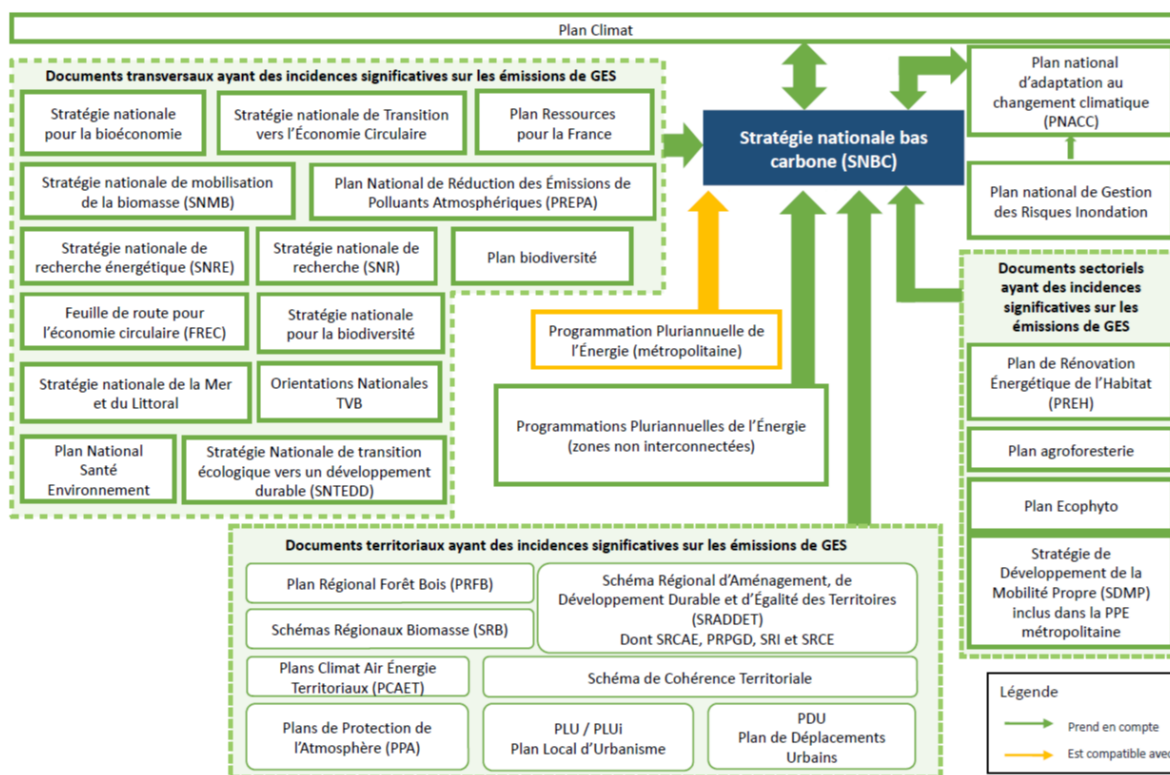


Figure 16: Articulation de la SNBC avec les principaux plans et programmes. (Source : Autorité environnementale [8])

favorables ou non sur les amendements. Ainsi, la dernière décision revient toujours aux élus qui ont une légitimité démocratique. Les programmes politiques ne fixant pas toujours la lutte contre l'effet de serre en tête de leurs priorités, les arbitrages ne sont pas toujours en accord avec la SNBC. Le plus bel exemple récent est le choix du gouvernement de geler l'augmentation de la taxe sur les carburants pour répondre à la crise des gilets jaunes.

#### 4.2.4 La SNBC et les budgets carbone mettent le futur État en face de ses responsabilités

Certains militants pro climat (cf 5.3) considéreront alors que la SNBC, les objectifs climatiques des LEC et LTECV, tout comme les COP et l'accord de Paris, sont de simples éléments de communication couramment appelés « greenwashing », pour se donner bonne conscience, pour servir une stratégie électorale et faire taire les critiques sur le manque d'efforts des gouvernements dans la transition écologique. Si, comme on l'a vu, il est évident qu'afficher de telles ambitions peut être utile pour renvoyer une bonne image des dirigeants, se montrer ambitieux et se fixer des objectifs, c'est risquer de ne pas les atteindre. S'il n'y avait aucun coût politique à de telles ambitions, la plupart des pays auraient déjà fixé l'objectif de neutralité carbone. La SNBC propose une stratégie cohérente pour atteindre la neutralité carbone. Si l'État s'en éloigne trop et ne réduit pas suffisam-

ment ses émissions de GES, il lui sera difficile de ne pas admettre sa responsabilité. L'ensemble des indicateurs de suivi comme les budgets carbone sont autant de moyens pour obliger l'État à donner des réponses sur l'avancement de la transition bas carbone. Les ONG en sont d'ailleurs conscientes comme le montrent le lancement et le succès médiatique de « l'affaire du siècle » [34], une action qui « assign[e] l'État français en justice devant le Tribunal administratif de Paris pour inaction face aux changements climatiques ». Les objectifs de la LTECV et les budgets carbone seront autant d'indicateurs sur lesquels pourra s'appuyer la justice pour trancher si l'État est suffisamment actif ou non. L'Etat a, par ailleurs, confirmé cette volonté d'être contrôlé et critiqué en créant des instances indépendantes comme le HCC ayant pour mission de rédiger annuellement un rapport (cf le premier récemment sorti [6]) pour analyser et critiquer l'action climatique du gouvernement. Pour les politiques, être cohérent avec la SNBC peut être un argument politique important. Au contraire, les politiques totalement en désaccord avec la SNBC prennent le risque d'être critiqués sur leur manque d'ambition écologique.

### **4.3 Décliner au niveau territorial**

Il est inscrit dans l'article 173 de la LTECV que l' « Etat, les collectivités territoriales et leurs établissements publics respectifs prennent en compte la stratégie bas-carbone dans leurs documents de planification et de programmation qui ont des incidences significatives sur les émissions de gaz à effet de serre. » Comment s'y prendre concrètement pour décliner la SNBC au niveau territorial ?

#### **4.3.1 Respecter les spécificités régionales**

Comme son nom l'indique, la SNBC est une stratégie avant tout nationale. Elle fixe donc des grandes tendances et des objectifs à l'échelle française. Des indicateurs comme le nombre de logements rénovés, les surfaces de terre vouées au puits de carbone et à la production de biomasse ou la part de voitures électriques dans le parc de véhicules sont toujours donnés à un niveau national. Il y a cependant de grandes disparités dans les besoins et ressources des différents territoires. Par exemple, les besoins de rénovation dans le bâtiment sont moins importants dans le sud de la France avec son climat plus chaud. Une région comme l'Ile-de-France possède beaucoup plus de surfaces artificialisées et participera moins aux objectifs de puits de carbone ou de production de biomasse que d'autres régions de province plus agricoles. A l'inverse, les voitures électriques se développeront beaucoup plus dans des milieux plus urbanisés. Il est donc indispensable de prendre en compte les spécificités de chaque territoire si l'on désire décliner la SNBC plus localement. Il ne s'agit pas de faire une homothétie de la SNBC au niveau régional.

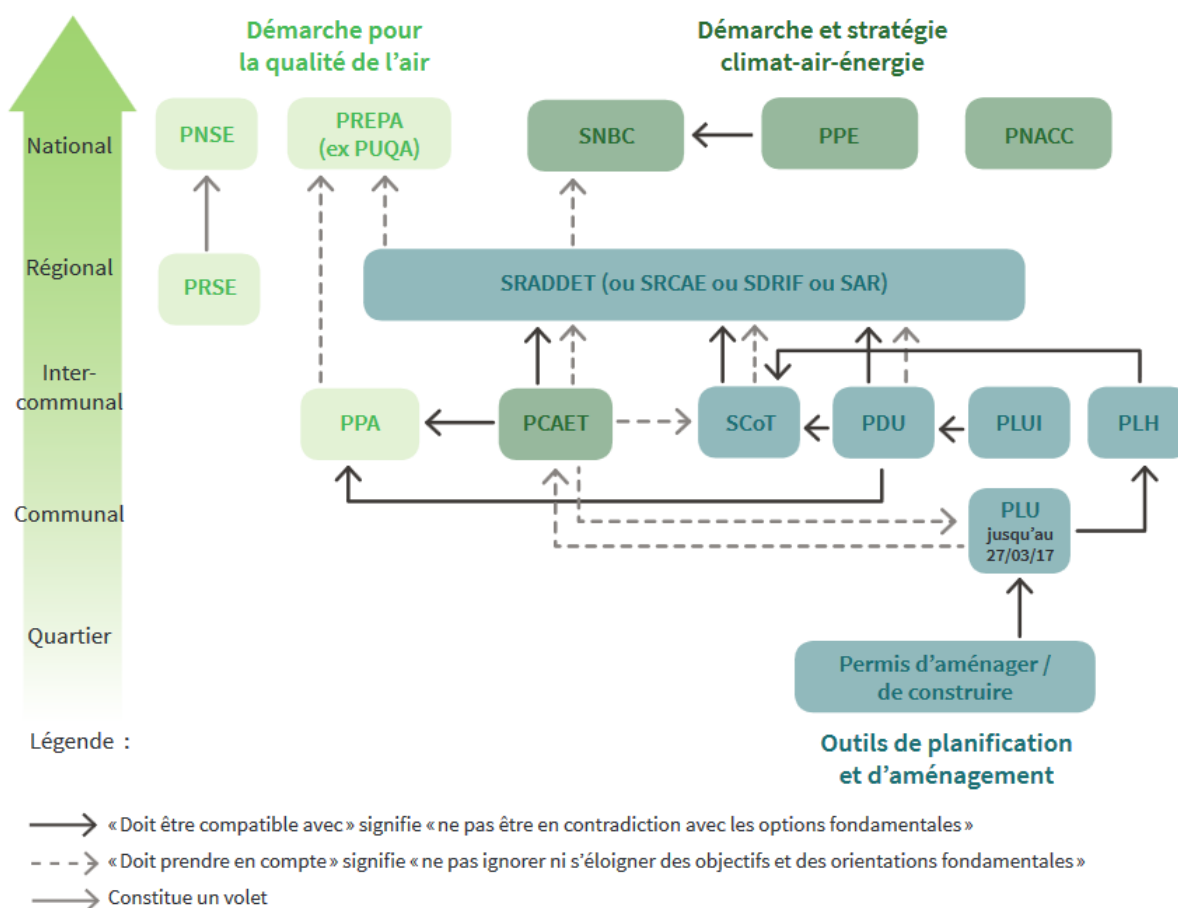


Figure 17: Schéma des liens entre les différents outils de planification à différentes échelles.

