Repenser le rôle des scénarios : construction participative de scénarios bas carbone pour la France

Sandrine Mathy, Meike Fink et Ruben Bibas

Édition électronique

URL : <https://journals.openedition.org/rei/5934>

DOI : 10.4000/rei.5934

ISSN : 1773-0198

Éditeur

De Boeck Supérieur

Édition imprimée

Date de publication : 30 décembre 2014

Pagination : 69-103

ISBN : 9782804193409

ISSN : 0154-3229

Référence électronique

Sandrine Mathy, Meike Fink et Ruben Bibas, « Repenser le rôle des scénarios : construction participative de scénarios bas carbone pour la France », *Revue d'économie industrielle* [En ligne], 148 | 4e trimestre 2014, mis en ligne le 30 décembre 2016, consulté le 03 juin 2022. URL : <http://journals.openedition.org/rei/5934> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/rei.5934>

REPENSER LE RÔLE DES SCÉNARIOS : CONSTRUCTION PARTICIPATIVE DE SCÉNARIOS BAS CARBONE POUR LA FRANCE

Sandrine Mathy*, PACTE-EDDEN et CIRED
Meike Fink, Réseau Action Climat-France
Ruben Bibas, CIRED

Mots clés : Scénarios bas carbone, acceptabilité, concertation, politiques climatiques, France.

Keywords : Low-Carbon Scenarios, Acceptability, Climate Change, France.

1. INTRODUCTION

Les trajectoires énergétiques pour répondre à l'objectif français de Facteur 4 (F4), c'est-à-dire la division par quatre des émissions de gaz à effet de serre (GES) à l'horizon 2050 par rapport à 1990, font l'objet de vifs débats. En 2013, s'est tenu en France un débat énergie dont le groupe de travail n° 2 (Arditi *et al.*, 2013) était en charge de la comparaison et de l'évaluation des scénarios existants dans le but, si possible, de définir une trajectoire énergétique de transition. Une quinzaine de scénarios développés par des entités extrêmement différentes les uns des autres avec parfois des intérêts divergents¹ ont été versés au débat. Les visions se sont avérées irréconciliables rendant

* sandrine.mathy@upmf-grenoble.fr

1 La liste des scénarios est donnée en annexe, et leurs résultats décrits dans la figure 3.

ces exercices peu utiles au décideur public et peu didactiques pour une meilleure appropriation des nécessités de la transition énergétique.

Devant ce constat, cet article se propose de revenir sur l'utilité des scénarios bas carbone. Ils peuvent servir en effet une diversité d'objectifs dont deux grandes familles émergent : les scénarios *product-oriented* ou *process-oriented* (Wilkinson et Eidinow, 2008 ; Hulme et Dessai, 2008 ; O'Neill et al., 2008 , O'Neill et Nakicenovic, 2008). Dans le premier cas « *product-oriented* », le scénario en lui-même et son contenu en termes de trajectoire technico-énergétique sont l'objet premier du scénario. Dans le second cas « *process-oriented* », l'attention se porte sur le procédé même ayant guidé à l'élaboration du scénario dans le but de faire émerger des consensus, des niveaux minimaux d'accords ou tout au moins une compréhension commune des enjeux.

Les scénarios mis au débat énergie en France en 2013 ont été soumis en tant que produits finis et ils s'inscrivent sans aucune ambiguïté dans la première catégorie. Élaborés par des experts de l'énergie et des ingénieurs, ils laissent une large place aux aspects technologiques de la transition (Mathy et al., 2011), autour desquelles défenseurs et opposants à nombre de technologies « bas carbone » s'affrontent. L'éolien (Nadai et Labussière, 2009), les agrocarburants, le nucléaire (Bonneval et Lacroix-Lanoë, 2011), les gaz de schiste (IFOP, 2013), la capture et séquestration du carbone (Ha Duong et al., 2009) ou encore les véhicules électriques (Thiel et al., 2012) sont au cœur de ces controverses. D'autre part, une grande partie des scénarios bas carbone compatibles avec les objectifs de long terme reposent sur des hypothèses de pénétration sans accroc des technologies bas carbone le cas échéant guidées par un seul prix du carbone uniforme (Soderholm et al., 2011).

Or, pour atteindre les objectifs bas carbone de long terme, les solutions technologiques sont requises mais insuffisantes (Knopf et al., 2010 ; Edenhofer et al., 2011). Des modifications en profondeur des fonctions de demandes d'énergie sont nécessaires mobilisant les mesures de maîtrise de la demande d'énergie et d'amélioration de l'efficacité énergétique, mais aussi de planification urbaine ou de mesures plus sectorielles (Whitmarsh et al., 2011). Un prix du carbone ne pourra seul guider cette transition et des combinaisons de politiques seront nécessaires (Fischer et Newell, 2004 ; Lécuyer et Quirion, 2013). Or celles-ci posent elles aussi des problèmes d'acceptabilité qu'il faut prendre en compte dans l'évaluation des trajectoires bas carbone,

car elles sont en capacité de ralentir la mise en œuvre de ces politiques : la taxe carbone (Hourcade, 2012) du fait des impacts sur la compétitivité ou sur la justice sociale (Combet et al., 2010 ; Lorenzoni et al., 2007), les mécanismes de soutien aux ENR (Bökenkamp et al., 2008) du fait de leur coût à long terme, les politiques de *demand response* (Wolsink, 2012) ou de restriction de l'usage de la voiture individuelle pour leur atteinte à la liberté individuelle (De Groot et Steg, 2006) en sont quelques exemples.