Source : Ademe [1]

#### 4.3.2 Quels sont les plans et programmes au niveau territorial et comment les articuler avec le niveau national ?

Les collectivités possèdent leurs propres programmes stratégiques et documents de planification. Chaque région élabore un schéma régional d'aménagement de développement durable et d'égalité des territoires (SRADDET), document stratégique qui vise, entre autre, à diminuer les émissions de GES au niveau de la région. A l'échelle intercommunale, l'exercice de planification dans les domaines du climat et de l'énergie est réalisé à travers le plan climat-air-énergie territorial (PCAET). Ces programmes doivent être articulés, d'une part, avec d'autres plans plus locaux comme les plans locaux d'urbanisme (PLU) et d'autre part avec les stratégies nationales telles la SNBC comme il est expliqué sur la figure 17. Aucune réglementation n'impose une méthode précise pour réaliser les objectifs au niveau territorial. La vérification des liens de prise en compte entre les programmes se fait donc au cas par cas par différentes autorités et organismes. L'articulation parfaite entre toutes ces différentes échelles paraît donc illusoire. Les discussions entre les acteurs font toutefois ressortir la nécessité de créer un cadre commun pour comparer les objectifs ainsi que des instances

de dialogue, l'une horizontale entre les régions et les territoires et l'autre entre l'État et les régions. Ces instances de dialogues permettraient d'échanger sur les ambitions air-énergie-climat.

### 4.3.3 S'adapter aux différents calendriers

Les calendriers des plans aux niveaux national, régional et intercommunal ne sont pas non plus alignés. Si la SNBC et les PCAET sont révisés périodiquement tous les 5 ans et 6 ans, les SRADDET n'ont pas de calendrier défini. Après chaque élection régionale, ils peuvent être maintenus ou révisés selon le programme et les priorités du nouveau conseil élu. Ces contraintes de calendrier ajoutent de la complexité pour la mise en cohérence des différents plans. La prochaine articulation entre les plans nationaux et régionaux est donc prévue pour les prochaines élections régionales en 2021. Lorsque l'on pourra vérifier que les potentiels nouveaux SRADDET sont compatibles ou non avec la SNBC 2, il sera déjà temps de penser à s'aligner avec les objectifs de la SNBC 3.

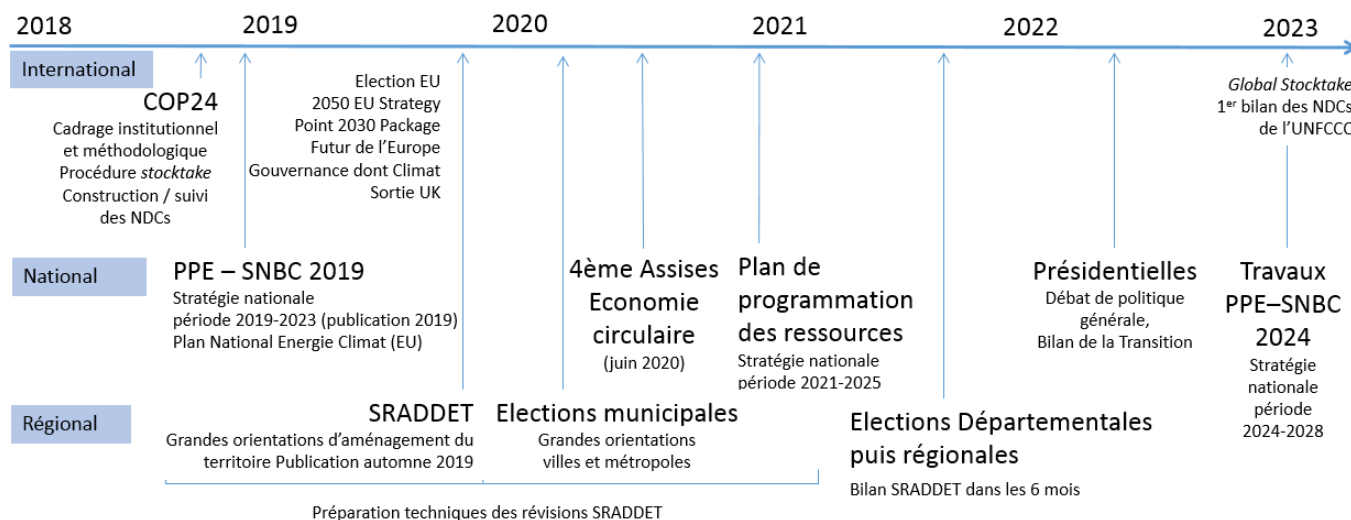


Figure 18: Agenda prévu pour la gouvernance de la politique climatique aux niveaux international, national et régional. Source : Ademe

### 4.3.4 Communiquer les objectifs de la SNBC dans les territoires

Diffuser la SNBC au niveau territorial est alors un enjeu crucial pour que chaque région s'approprie ces enjeux énergétiques et climatiques. Pour se faire, les services déconcentrés de l'État sont un relais indispensable. Chaque région possède une direction régional de l'aménagement, du logement et de la nature (DREAL) qui met en oeuvre les politiques nationales liées aux thématiques de la transition écologique et solidaire au niveau local. La DGEC est donc en contact régulier avec les DREAL et organise fréquemment des réunions notamment avec les chefs des poles climat-air-énergie, par exemple pour présenter le scénario AMS et le comparer à d'autres scénarios plus médiatiques comme ceux de négaWatt ou de l'Ademe (cf 2) ou encore pour expliquer comment mettre en oeuvre des politiques publiques en accord avec la SNBC. Au niveau régional, les DREAL



pourront prendre le rôle de conseillère auprès des collectivités qui sont volontaires voire ambitieuses sur le plan climatique. Dans cet esprit de diffusion des idées de la SNBC, la DGEC a organisé un tour de France surnommé « road trip » pour rencontrer les collectivités locales afin de discuter de la neutralité carbone avec les territoires. De telles initiatives sont à poursuivre pour que les territoires s'approprient et se reconnaissent dans la vision d'une France neutre en carbone en 2050.

#### **4.3.5 La neutralité carbone et la territorialisation : un changement de paradigme dans les modes de gouvernance**

L'objectif de neutralité carbone oblige à repenser les méthodes de mise en oeuvre des politiques publiques. La transition écologique ne peut se réduire à un secteur particulier et se doit d'être transversale. De nouveaux enjeux jusqu'ici sous-estimés réapparaissent et se révèlent aujourd'hui cruciaux. L'utilisation des terres agricoles et des espaces naturels et la façon dont on envisage l'aménagement et l'urbanisme influenceront directement sur la réussite de la transition. De tels enjeux sont fondamentalement liés aux territoires. Les modes de gouvernance très programmée et directive sont aujourd'hui remis en cause par la décentralisation. On peut remarquer qu'en parallèle, la façon dont on conçoit le progrès et le développement économique se trouve de plus en plus bouleversée par les enjeux environnementaux. Ainsi, la transition écologique et la territorialisation gagneront en efficacité si elles sont mises en oeuvre conjointement. Le développement de petites exploitations agricoles biologiques qui rompent avec l'agriculture intensive et l'élevage de masse, le déploiement de multiples sources d'énergies renouvelables adaptées au territoire au détriment d'une poignée de grosses unités de productions très puissantes et centralisées, la revalorisation des centre-villes en privilégiant les transports en commun et les modes doux plutôt que les grands contournements et aéroports sont autant d'exemples qui montrent que la transition écologique se fera en grande partie au niveau local.

## 5 Comment intégrer les citoyens et leurs revendications dans le processus ?

La transition bas carbone ne peut se faire sans être à l'écoute des citoyens. Tous n'ont pas les mêmes revendications. Dans l'esprit du scénario ZEN 2050, nous distinguons les comportements « variables », « réticents » et « moteurs ». Pour intégrer les citoyens et leurs revendications à la mise en place de la transition bas carbone, nous proposons de vulgariser et donner une vision, de rendre la transition juste et acceptable en partageant les efforts, et enfin d'être à la hauteur des enjeux et de l'urgence climatique et environnementale. Même si chacune des sous-parties suivantes se penche plus particulièrement sur un comportement, ces 3 recommandations peuvent néanmoins s'appliquer aux 3 comportements indifféremment. Il peut notamment être utile de vulgariser pour que les « réticents » comprennent les enjeux et la nécessité du changement ou pour que les « moteurs » puissent effectuer des actions réellement efficaces et pas contre-productives.

### 5.1 Convaincre les « variables » : Nécessité de vulgariser et de donner une vision

Beaucoup de citoyens ne sont pas conscients des enjeux environnementaux et climatiques. Le panel citoyen qui a participé au scénario ZEN déclare, en effet, ne pas être conscient de l'urgence climatique avant d'avoir effectué la formation qui vulgarisait ces problématiques puis affirme, au contraire, avoir pris conscience de l'ampleur du problème à l'issue la formation. L'éducation et la vulgarisation sont donc indispensables pour pallier à la complexité et la technicité des sujets environnementaux. De plus, si les modèles et les objectifs chiffrés parlent aux experts, il est intéressant de pouvoir dresser des portraits fictifs d'habitants de 2050 et de raconter des histoires pour pouvoir rendre concret ces chiffres et faire en sorte que les citoyens s'identifient et se retrouvent dans des scénarios prospectifs.

#### 5.1.1 Education et cours

Intégrer le changement climatique dans l'éducation est une proposition qui fait plutôt consensus aujourd'hui. Cette idée est reprise dans la recommandation 12 du rapport ZEN 2050 intitulée « Éduquer à l'environnement et au climat à tous les niveaux ». Le panel de citoyen, interrogé dans cette étude, est unanimement d'accord avec cette recommandation. Les enjeux environnementaux, énergétiques et climatiques doivent être enseignés dès le plus jeune âge. Cela peut passer par des sorties thématiques ou des travaux pratiques comme ceux que l'association « la main à la pâte » promeut (voir par exemple leur projet éducation au développement durable [33]). Pour promouvoir de tels cours, il faut aussi repenser la formation des enseignants sur ces thématiques, par exemple, en s'inspirant des actions de l'office for climate education (OCE) qui a récemment publié un résumé simplifié à destinations des enseignants du rapport spécial du GIEC sur les 1.5° C. Les cursus universitaires doivent aussi intégrer ces nouveaux enjeux. Des appels [35] ont également été lancés

par des scientifiques, experts et chercheurs de renom pour intégrer le changement climatique et l'érosion de la biodiversité dans les programmes de collège et lycée, et en particulier en adoptant une vision systémique et en décroissant les disciplines. Les grandes écoles et universités commencent elles aussi à mettre en place des cursus « verts » [41] pour former des spécialistes des questions environnementales. Ces cursus doivent être encouragés tout en veillant à la qualité scientifique des contenus et à la pédagogie des enseignants. Certains objecteront que l'urgence climatique est telle qu'il ne faut pas attendre que la nouvelle génération soit formée, qu'il faut agir dès aujourd'hui et que l'éducation n'est donc pas la priorité sur ces sujets. Il est cependant intéressant de remarquer que beaucoup d'adultes commencent à s'intéresser aux enjeux environnementaux à travers les discours, les questions et les préoccupations de leurs enfants. L'éducation reste donc un enjeu important pour continuer à créer et entretenir cette prise de conscience écologique chez les jeunes.

### **5.1.2 Jouer avec des modèles simplifiés et interactifs**

Pour tester des hypothèses et se rendre compte des conséquences des choix politiques et technologiques sur le climat, des modèles simplifiés et interactifs peuvent être des moyens ludiques d'aborder ces sujets. Le department of energy and climate change (DECC) britannique a développé plusieurs calculateurs, à l'échelle du Royaume-Uni [44] ou du monde [45], permettant à l'utilisateur de tester différents leviers et de quantifier les réductions des émissions de GES induites. Cette initiative a ensuite inspiré d'autres pays. L'Afrique du Sud, la Belgique, la Chine, la Corée du Sud, l'Inde, le Japon et Taiwan ont développé par la suite leurs propres calculateurs. L'originalité de ces modèles était de laisser la possibilité aux utilisateurs de proposer leurs propres scénarios. Une analyse des scénarios proposés et des profils sociologiques des contributeurs a alors pu être réalisée [20]. Le modèle était très transparent et les utilisateurs confirmés pouvaient directement vérifier son fonctionnement grâce aux fichiers tableurs disponibles en libre accès. Développer un projet semblable serait possible et souhaitable au niveau français. Le modèle GESTime, développé sur tableur en interne à la DGEC, permet d'ores et déjà de calculer les émissions de GES françaises en fonction d'hypothèses sectorielles et transversales sur les choix de sociétés françaises pour 2030 et 2050. Un tel projet nécessiterait surtout un travail pour créer une interface graphique et des hypothèses simplifiées pour que l'utilisation soit agréable et facile d'accès. On pourrait également penser à développer une interface graphique « user-friendly » pour qu'à terme des non spécialistes puissent utiliser le modèle Titan actuellement en développement au CGDD. Des modèles simplifiés comme GESTime ou DECC calculator peuvent aussi servir de support de discussion (cf 3.1). Par exemple, l'objectif est que chaque partie prenante puisse proposer sa vision de la neutralité sous la forme d'un ensemble d'hypothèses en utilisant GESTime. Le modèle permettra alors de vérifier que les hypothèses sont bien cohérentes avec la neutralité carbone et forcera les parties prenantes à faire des hypothèses ambitieuses ou au minimum des compromis dans certains secteurs. Ces modèles bien que très attrayants et très ludiques peuvent cependant prendre beaucoup de temps. Il est légitime de se demander s'ils sont vraiment les moyens les plus efficaces pour faire comprendre les enjeux climatiques aux citoyens. Des études tendent à montrer que des fiches synthétiques et

des formats courts font aussi bien voire mieux dans certains cas.

### **5.1.3 Blogs, vidéos et vulgarisation sur internet**

La vulgarisation sur internet a largement contribué à diffuser et faire comprendre les problématiques liées au climat au grand public. Beaucoup de citoyens, parfois experts et diplômés ou simplement passionnés et curieux, deviennent créateurs de contenus sur internet. Le problème des « fake news » et des réseaux complotistes est omniprésent dans les médias. Il peut être compliqué pour un internaute de faire la part entre, ce qui est communément admis par la communauté scientifique d'une part, et les affirmations plus controversées et utilisées habilement à des fins politiques précises, voire de la désinformation, d'autre part. Si des journaux, comme Le Point [42] ou les décodeurs du Monde, essayent parfois de démêler le vrai du faux dans un exercice qu'on appelle aujourd'hui « fact checking », leurs analyses suivent toujours une certaine ligne éditoriale et présentent une vision de l'écologie selon le point de vue politique du journal. Il est illusoire de vouloir se débarrasser complètement des biais liés à l'angle sous lequel est abordé le sujet. On peut néanmoins essayer de se rapprocher le plus possible de l'objectivité et en particulier s'efforcer de présenter le consensus scientifique tel qu'il est, et rester prudent sur les affirmations qui restent encore à confirmer. Dans cet esprit, on voit apparaître de la vulgarisation de très bonne qualité sur des blogs amateurs ou sur la plateforme de vidéo en ligne YouTube. Des blogs comme ceux de l'ingénieur Jean-Marc Jancovici [40], aussi connu pour ces conférences, ont permis à de nombreux internautes curieux de s'informer facilement et de mieux comprendre les enjeux liés à l'énergie au climat. La chaîne YouTube Le Réveilleur [43] présente sous forme de vidéos, des problèmes aussi complexes que la production d'énergie sous toutes ses formes, le réchauffement climatique, la pollution de l'air, des eaux des sols, l'épuisement des ressources ou l'érosion de la biodiversité. Rodolphe Meyer, le vidéaste et créateur de cette chaîne, a d'ailleurs participé à la formation du panel citoyen qui était interrogé et donnait son avis sur le scénario ZEN 2050. De tels initiatives doivent être soutenues et encouragées. Le centre national du cinéma et de l'image animée (CNC) dispose notamment d'un fonds d'aide appelé le CNC talent qui accompagnent financièrement des créateurs de vidéos de vulgarisation. Il serait intéressant d'utiliser ce fond pour promouvoir en particulier la vulgarisation sur l'énergie et le climat.

### **5.1.4 Études sociologiques, portraits d'habitants et histoires à raconter**

Les bilans de consommations énergétiques, d'émissions de GES, les données sur les parcs de bâtiments, de véhicules et tous les autres chiffres et graphiques des scénarios prospectifs et des rapports officiels peuvent rapidement noyer les lecteurs non spécialistes. Les chiffres ne parlent pas directement à l'imaginaire du citoyen non expert. Pour avoir une représentation plus concrète de ce que peut être la neutralité carbone, il est parfois utile de donner des exemples voire de raconter des histoires crédibles. Des approches sociologiques voient le jour pour illustrer des visions de scénarios prospectifs à 2050. Dans son rapport « Paris change d'ère, vers la neutralité carbone en 2050 » [7]

p181, la Mairie de Paris présente la saga, une illustration fictive du quotidien des parisiens vivant dans une capitale neutre en carbone. Dans le même esprit, le sociologue Stéphane La Branche a réalisé l'étude sociologique du scénario ZEN 2050 [22] et présente des portraits fictifs de citoyens français vivant en 2050 dans une société neutre en carbone. Dans ces 2 études, les citoyens sont regroupés par catégorie selon leur sensibilité environnementale et les moyens financiers ou matériels dont ils disposent pour effectuer leur transition écologique. ZEN distingue notamment les moteurs, les variables et les réticents à la transition en précisant à l'intérieur de chacune de ces catégories si les citoyens sont plutôt épanouis, confortables, frustrés ou encore dissonants. De tels approches contribuent à créer un imaginaire plus concret et palpable de ce que peut être la neutralité carbone. En distinguant ces catégories on essaye de mieux appréhender la société française dans sa diversité et rendre la transition plus acceptable. Par manque de temps, une telle étude sociologique n'a pas pu être réalisée lors de la SNBC 2, il serait intéressant de réfléchir à ce type d'approche lors de l'élaboration de la SNBC 3.

Si la communication et l'information sont importantes, certains acteurs, en particulier de la société civile, insistent sur le fait que la majorité des citoyens a déjà conscience des enjeux climatiques (cf [3]) et est prête à faire des efforts si on leur en donne les moyens. Bien sûr, tous les citoyens ne sont pas prêts à changer leur mode de vie mais le manque de communication n'est qu'une partie du problème qui ne doit pas occulter les autres. La transition doit aussi être soutenue financièrement et l'Etat doit faire tout son possible pour la rendre acceptable par le plus grand nombre.

## **5.2 Comprendre les « réticents » : Acceptabilité et partage des efforts**

Le 3 juin 2019, le ministère de la transition écologique et solidaire François De Rugy annonce qu'il souhaite « passer du consensus sur l'analyse aux compromis sur les solutions ». Cette belle formulation, que le ministre d'état attribue à Emmanuel Macron, résume bien la problématique de la répartition des efforts dans la transition bas carbone. Si une grande majorité des français s'accordent sur la nécessité de lutter contre le changement climatique, comment fait-on pour rendre la transition acceptable pour la plus grande partie de la population ?

### **5.2.1 Une fiscalité carbone juste et transparente**

La crise dite des « gilets jaunes » est l'exemple même du problème de l'acceptabilité de la transition écologique. L'augmentation progressive de la composante carbone carbone, décidée sous Hollande et accélérée par Macron, combinée à la hausse des prix du carburant sur le marché, a été très mal vécue par une grande partie de la population, notamment les travailleurs loin de grands centres villes pour qui la voiture est le seul moyen de déplacement envisageable. Le mouvement des gilets jaunes qui s'est d'abord créé sur les réseaux sociaux en opposition à la hausse de la taxe carbone, a progressivement pris de l'ampleur et fait émerger d'autres revendications. D'abord présentée par leur détracteurs comme des opposants à la transition écologique, une grande partie des gilets

jaunes se sont revendiqués favorables à la transition écologique à condition qu'elle soit juste. En effet, cette composante carbone, sensée corrigée des externalités et permettre la transition vers une société bas carbone, a été perçue comme une taxe supplémentaire particulièrement injuste car elle servirait à remplir les caisses de l'État et compenser des baisses d'autres impôts notamment l'impopulaire suppression de l'impôt sur la fortune qui a profité aux 1% les plus riches. Si ce genre d'argumentaire simpliste ne reflète pas le fonctionnement réel du budget et de l'Etat, il a néanmoins eu beaucoup d'échos et a nourri un sentiment d'injustice compréhensible notamment pour des automobilistes qui ont été incités pendant plusieurs décennies à acheter des voitures diesel. Le rattrapage de la fiscalité diesel sur celle de l'essence a encore accentué le poids financier du carburant sur ces ménages qui ont fait part de leur incompréhension face à ces injonctions et incitations successives contradictoires. Des spécialistes en économie du changement climatique, comme Jean-Charles Hourcade (cf [25]), avaient cependant prévenu que la taxe carbone ne pouvait se résumer à un simple instrument de marché mais qu'elle devait être perçue comme juste, être transparente et surtout que des mécanismes de compensation et de redistribution devaient être mis en place en parallèle, en faveur de ceux sur qui ce surcoût pèse le plus. Il est intéressant de noter que la plupart des revendications des gilets jaunes correspondaient bien à ces conditions nécessaires. Le scénario ZEN confirme aussi cette analyse : le panel citoyen interrogé réagit à la recommandation 3 sur la fiscalité carbone en confirmant qu'il est d'accord avec le fait de « donner une place positive à la fiscalité carbone aux conditions expresses suivantes : une indispensable transparence sur la collecte, sur l'utilisation, sur la redistribution qui doit être intégralement consacrée à la cause ainsi qu'une fiscalité proportionnelle aux revenus. » Nicolas Hulot avait insisté pour que son ministère soit celui de la transition écologique et **solidaire**. Le ministre de l'époque avait compris bien avant cette crise que la solidarité était indispensable pour réaliser la transition écologique. Rétablir un sentiment de justice, grâce notamment à la transparence et la redistribution est donc une condition nécessaire pour faire accepter une taxe carbone, qui reste un outil très efficace pour atteindre la neutralité carbone. Les débats sur la taxation du kérosène, qui était une revendication des gilets jaunes, illustrent parfaitement ces enjeux de perception de justice dans la fiscalité carbone et dans la transition énergétique en général.

### 5.2.2 Part dans les émissions totales ou émissions par personne ?

Selon que l'on considère les émissions totales ou les émissions par personne on peut présenter 2 argumentations, qui s'appuient sur les mêmes statistiques vérifiées mais s'opposent et parviennent à des conclusions différentes. Par exemple, on peut dire que la France ne représente qu'une faible part des émissions de GES dans le monde. Il y a donc peu d'intérêt à se focaliser sur la France, l'Afrique et l'Asie sont quant à elles amenées à se développer et leurs populations à exploser. Il est donc plus urgent de focaliser nos efforts sur ces continents en développement qui n'ont pas encore construits toutes leurs infrastructures et lutter contre la surpopulation. Mais, en regardant les émissions par personne, on pourrait aussi rétorquer que les français ont toujours des empreintes carbone et écologique très élevées par personne, allant du triple au sextuple de l'empreinte d'un

africain. Il faut donc réduire l’empreinte individuelle moyenne des français, sans quoi nous ne pouvons pas être crédible et donner des leçons. Le même genre d’argumentation peut s’appliquer au transport aérien. Les défenseurs du transport aérien aiment rappeler que le transport aérien ne constitue qu’1% des émissions des GES français et que de 2% des émissions mondiales, réduire ces émissions ne résoudra donc pas le problème du changement climatique et le secteur aérien travaille beaucoup sur la hausse de l’efficacité de ce mode de transport pour réduire les émissions. Cependant, cette hausse d’efficacité ne compense pas l’augmentation du trafic aérien qui voit ces émissions en forte augmentation dans un contexte où il faudrait les réduire. Par contre, si l’on réalise un bilan carbone d’un européen ayant un mode de vie aisé et prenant plusieurs fois l’avion par an, le transport aérien représentera la majeure partie de ses émissions individuelles. A l’échelle du monde ou d’un pays, le secteur aérien ne représente que très peu d’émissions de GES alors qu’à l’échelle d’un utilisateur fréquent de ce mode de transport, l’avion peut représenter plus des 3 quarts de son bilan carbone. Ces deux vérités coexistent car une grande partie des populations française et mondiale ne prend pas l’avion. Moins d’un tiers des français a pris l’avion en 2018 et on estime que seulement 10% de la population mondiale prend l’avion chaque année. De plus, le secteur aérien bénéficie d’exonérations fiscales très intéressantes qu’il est difficile de remettre en cause car elles dépendent en partie de traités internationaux. Enfin, les utilisateurs de l’avion sont souvent issus de classe sociale très aisée. Ce secteur cristallise donc les enjeux de justice dans les efforts pour lutter contre le réchauffement climatique. Même si l’aviation ne représente que peu d’émissions au total, certaines personnes trouvent profondément injuste de devoir faire des efforts alors que d’autres peuvent profiter de l’avion en ayant un bilan carbone qui peut être plusieurs fois plus élevé que le leur.

### **5.2.3 Un dilemme du prisonnier ou du passager clandestin grandeur nature**

Stopper l’érosion de la biodiversité, ne plus être dépendant des ressources épuisables, limiter le réchauffement climatique à 1,5°C ou lutter contre toute forme de pollution profiterait à toute la population. Tout le monde a donc intérêt à ce que les efforts soient réalisés collectivement pour traiter ces problèmes environnementaux. Cependant, si personne ne fait d’effort autour de nous, il peut être très coûteux de changer ses habitudes. Diminuer sa consommation de viande, refuser d’utiliser certains transports polluants comme l’avion ou la voiture, ou encore refuser d’acheter des objets manufacturés dont la fabrication émet du CO<sub>2</sub> peut nuire au confort et constituer une privation coûteuse. L’effort d’un individu ne changera rien aux ordres de grandeur des problèmes climatiques. Vu le coût de ces efforts, on peut être tenté de conclure que ces derniers ne valent pas le coût, en particulier si les autres ne changent pas leurs habitudes. Ce problème est fréquent en théorie des jeux et a été popularisé sous le nom de dilemme du prisonnier. Deux suspects et complices sont arrêtés et interrogés séparément. On demande à chacun des deux suspects si son camarade est coupable. Les suspects peuvent alors coopérer et décider de couvrir leur partenaire ou alors le trahir et le dénoncer. Pour chacun des joueurs, il est plus intéressant de trahir si l’autre coopère, mais si les deux trahissent, les deux perdent tout. Si les deux joueurs coopèrent, il y a

plus d'argent, de bonheur ou d'utilité à partager. On appelle cet état l'optimum social. La théorie des jeux montre que malheureusement le seul équilibre (dit de Nash) de ce jeu est la situation où les deux joueurs se trahissent mutuellement et ce qui paraît absurde car ils auraient beaucoup plus gagné s'ils avaient collaboré. Pour pouvoir sortir de cette situation, la théorie des jeux proposent plusieurs solutions pour changer les règles, comme jouer le jeu de façon répétée pour instaurer de la confiance, permettre de générer un signal qui permet aux joueurs de prendre une décision (par exemple des feux tricolores) ou changer les préférences ou utilités des joueurs (par exemple raisonner en terme de bien être social et non de revenus en € ou encore créer des coûts sociaux et moraux incitant à ne pas réaliser certaines actions).

	Coopère	Trahit
Coopère	(+1;+1)	(-2;+2)
Trahit	(+2;-2)	(-1;-1)

Table 4: Exemple de dilemme du prisonnier : gain ou utilité des deux joueurs selon leurs choix.

Faire des efforts pour la changement climatique peut être appréhendé comme un dilemme du prisonnier grandeur nature. Pour être plus précis, comme il y a plus de deux joueurs, on parle plutôt du problème du passager clandestin. Ce problème est illustré dans les transports en commun, si une personne décide de frauder et de ne pas payer les transports en commun, cette personne aura un avantage et profitera du bon comportement des autres usagers. Mais, personne n'a intérêt à ce que tout le monde ne devienne passager clandestin sinon il n'y aurait plus d'argent pour financer les transports. Là aussi l'équilibre de Nash d'un tel jeu est le fait que tout le monde choisisse d'être un passager clandestin. Pourtant les transports en commun fonctionnent en pratique. Il est en effet possible de légèrement modifier ce jeu en créant un risque de payer une amende pour les passagers clandestins ainsi qu'un coût moral et social, (il est plutôt mal vu de frauder).

On peut donc voir les efforts dans la lutte contre le changement climatique comme des problèmes de théories des jeux grandeur nature. Ces jeux se font au niveau des pays. Un État n'a pas intérêt à effectuer sa transition si les autres ne le font pas. D'ailleurs la plupart des scénarios de neutralité carbone partent du principe que les autres pays font aussi des efforts. Tout l'enjeu des négociations et de la diplomatie climatique est de faire en sorte de trouver des compromis pour que tous les pays y trouvent un avantage. Mais ces jeux se font aussi au niveau des entreprises, une plus grande ambition climatique peut se faire au détriment de la rentabilité ou de la compétitivité. Les citoyens peuvent alors changer les règles du jeu à travers leurs choix de consommation. Enfin, ces dilemmes existent au niveau des citoyens eux-mêmes qui peuvent ne pas avoir intérêt à faire des efforts si cela leur fait perdre du confort. Pour pouvoir résoudre ce dilemme mieux vaut agir sur les règles du jeu que blâmer directement les joueurs. Changer les règles du jeu peut vouloir dire faire payer les externalités négatives grâce à des taxes et au contraire encourager les externalités positives grâce à des subventions mais aussi promouvoir moralement les actions allant dans le bon



sens. Il faut toutefois être prudent et veiller à ne pas être moralisateur, ce qui peut avoir l'effet inverse que celui désiré en créant un rejet par réactance.

#### 5.2.4 L'impossibilité de faire l'unanimité

Si on peut s'efforcer de rendre la transition la plus juste et équitable possible, atteindre un objectif aussi ambitieux que la neutralité carbone causera malgré tout quelques perdants qu'il faudra accompagner voir indemniser. L'exigence de transparence dans la manière de gérer la transition est donc indispensable pour que les citoyens et les entreprises soient préparés dès maintenant au changement. Les potentiels perdants comme les sociétés et les travailleurs des secteurs très dépendants aux énergies fossiles peuvent dès aujourd'hui penser à leur reconversion si la transition est transparente. Il faut donc encourager et accompagner cette reconversion en proposant des formations vers d'autres secteurs, existants, à développer ou encore à inventer, compatibles avec la neutralité carbone. Par exemple, on ne pourra pas à la fois contenter l'industrie et les ouvriers des centrales à charbon s'ils ne veulent se reconvertir sous aucun prétexte, et fermer les dernières centrales au charbon françaises avant 2022 . Dans un article de 2015, Mathy, Fink et Bibas [29] étudient la faisabilité et l'acceptabilité de l'objectif du facteur 4. Les chercheurs présentent alors 3 scénarios appelés « Baseline », « High acceptability » (acceptable par au moins 75% des parties prenantes) et « Moderate acceptability » (acceptable par au moins 50% des parties prenantes). Les scénarios « Baseline » et « High acceptability » ne permettent d'atteindre pas le facteur 4, contrairement au scénario « Moderate acceptability ». Cette étude se base sur le facteur 4 mais la neutralité carbone étant plus dure à atteindre, il est fortement probable qu'elle causera aussi des insatisfaits à court terme. Si l'acceptabilité n'est pas figée et peut évoluer au cours du temps avec la société, il est important de souligner que faire l'unanimité est impossible. L'urgence est telle qu'il faut accélérer la transition. Une première étape serait de commencer par ce qui est le plus consensuel, le moins coûteux et le plus efficace comme la rénovation des bâtiments. Un nombre croissant de citoyens, militants, moteurs de la transition ou simplement concernés par les problèmes environnementaux se désolent de voir que les actions ne sont pas à la hauteur des enjeux. Pourquoi la lutte contre l'effet de serre n'est-elle pas aussi rapide face à l'urgence climatique ?

### 5.3 Ne pas décevoir les « moteurs » : Être à la hauteur de l'enjeu

#### 5.3.1 « Petits pas » ou urgence climatique ?

Le 28 août 2018, le très populaire ministre de la transition écologique et solidaire Nicolas Hulot annonce sa démission en direct sur France Inter. Le ministre d'état explique notamment sa démission par le fait que le gouvernement ne va pas assez vite : « *Nous faisons des petits pas, et la France en fait beaucoup plus que d'autres pays, mais est-ce que les petits pas suffisent... la réponse, elle est non.* » Si même un ministre d'état, militant et fervent défenseur des causes environnementales, se sent impuissant alors même qu'il est au commandement de la transition écologique et solidaire, comment les citoyens pourraient avoir foi en la faisabilité de la transition. Le ministre expliquait



Figure 19: Nicolas Hulot, le 28 août 2018, face à Nicolas Demorand et Léa Salamé lorsqu'il annonce sa démission. Source : France Inter

cette incapacité à amorcer un réel changement de politique par sa solitude et son isolement sur les sujets environnementaux : *« Mais au quotidien, qui j'ai pour me défendre ? Est-ce que j'ai une société structurée qui descend dans la rue pour défendre la biodiversité ? [...] Est-ce que j'ai une union nationale sur un enjeu qui concerne l'avenir de l'humanité et de nos propres enfants ? »* Cette phrase a déclenché une série de marches pour le climat notamment les 8 septembre, 13 octobre, 8 décembre et 27 janvier qui ont rassemblées plusieurs milliers de personnes. Le discours de l'ancien ministre a visiblement inspiré ces mouvements citoyens car certains slogans reprenaient certaines parties de cet entretien presque mot pour mot dans leur slogan : *« Les petits pas, les petits pas... ça suffit pas »*.

Si ce mouvement citoyen et les résultats des récentes élections européennes ont montré que l'ancien ministre n'était pas aussi isolé qu'il le pensait dans ses convictions écologiques, et malgré une ambition française bien plus grande que celle de ses voisins, les efforts ne paraissent pas encore à la hauteur des enjeux. Pourquoi n'arrive-t-on pas à avancer rapidement sur la transition ? Comme on l'a vu dans la partie 2.2, les passages obligés sectoriels sont maintenant connus. Des recommandations claires et convergentes sont formulées par des organismes différents, que ce soit les 9 mesures du ShiftProject dans leur Manifeste pour décarboner l'Europe, les 12 recommandations du scénario ZEN 2050 d'EpE ou encore les passages obligés identifiés dans l'AMS, la SNBC et les scénarios de l'Ademe et négaWatt. Il est indispensable de sortir des débats sans fin sur des détails de long terme, pour agir dès maintenant. On peut par exemple se demander pourquoi cela fait maintenant plus d'une dizaine d'années que l'on ne parvient pas à atteindre les objectifs de rénovation thermique alors qu'une large majorité des politiques s'accordent sur la nécessité de ce chantier. Ce retard sur nos objectifs climatiques peut s'expliquer par d'autres priorités du

gouvernement par exemple en matière d'emploi et de compétitivité qui peuvent peser plus dans les arbitrages comme on l'a vu dans 4.2.3. Plus que des changements à la marge, la neutralité carbone exige un changement total de paradigme. Si, comme le disait l'ancien ministre, « *Ce sujet conditionne tous les autres.* », il faut donc redéfinir les priorités dans les politiques publiques pour être ambitieux sur le climat. Hulot avait bien précisé que l'« *on s'évertue à entretenir un modèle économique cause de tous ces désordres climatiques.* », les manifestants pour le climat ont d'ailleurs aussi repris cette idée en criant « Changeons le système, pas le climat ! » Le gouvernement élu est-il alors prêt à effectuer ce changement radical ?

### 5.3.2 Un gouvernement au positionnement ambigu



Figure 20: Des militants écologistes bloquent la tour Séquoia. Source : Greenpeace ©Jean Nicholas GUILLO

Le vendredi 19 avril à la Défense, 2000 activistes organisent avec Les Amis de la Terre, Greenpeace et ANV-COP21 un blocage de plusieurs locaux de ce qu'ils nomment « la République des pollueurs ». Non seulement le géant de l'industrie pétrolière Total et la banque d'affaire Société générale sont bloqués mais aussi, de façon plus surprenante, la tour Séquoia qui abrite les locaux de la quasi totalité des directions générales (dont la DGEC) du MTES. Plusieurs fonctionnaires sur place ont fait part de leur incompréhension face à cette action de désobéissance civile non violente. Certains employés et cadres de ministère ont essayé de convaincre les manifestants que leur action était en fait contre-productive car elle les empêchait de travailler sur la transition écologique que

les activistes soutiennent. Le ministre François De Rugy s’est plus tard joint à eux en écrivant sur twitter : « *Aux quelques militants radicaux qui ciblent le Président et le @gouvernementFR : vous vous trompez d’ennemis !* » Les activistes dénoncent en retour une hypocrisie voire une schizophrénie de l’Etat sur les questions économiques. Les ONG accusent le gouvernement de jouer un double-jeu, en étant à la fois ambitieux sur les objectifs à long terme et dans sa posture internationale, sans donner les moyens à la transition écologique à l’intérieur de la France, (seul 20% de la taxe carbone est reversée à la transition écologique) voire en favorisant des populations aisées avec une forte empreinte carbone (comme en supprimant l’impôt sur la fortune ou en conservant les avantages fiscaux du secteur aérien). Les faits ne sont bien sûr pas aussi simples dans la réalité. L’État et le MTES, dans leurs ensembles, ne sont ni complètement des ennemis ni complètement des alliés pour la transition écologique. Tout comme les grosses entreprises, l’Etat possède en fait de nombreuses sous-structures et organismes au statut plus ou moins indépendants et avec des intérêts différents. Ces structures discutent entre elles et confrontent leurs points de vue par exemple lors de l’élaboration du budget ou pour gagner des arbitrages dans l’écriture de lois. Ce qui joue alors, en pratique, dans l’élaboration des politiques, c’est les rapports de force et d’influence entre ces structures. Ces rapports de force sont d’ailleurs en train d’être redéfinis avec la création de nouvelles instances comme la convention citoyenne sur l’écologie, le conseil de défense écologique ou encore le HCC dont le premier rapport annuel [6] est très critique vis à vis de l’action du gouvernement. Les militants qui organisent le blocage mettent donc la pression sur le gouvernement et les politiques, et donnent alors des arguments aux structures internes qui favorisent les mesures en faveur de la lutte contre l’effet de serre.

### 5.3.3 Mobiliser l’énergie des « moteurs »

En plus de la démission d’Hulot, des marches pour le climat, du blocage de la « la République des pollueurs » ou de la pétition « l’affaire du siècle », une action des étudiants des grandes écoles françaises a fait beaucoup réagir les grands groupes industriels. Le « manifeste étudiant pour un réveil écologique » [36], a été écrit par des élèves d’écoles prestigieuses comme HEC Paris, AgroParisTech, CentraleSupélec, l’Ecole Polytechnique ou l’ENS Ulm, et signé à ce jour par 30 000 étudiants de dizaines d’établissements différents. Les signataires de ce manifeste laissent entendre qu’ils refuseront de travailler dans des entreprises qui ne prennent pas assez en compte les enjeux environnementaux : « *à quoi cela rime-t-il de se déplacer à vélo, quand on travaille par ailleurs pour une entreprise dont l’activité contribue à l’accélération du changement climatique ou de l’épuisement des ressources ? Au fur et à mesure que nous nous approchons de notre premier emploi, nous nous apercevons que le système dont nous faisons partie nous oriente vers des postes souvent incompatibles avec le fruit de nos réflexions et nous enferme dans des contradictions quotidiennes.* » Beaucoup de grandes entreprises commencent alors à se questionner sur leurs capacités futures à recruter des nouveaux diplômés. Ce manifeste, ainsi que le part des votes pour des programmes écologistes dans les bulletins des jeunes de moins de 30 ans aux dernières élections, montrent la sensibilité environnementale d’une bonne partie de la nouvelle génération ainsi qu’une

affirmation d'une volonté et d'une envie d'effectuer cette transition tant dans le choix de leurs carrières que de leurs modes de vie. Le problème pour effectuer la transition n'est donc pas tant le nombre d'étudiants diplômés, ayant des formations solides, et motivés comme voudraient nous le faire croire certains représentants d'entreprises. Au contraire, on a vu que beaucoup d'étudiants recherchent des métiers compatibles avec la transition écologique. C'est plutôt l'offre d'emploi compatibles avec l'écologie dans les grandes entreprises. Beaucoup de jeunes diplômés regrettent de ne pas pouvoir trouver assez de postes qui vont dans le sens des enjeux environnementaux. « *Nous sommes déterminés, mais ne pouvons pas agir seuls. [...] Nous souhaitons, par notre mobilisation, inciter tous les acteurs de la société – les pouvoirs publics, les entreprises, les particuliers et les associations – à jouer leur rôle dans cette grande transformation et à mener les changements nécessaires vers une société enfin soutenable.* » Cette détermination est une chance pour la transition écologique, les employeurs, État, entreprises et collectivités, doivent alors la saisir et créer les conditions pour que ces jeunes talents puissent contribuer à ce projet de société souhaitable et ambitieux.

## Conclusion

L'exercice d'élaboration de la SNBC nous apprend que la modélisation prospective peut être très utile pour éclairer les décisions publiques en particulier pour se fixer des objectifs à long terme. Si les modèles et les avis d'experts sont indispensables car ils répondent à des exigences de crédibilité et de rigueur scientifique, on ne peut cependant pas se passer de débats et de discussions avec les parties prenantes concernées, notamment pour des raisons d'acceptabilité et de solidarité dans la transition. Une stratégie nationale et un scénario peuvent être pris en compte et orienter l'élaboration de politiques publiques. Ils peuvent permettre de se mettre en conformité à l'international tout en participant au rayonnement de la France. De tels documents officiels nationaux clarifient également la stratégie de la France dans une optique de transparence pour que les acteurs de la société, citoyens, entreprises et pouvoirs publics, puissent orienter leurs choix en connaissance de cause. Mais un exercice prospectif ne pourra jamais remplacer ni imposer les délibérations et les votes de lois ou les revendications des citoyens dans une démocratie. Se pose alors la question du passage à l'acte pour transformer ces scénarios en réalités. L'articulation de stratégies nationales comme la SNBC ne peut pas être contraignante et repose sur un lien de prise de compte. Pourtant, la coexistence de différents scénarios sur le même sujet rend certaines conclusions plus robustes et décrit alors des passages obligés pour atteindre des objectifs ambitieux. Il s'agit alors d'orienter les politiques publiques vers les nouveaux objectifs par exemple grâce à une volonté politique plus claire.

## ORG-DGEC-EXT





# B Organigramme du MTES

## François de RUGY Ministre d'État Ministre de la Transition écologique et solidaire

Élisabeth BORNE

Ministre auprès du ministre d'État, ministre de la Transition écologique et solidaire, chargée des Transports

Conseil général de l'environnement  
et du développement durable (CGEDD)

Anne-Marie LEVRAUT

Inspection générale des affaires maritimes (IGAM)

Pierre-Yves ANDRIEU

Brune POIRSON

Secrétaire d'État auprès du ministre d'État,  
ministre de la Transition écologique et solidaire

Emmanuelle WARGON

Secrétaire d'État auprès du ministre d'État,  
ministre de la Transition écologique et solidaire

### Administration centrale

**Secrétariat général (SG)  
Haut fonctionnaire  
de défense et de sécurité  
Régime ENGSTRÖM**

- Direction des affaires européennes et internationales
- Direction des affaires juridiques
- Direction de la communication
- Direction des ressources humaines
- Direction des affaires financières
- Service de pilotage et de l'évolution des services
- Service des politiques supports et des systèmes d'information
- Service de défense, de sécurité et d'intelligence économique
- Délégation ministérielle à l'accessibilité
- Délégation aux cadres dirigeants

**Commissariat général  
au développement  
durable (CGDD)  
Thomas LESUEUR**

- Délégation au développement durable
- Service de la donnée et des études statistiques
- Direction de la recherche et de l'innovation
- Service de l'économie, de l'évaluation et de l'intégration du développement durable
- Sous-direction des affaires générales

**Direction générale  
de l'énergie  
et du climat (DGEC)  
Laurent MICHEL**

- Direction de l'énergie
- Service climat et efficacité énergétique

**Direction générale des  
infrastructures, des transports  
et de la mer (DGITM)  
Marc PAPINUTTI**

- Direction des infrastructures de transport
- Direction des services de transport
- Direction des affaires maritimes
- Délégation à la mer et au littoral (DML)
- Service de l'administration générale et de la stratégie

**Direction générale  
de l'aviation civile (DGAC)  
Patrick GANDIL**

- Direction du transport aérien
- Secrétariat général
- Direction des services de la navigation aérienne
- Direction de la sécurité de l'aviation civile

**Direction générale de  
l'aménagement, du logement  
et de la nature (DGLN)  
Paul DELDUC**

- Direction de l'habitat, de l'urbanisme et des paysages
- Direction de l'eau et de la biodiversité
- Service des affaires générales et de la performance

**Direction générale  
de la prévention  
des risques (DGP)  
Cédric BOURILLET**

- Service des risques technologiques
- Service des risques sanitaires liés à l'environnement, des déchets et des pollutions diffuses
- Service des risques naturels et hydrauliques

Haut-commissaire à l'économie sociale et à l'innovation sociale  
**Christophe TIER**

Délégué interministériel au développement durable  
**Thomas LESUEUR**

Délégué interministériel à l'avenir du territoire de Fessenheim et des territoires d'implantation des centrales de production d'électricité à partir de charbon  
**David COSTE**

Délégué interministériel à la forêt et au bois  
**Sylvie ALEXANDRE**

## Services territoriaux

### Niveau régional, interrégional ou interdépartemental

**Directions régionales de l'environnement, de l'aménagement et du logement (DREAL)**

- en Ile-de-France
- Direction régionale et interdépartementale de l'équipement et de l'aménagement (DRIEA)
- Direction régionale et interdépartementale de l'habitat et du logement (DRIHL)
- Direction régionale et interdépartementale de l'environnement et de l'énergie (DRIEE)

**Directions interdépartementales des routes (DIR)**

**Directions interrégionales de la mer (DIRM) pour la métropole**

**Directions interrégionales de la sécurité de l'aviation civile (DSAC IR)**

### Niveau départemental\* interministériel

**Interministériel**

- Directions départementales des territoires (DDT)\*\* ou directions départementales des territoires et de la mer (DDTM)\*\*

Pour certaines missions :

- Directions départementales de la cohésion sociale (DDCS)\*\*
- Directions départementales de la protection des populations (DDPP)\*\*
- Directions départementales de la cohésion sociale et de la protection des populations (DDCSP)\*\*

\*normés à Paris et dans les départements de la petite couronne d'Ile-de-France où les directions régionales et inter-départementales sont complètes

\*\*direction départementale interministérielle sous la responsabilité du préfet qui met en œuvre les politiques du ministère

### En outre-mer

**Directions de l'environnement, de l'aménagement et du logement (DEAL)** Guadeloupe - Guyane - Martinique - Mayotte - La Réunion

**Directions de la mer (DM)** Guadeloupe - Guyane - Martinique - Sud océan indien

**Direction des territoires, de l'alimentation et de la mer (DTAM)** Saint-Pierre et Miquelon



16 mai 2019



# C Objectifs de la LTECV



## Chemin :

### Code de l'énergie

- ▶ Partie législative
- ▶ LIVRE IER : L'ORGANISATION GENERALE DU SECTEUR DE L'ENERGIE
- ▶ TITRE PRELIMINAIRE : LES OBJECTIFS DE LA POLITIQUE ENERGETIQUE

### Article L100-4

- ▶ Modifié par LOI n°2015-992 du 17 août 2015 - art. 1 (V)

#### I. - La politique énergétique nationale a pour objectifs :

1° De réduire les émissions de gaz à effet de serre de 40 % entre 1990 et 2030 et de diviser par quatre les émissions de gaz à effet de serre entre 1990 et 2050. La trajectoire est précisée dans les budgets carbone mentionnés à l'article L. 222-1 A du code de l'environnement ;

2° De réduire la consommation énergétique finale de 50 % en 2050 par rapport à la référence 2012, en visant un objectif intermédiaire de 20 % en 2030. Cette dynamique soutient le développement d'une économie efficace en énergie, notamment dans les secteurs du bâtiment, des transports et de l'économie circulaire, et préserve la compétitivité et le développement du secteur industriel ;

3° De réduire la consommation énergétique primaire des énergies fossiles de 30 % en 2030 par rapport à l'année de référence 2012, en modulant cet objectif par énergie fossile en fonction du facteur d'émissions de gaz à effet de serre de chacune ;

4° De porter la part des énergies renouvelables à 23 % de la consommation finale brute d'énergie en 2020 et à 32 % de cette consommation en 2030 ; à cette date, pour parvenir à cet objectif, les énergies renouvelables doivent représenter 40 % de la production d'électricité, 38 % de la consommation finale de chaleur, 15 % de la consommation finale de carburant et 10 % de la consommation de gaz ;

5° De réduire la part du nucléaire dans la production d'électricité à 50 % à l'horizon 2025 ;

6° De contribuer à l'atteinte des objectifs de réduction de la pollution atmosphérique prévus par le plan national de réduction des émissions de polluants atmosphériques défini à l'article L. 222-9 du code de l'environnement ;

7° De disposer d'un parc immobilier dont l'ensemble des bâtiments sont rénovés en fonction des normes " bâtiment basse consommation " ou assimilées, à l'horizon 2050, en menant une politique de rénovation thermique des logements concernant majoritairement les ménages aux revenus modestes ;

8° De parvenir à l'autonomie énergétique dans les départements d'outre-mer à l'horizon 2030, avec, comme objectif intermédiaire, 50 % d'énergies renouvelables à l'horizon 2020 ;

9° De multiplier par cinq la quantité de chaleur et de froid renouvelables et de récupération livrée par les réseaux de chaleur et de froid à l'horizon 2030.

II. - L'atteinte des objectifs définis au I du présent article fait l'objet d'un rapport au Parlement déposé dans les six mois précédant l'échéance d'une période de la programmation pluriannuelle de l'énergie mentionnée à l'article L. 141-3. Le rapport et l'évaluation des politiques publiques engagées en application du présent titre peuvent conduire à la révision des objectifs de long terme définis au I du présent article.

## Liens relatifs à cet article

### Cite:

Code de l'environnement - art. L222-1 A (V)  
Code de l'environnement - art. L222-9 (V)  
Code de l'énergie - art. L141-3 (V)

### Cité par:

DÉCISION du - art., v. init.  
DÉCISION n°2015-718 DC du 13 août 2015 - art., v. init.  
LOI n° 2015-992 du 17 août 2015 - art. 119 (V)  
LOI n°2015-992 du 17 août 2015 - art. 1, v. init.

## D Objectifs du projet de la future LEC

### CHAPITRE I<sup>ER</sup>

#### Objectifs de la politique énergétique

##### Article 1<sup>er</sup>

- ① Le I de l'article L. 100-4 du code de l'énergie est ainsi modifié :
- ② 1° Au 1°, les mots : « de diviser par quatre les émissions de gaz à effet de serre entre 1990 et 2050 » sont remplacés par les mots : « d'atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2050 en divisant les émissions de gaz à effet de serre par un facteur supérieur à six entre 1990 et 2050 » ;
- ③ 2° Au 3°, les mots : « réduire la consommation énergétique primaire des énergies fossiles de 30 % en 2030 » sont remplacés par les mots : « réduire la consommation énergétique primaire des énergies fossiles de 40 % en 2030 » ;
- ④ 3° Au 5°, les mots : « réduire la part du nucléaire dans la production d'électricité à 50 % à l'horizon 2025 » sont remplacés par les mots : « réduire la part du nucléaire dans la production d'électricité à 50 % à l'horizon 2035 ».

# Table des matières détaillée

<b>Introduction</b>	<b>6</b>
<b>1 Pourquoi créer des scénarios prospectifs ?</b>	<b>7</b>
1.1 Qu'est-ce qu'un scénario et pour quelles utilités ?	7
1.1.1 Définition et vocabulaire de la prospective	7
1.1.2 Trois manières d'appréhender les scénarios	8
1.1.3 Comment appréhender le scénario AMS et la SNBC ?	8
1.2 Pourquoi modéliser ?	8
1.2.1 La difficulté d'estimer des valeurs chiffrées	9
1.2.2 Les inconvénients de la modélisation et comment y remédier	10
1.2.3 La modélisation pour apporter de la rigueur scientifique	10
1.2.4 Évaluer le succès des scénarios pour améliorer l'efficacité et l'utilité des scénarios	11
1.3 Pourquoi autant de scénarios et modèles ?	11
1.3.1 L'exemple de la comparaison entre les scénarios AMS, Ademe, négaWatt et ZEN 2050	11
1.3.2 Les types de modèles et leurs hypothèses influent fortement sur les résultats	13
1.3.3 Les consensus entre différents scénarios gagnent en crédibilité	13
<b>2 Un exemple : comment atteindre la neutralité carbone ?</b>	<b>14</b>
2.1 Qu'est-ce que la neutralité carbone et comment mesurer les objectifs ?	14
2.1.1 Définition de la neutralité carbone	14
2.1.2 Emissions territoriales ou émissions importées et empreinte carbone ?	15
2.1.3 Neutralité carbone ou neutralité gaz à effet de serre	15
2.1.4 Neutralité carbone ou Facteur 4 ?	16
2.1.5 Energies primaire et finale	17
2.1.6 Les potentiels de réchauffement global	18
2.1.7 La comptabilité par secteurs	18
2.2 Des passages obligés sectoriels	19
2.2.1 4 grands leviers	19
2.2.2 Population	20
2.2.3 Bâtiment : résidentiel et tertiaire	20
2.2.4 Transports	21
2.2.5 Industrie	22
2.2.6 Agriculture	22
2.3 Biomasse, électricité, puits, efficacité et sobriété : leviers ou hypothèses discutables ?	23
2.3.1 L'électricité	23
2.3.2 La biomasse	24

2.3.3	La chaleur . . . . .	25
2.3.4	Levier ou hypothèse discutable ? . . . . .	25
2.3.5	Efficacité ou sobriété ? . . . . .	27
<b>3</b>	<b>Comment organiser le processus de modélisation ?</b>	<b>28</b>
3.1	Organiser la discussion avec les parties prenantes . . . . .	28
3.1.1	Le processus d'élaboration de la SNBC . . . . .	28
3.1.2	Comprendre les intérêts et les stratégies des parties prenantes . . . . .	29
3.1.3	Exemple de discussion sur des détails a priori techniques mais qui se révèlent stratégiques . . . . .	30
3.1.4	A quel point la SNBC est-elle prescriptive ? . . . . .	30
3.2	Mobiliser les experts et les modèles . . . . .	31
3.2.1	Des modèles sectoriels . . . . .	33
3.2.2	Des modèles agrégateurs . . . . .	33
3.2.3	Le calage avec les données réelles . . . . .	34
3.2.4	Une modélisation qui prend du temps : La difficulté de changer rapidement des hypothèses structurantes . . . . .	35
3.3	Valoriser les données et conserver les acquis . . . . .	36
3.3.1	Le problème de la diffusion des données . . . . .	36
3.3.2	Standardiser les formats et officialiser les règles de comptabilité . . . . .	36
3.3.3	Des initiatives à suivre ou poursuivre . . . . .	37
3.3.4	Développer son propre modèle ou s'appuyer sur des modèles existants ? . . . .	38
<b>4</b>	<b>Comment concrétiser des scénarios et stratégies en politiques publiques ?</b>	<b>39</b>
4.1	Raconter un récit pour se mettre en conformité et rayonner au niveau international	39
4.1.1	A l'échelle des Nations unies : COP et NDCs . . . . .	40
4.1.2	A l'échelle européenne : le marché ETS et le système ESR . . . . .	41
4.1.3	La SNBC pour faire rayonner la France à l'internationale . . . . .	42
4.2	Des lois et des politiques devant « prendre en compte » la SNBC . . . . .	43
4.2.1	Les valeurs juridiques de la SNBC et de ses objectifs . . . . .	43
4.2.2	L'articulation de la SNBC avec les autres acteurs et programmes . . . . .	43
4.2.3	Les arbitrages . . . . .	44
4.2.4	La SNBC et les budgets carbone mettent le futur État en face de ses responsabilités . . . . .	45
4.3	Décliner au niveau territorial . . . . .	46
4.3.1	Respecter les spécificités régionales . . . . .	46
4.3.2	Quels sont les plans et programmes au niveau territorial et comment les articuler avec le niveau national ? . . . . .	46
4.3.3	S'adapter aux différents calendriers . . . . .	48
4.3.4	Communiquer les objectifs de la SNBC dans les territoires . . . . .	48

4.3.5	La neutralité carbone et la territorialisation : un changement de paradigme dans les modes de gouvernance . . . . .	49
<b>5</b>	<b>Comment intégrer les citoyens et leurs revendications dans le processus ?</b>	<b>50</b>
5.1	Convaincre les « variables » : Nécessité de vulgariser et de donner une vision . . . .	50
5.1.1	Education et cours . . . . .	50
5.1.2	Jouer avec des modèles simplifiés et interactifs . . . . .	51
5.1.3	Blogs, vidéos et vulgarisation sur internet . . . . .	52
5.1.4	Études sociologiques, portraits d’habitants et histoires à raconter . . . . .	52
5.2	Comprendre les « réticents » : Acceptabilité et partage des efforts . . . . .	53
5.2.1	Une fiscalité carbone juste et transparente . . . . .	53
5.2.2	Part dans les émissions totales ou émissions par personne ? . . . . .	54
5.2.3	Un dilemme du prisonnier ou du passager clandestin grandeur nature . . . .	55
5.2.4	L’impossibilité de faire l’unanimité . . . . .	57
5.3	Ne pas décevoir les « moteurs » : Être à la hauteur de l’enjeu . . . . .	57
5.3.1	« Petits pas » ou urgence climatique ? . . . . .	57
5.3.2	Un gouvernement au positionnement ambigu . . . . .	59
5.3.3	Mobiliser l’énergie des « moteurs » . . . . .	60
	<b>Conclusion</b>	<b>62</b>
	<b>A Organigramme de la DGEC</b>	<b>63</b>
	<b>B Organigramme du MTES</b>	<b>64</b>
	<b>C Objectifs de la LTECV</b>	<b>65</b>
	<b>D Objectifs du projet de la future LEC</b>	<b>66</b>
	<b>Table des matières détaillée</b>	<b>67</b>
	<b>Table des sigles et abbréviations</b>	<b>70</b>
	<b>Références</b>	<b>73</b>

## Table des sigles et abbréviations

**ACV** Analyse du cycle de vie. 15

**Ademe** Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie. 11, 31, 32, 36, 48, 58

**AIE** Agence internationale de l'énergie. 34

**AMS** Avec mesures supplémentaires. 6, 8, 11, 12, 21, 25, 31, 34, 48, 58

**Anah** Agence nationale de l'habitat. 36

**BEPM** Bureau des émissions, des projections et des modélisations. 6

**bioGNV** Biogaz naturel pour véhicules. 24, 25

**CCNUCC** Convention cadre des nations unies sur le changement climatique. 18, 30, 40

**Cerema** Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement. 36

**CEREN** Centre d'études et de recherches économiques sur l'énergie. 36

**CETE** Centre d'études techniques de l'équipement. 70, *Glossary*: Centre d'études techniques de l'équipement

**CGDD** Commissariat général au développement durable. 32, 34, 36, 51

**CH<sub>4</sub>** Méthane. 15, 18, 24, 30

**CIO** Comité d'information et d'orientation. 28, 29

**CIRED** Centre international de recherche sur l'environnement et le développement. 32

**CITEPA** Centre interprofessionnel technique d'études sur la pollution atmosphérique. 9, 34, 36

**CNC** Centre national du cinéma et de l'image animée. 52

**CO<sub>2</sub>** Dioxyde de carbone. 9, 15, 17–19, 30, 41, 55, 71

**COP** Conference of parties, Conférence des Parties. 40, 45

**CSC** Capture et stockage du carbone. 14, 16

**DE** Direction de l'énergie. 43

**DEB** Direction de l'eau et de la biodiversité. 44

**DECC** Department of energy and climate change. 51

**DGEC** Direction générale de l'énergie et du climat. 6, 8, 11, 20, 21, 28, 29, 31–34, 36, 37, 43, 44, 48, 49, 51, 59

**DGITM** Direction générale des infrastructures, des transports et de la mer. 32, 43

**DHUP** Direction de l'habitat de l'urbanisme et des paysages. 43

**DLCES** Département de la lutte contre l'effet de serre. 6, 37, 42, 43

**DREAL** Direction régional de l'aménagement, du logement et de la nature. 48

**EnR** Énergie renouvelable. 8, 12, 19, 23, 25

**EpE** Entreprise pour l'environnement. 11, 14, 58

**EPR** Réacteur européen à eau pressurisée. 23

**ESR** Effort Sharing Regulation. 41, 42, 71, *Glossary*: Effort Sharing Regulation

**ETS** European trade system. 41, 42, 71, *Glossary*: European trade system

**GES** Gaz à effet de serre. 6, 9, 13–16, 18–20, 22–24, 27, 29, 30, 34, 39–44, 46, 47, 51, 52, 55

**GIEC** Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. 9, 50

**GM** Groupes de Modélisation. 28

**GRV** Gaz renouvelable pour véhicules. 12, 24

**GT** Groupes de Travail (thématique). 28, 29

**GtCO<sub>2</sub>eq** Gigatonnes (milliards de tonnes) de CO<sub>2</sub> équivalent. 9

**HCC** Haut Conseil pour le Climat. 44, 46, 60

**HFC** Hydrofluorocarbure. 15, 18

**IAM** Integrated assessment models ou modèles d'évaluation intégrés. 10

**IDH** Indice de développement humain. 27

**INSEE** Institut national de la statistique et des études économiques. 20, 36

**LEC** Loi énergie climat. 14, 17, 43, 45

**LOM** Loi orientation et mobilités. 43

**LTECV** Loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte. 8, 14, 17, 43, 45, 46

**MAA** Ministère de l’agriculture et de l’alimentation. 32, 44

**MtCO<sub>2</sub>eq** Mégatonne (millions de tonnes) de dioxyde de carbone équivalent. 12, 16

**MTES** Ministère de la transition écologique et solidaire. 6, 29, 37, 43, 59, 60

**MWh** MégaWatt-heure (millions de Watt-heure). 17

**N<sub>2</sub>O** Protoxyde d’azote. 15, 18, 22

**NDC** Nationally determined contribution. 40, 42

**OCE** Office for climate education. 50

**ONG** Organisations non gouvernementales. 15, 16, 29, 46, 60

**ONU** Organisation des nations unies. 42

**PAC** Pompe à chaleur. 21

**PCAET** Plan climat-air-energie territorial. 47, 48

**PLU** Plans locaux d’urbanisme. 47

**PRG** Potentiel de réchauffement global. 18, 30, 37

**RAC** Réseau Action Climat. 29

**RCP** Representative Concentration Pathways. 72, *Glossary*: Representative Concentration Pathways

**SNBC** Stratégie nationale bas carbone. 6, 8, 11, 19, 28–31, 36, 39, 42, 43, 45–49, 53, 58, 62

**SNBC 2** Deuxième stratégie nationale bas carbone. 6, 8, 42, 44, 48, 53

**SRADDET** Schéma régional d’aménagement de développement durable et d’égalité des territoires. 47, 48

**tCO<sub>2</sub>eq** Tonne de dioxyde de carbone équivalent. 18, 37

**UE** Union européenne. 40–42

**UTCAF** Utilisation des terres, changement d’affectation et foresterie. 24

**ZEN** Zéro émission nette. 11, 14, 30, 50, 52, 53, 58



## Rapports officiels et synthèses de scénarios

- [1] Ademe. Plan climat-air-énergie territorial comprendre, construire et mettre en oeuvre. <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/guide-pcaet-comprendre-construire-et-mettre-en-oeuvre.pdf>.
- [2] Ademe. Actualisation du scénario énergie-climat, ademe 2035-2050. [https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/ademe\\_visions2035-50\\_010305.pdf](https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/ademe_visions2035-50_010305.pdf), 2017.
- [3] Ademe. Représentation sociale de l'effet de serre et du réchauffement climatique. <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/representations-sociale-effet-serre-2017-rapport.pdf>, 2017.
- [4] Convention cadre des nations unies sur les changements climatiques. Aggregate effect of the intended nationally determined contributions: an update. <https://unfccc.int/resource/docs/2016/cop22/eng/02.pdf>.
- [5] Convention cadre des nations unies sur les changements climatiques. Accords de paris. <https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/fr/l09r01f.pdf>, 2015.
- [6] Haut conseil pour le climat. Agir en cohérence avec les ambitions. Rapport annuel neutralité carbone. Juin 2019. [https://www.hautconseilclimat.fr/wp-content/uploads/2019/06/hcc\\_rapport\\_annuel\\_2019.pdf](https://www.hautconseilclimat.fr/wp-content/uploads/2019/06/hcc_rapport_annuel_2019.pdf).
- [7] Mairie de Paris. Paris change d'ère. vers la neutralité carbone en 2050. [http://paris2050.elioth.com/pdf/170306-ParisNeutreCarbone-RapportComplet\\_LD.pdf](http://paris2050.elioth.com/pdf/170306-ParisNeutreCarbone-RapportComplet_LD.pdf).
- [8] Autorité environnementale. Avis délibéré de l'autorité environnementale sur la deuxième stratégie nationale bas carbone. [http://www.cgedd.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/190306\\_strategie\\_nationale\\_bas\\_carbone\\_-\\_delibere\\_cle0658b3.pdf](http://www.cgedd.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/190306_strategie_nationale_bas_carbone_-_delibere_cle0658b3.pdf), 2019.
- [9] Parlement européen. Règlement (ue) 2018/842 du parlement européen et du conseil du 30 mai 2018 relatif aux réductions annuelles contraignantes des émissions de gaz à effet de serre par les États membres de 2021 à 2030. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018R0842&from=EN>.
- [10] Commission européenne. Eu emissions trading system (eu ets). [https://ec.europa.eu/clima/policies/ets\\_en#tab-0-1](https://ec.europa.eu/clima/policies/ets_en#tab-0-1).
- [11] Union européenne. Intended nationally determined contribution of the eu and its member states. <https://www4.unfccc.int/sites/ndcstaging/PublishedDocuments/EuropeanUnionFirst/LV-03-06-EUINDC.pdf>.
- [12] Center for european economics research. Co2 barometer 2016 – carbon edition. how the eu ets can contribute to meeting the ambitious targets of the paris agreement.

- [13] Taryn Fransen, Eliza Northrop, Kathleen Mogelgaard, and Kelly Levin. Enhancing ndcs by 2020: Achieving the goals of the paris agreement. Technical report, Working Paper, Washington, DC, World Resources Institute., 2017.
- [14] GIEC. Changements climatiques 2014: Rapport de synthèse. contribution des groupes de travail i, ii et iii au cinquième rapport d'évaluation du groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [sous la direction de l'équipe de rédaction principale, r.k. pachauri et l.a. meyer]. giec, genève, suisse, 161 p.
- [15] Direction générale de l'énergie et du climat. Projet de stratégie nationale bas carbone, la transition écologique et solidaire vers la neutralité carbone. <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/Projetstrategienationalebascarbone.pdf>.
- [16] Direction générale de l'énergie et du climat. Synthèse du scénario de référence de la stratégie française pour l'énergie et le climat. <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/Synthèseprovisoiredeshypothèsesetrésultatspourlesexercices2018-2019.pdf>, 2019.
- [17] INSEE. Projections de population à l'horizon 2070. <https://www.insee.fr/fr/statistiques/2496228>, 2016.
- [18] Groupe intergouvernemental d'expert sur le climat. Special report on global warming of 1.5°C. <https://www.ipcc.ch/sr15/>.
- [19] Agence internationale de l'énergie. Manuel sur les statistiques de l'énergie. [https://www.iea.org/stats/docs/statistics\\_manual\\_french.pdf](https://www.iea.org/stats/docs/statistics_manual_french.pdf).
- [20] Ipsos Mori. My2050 simulation analysis. <https://sciencewise.org.uk/wp-content/uploads/2019/05/My2050-Simulation-report.pdf>.
- [21] Association négaWatt. Scénario négawatt 2017-2050, dossier de synthèse. [https://negawatt.org/IMG/pdf/synthese\\_scenario-negawatt\\_2017-2050.pdf](https://negawatt.org/IMG/pdf/synthese_scenario-negawatt_2017-2050.pdf), 2017.
- [22] Entreprises pour l'environnement. Zen 2050 - imaginer et construire une france neutre en carbone. <http://www.epe-asso.org/zen-2050-imaginer-et-construire-une-france-neutre-en-carbone-mai-2019/>, 2019.
- [23] The White House Washington D.C. United states mid-century strategy for deep decarbonization. [https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/docs/mid\\_century\\_strategy\\_report-final.pdf](https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/docs/mid_century_strategy_report-final.pdf), 2016.

## Articles universitaires

- [24] Commissariat général au développement durable. Accord de paris, périmètre et ambition des contributions nationales.
- [25] Jean-Charles Hourcade. La taxe carbone, post-mortem. *Revue Projet*, (5):23–31, 2012.
- [26] Mike Hulme and Suraje Dessai. Negotiating future climates for public policy: a critical assessment of the development of climate scenarios for the uk. *environmental science & policy*, 11(1):54–70, 2008.
- [27] Mike Hulme and Suraje Dessai. Predicting, deciding, learning: can one evaluate the ‘success’ of national climate scenarios? *Environmental Research Letters*, 3(4):045013, 2008.
- [28] Gokul Iyer, Catherine Ledna, Leon Clarke, James Edmonds, Haewon McJeon, Page Kyle, and James H Williams. Measuring progress from nationally determined contributions to mid-century strategies. *Nature Climate Change*, 7(12):871, 2017.
- [29] Sandrine Mathy, Meike Fink, and Ruben Bibas. Rethinking the role of scenarios: Participatory scripting of low-carbon scenarios for france. *Energy Policy*, 77:176–190, 2015.
- [30] Matthieu Porte. La stratégie nationale bas carbone. une régulation des émissions de gaz à effet de serre. 2018.
- [31] Evelina Trutnevyte, Michael Stauffacher, and Roland W Scholz. Supporting energy initiatives in small communities by linking visions with energy scenarios and multi-criteria assessment. *Energy Policy*, 39(12):7884–7895, 2011.
- [32] Henri Waisman, Chris Bataille, Harald Winkler, Frank Jotzo, Priyadarshi Shukla, Michel Colombier, Daniel Buira, Patrick Criqui, Manfred Fischedick, Mikiko Kainuma, et al. A pathway design framework for national low greenhouse gas emission development strategies. *Nature Climate Change*, 9(4):261, 2019.

## Médias vulgarisation et sites internet

- [33] La main à la pâte. education au développement durable. <http://www.fondation-lamap.org/fr/EDD>.
- [34] L'affaire du siècle. <https://laffairedu siecle.net/>.
- [35] Le climat ne doit pas disparaître des programmes scolaires. les nouveaux programmes du lycée doivent laisser plus de place aux enjeux environnementaux. <https://ilestencoretemps.fr/programmes/>.
- [36] Manifeste étudiant pour un réveil écologique. <https://pour-un-reveil-ecologique.fr/index.php>.
- [37] Carbon Brief. Qa : How 'integrated assessments models' are used to study climate change ? <https://www.carbonbrief.org/qa-how-integrated-assessment-models-are-used-to-study-climate-change>.
- [38] Benjamin Dessus. Pourquoi le méthane est-il sous-estimé dans la lutte contre le changement de climat ? Mediapart, <https://blogs.mediapart.fr/benjamin-dessus/blog/090419/pourquoi-le-methane-est-il-sous-estime-dans-la-lutte-contre-le-changement-de-climat>, 2019.
- [39] La Tronche en Biais. La prospective : boule de cristal ou méthode scientifique ? <http.www.youtube.com>.
- [40] Jean-Marc Jancovici. Blog de jean-marc jancovici. <https://jancovici.com/>.
- [41] Jean-Claude Lewandowski. De plus en plus de cursus «verts», pour répondre à la demande des étudiants. Le Monde, [https://www.lemonde.fr/campus/article/2017/11/06/ecoles-d-ingenieurs-le-boom-des-cursus-verts\\_5210772\\_4401467.html](https://www.lemonde.fr/campus/article/2017/11/06/ecoles-d-ingenieurs-le-boom-des-cursus-verts_5210772_4401467.html).
- [42] Thomas Mahler. Ecologie, vérités et fariboles. Le Point.
- [43] Rodolphe Meyer. Le réveilleur. Chaîne YouTube de vulgarisation scientifique sur l'environnement, l'énergie, le climat et l'économie [http://www.youtube.com/le\\_reveilleur](http://www.youtube.com/le_reveilleur).
- [44] Department of Energy and Climate Change. 2050 energy calculator. <http://2050-calculator-tool.decc.gov.uk/#/home>.
- [45] Department of Energy and Climate Change. The global calculator. <http://tool.globalcalculator.org/globcalc.html>.
- [46] Coralie Schaub. Le gouvernement renonce à diviser par quatre les émissions de gaz à effet de serre de la France. Libération, [https://www.liberation.fr/france/2019/02/07/le-gouvernement-renonce-a-diviser-par-quatre-les-emissions-de-gaz-a-effet-de-serre-de-la-france\\_1707943?xtor=rss-450&utm\\_medium=Social&utm\\_source=Twitter&utm\\_campaign=dlvr.it](https://www.liberation.fr/france/2019/02/07/le-gouvernement-renonce-a-diviser-par-quatre-les-emissions-de-gaz-a-effet-de-serre-de-la-france_1707943?xtor=rss-450&utm_medium=Social&utm_source=Twitter&utm_campaign=dlvr.it), 2019.