Cette notion d'acceptabilité repose sur des facteurs individuels, psychologiques, de valeur (Steg et al., 2005), mais aussi institutionnels et procéduraux (Devine-Wright, 2008) et elle peut être élargie par l'amélioration de la connaissance du sujet, de la concertation, des dispositifs de compensation ou de redistribution. Pour cela, de la transparence dans les processus de décisions ainsi que la mise en œuvre de processus de participation pour engager public et parties prenantes dans le processus de décision est un prérequis et ces pratiques se sont développées dans de nombreux champs de la protection de l'environnement (Renn, 1999 ; van Asselt et Rijkens-Klomp, 2002 ; Wilcox 2003 ; Hulse et al., 2004 ; Pahl-Wostl, 2002 ; Patel et al., 2007) ou plus spécifiquement dans le champ de l'énergie et du changement climatique (Dorfman et al., 2013).

Comme préconisé par Garb et al. (2008), nous nous proposons ici d'appliquer une méthode de concertation à la construction de scénarios bas carbone avec des parties prenantes en axant le développement de ces scénarios sur la question de l'acceptabilité des politiques et des technologies. L'ensemble des politiques identifiées comme acceptables est ensuite agrégé au sein du modèle d'équilibre général Imaclim-R France pour une évaluation quantitative environnementale et économique du scénario obtenu. Dans la première partie, nous présentons la méthodologie développée dans le projet ainsi que le modèle Imaclim-R France ; dans la deuxième, nous définissons les politiques acceptables émanant des concertations entre les parties prenantes et le protocole de scénarisation définissant un scénario « acceptabilité forte » AF et un scénario « acceptabilité modérée » AM. Dans la troisième partie, nous présentons les résultats de l'évaluation quantitative des deux scénarios. Enfin, dans une partie conclusive, nous revenons sur le processus de concertation, sur la démarche de co-construction de scénarios et sur ses limites, ses apports et ses perspectives.

2. MÉTHODOLOGIE

L'objectif de la recherche est de développer des scénarios bas carbone intégrant à la fois des dimensions technico-économiques et socio-politiques pour répondre au défi de réductions d'émissions ambitieuses pour la France. Pour dépasser le strict champ de l'expertise en modélisation énergie-économie, le Réseau Action Climat-France (RAC-F), ONG française spécialisée sur le climat et reconnue pour son expertise sur les politiques climatiques et en lien permanent avec les parties prenantes, et le CIREN ont ainsi étroitement collaboré dans l'élaboration de la méthodologie de concertation décrite ci-dessous.

2.1. Processus de concertation

Trois journées de discussion et de concertation (une pour chaque secteur : résidentiel, transports et électricité) visaient à évaluer selon les parties prenantes le niveau d'acceptabilité de politiques climatiques et de technologies bas carbone². Les parties prenantes ont été sélectionnées de manière à tenter d'avoir un certain niveau de représentativité des acteurs dans les secteurs visés. Cette sélection s'est appuyée sur la grille développée par Mendelow (1991) croisant le niveau d'intérêt des acteurs à agir et leur niveau d'influence, le but étant de réunir des acteurs impliqués dans chacun des secteurs aux niveaux décisionnels, de la mise en œuvre, du financement des politiques ou de la défense des usagers. Cette démarche ne pouvant être complètement déterministe, des entretiens avec des professionnels des différents secteurs ont validé la cartographie obtenue. Les parties prenantes incluaient des représentants des collectivités locales, des associations de consommateurs, des syndicats professionnels, des opérateurs privés ou publics, des banques, des représentants des ONG. Le but étant de permettre à chacune des parties prenantes de s'exprimer, un maximum de 15 parties prenantes a été fixé pour chacun des ateliers. La liste des parties prenantes ayant participé à chacun des ateliers est donnée en annexe. Lors de chacun des ateliers, une présentation des enjeux liés à l'évolution des consommations d'énergie et des émissions de GES et des études sectorielles sur les politiques capables d'infléchir les dynamiques

² Le processus s'est également conclu par une journée regroupant l'ensemble des parties prenantes pour une présentation des résultats.

ont permis d'alimenter la discussion. Un ensemble de mesures et de technologies sélectionnées au préalable par l'équipe du projet à l'appui d'une revue de la littérature scientifique a été rassemblée au sein de questionnaires sectoriels. Ces questionnaires visaient à évaluer selon chacun des acteurs le niveau d'acceptabilité sociale de mesures ou technologies. La notion d'acceptabilité ne doit pas être perçue au niveau corporatiste pour les parties prenantes, mais s'inscrire dans une vision prosociale : telle politique, selon des aménagements dans sa mise en œuvre (mise en place de compensations par exemple...) à préciser, induit-elle des impacts acceptables pour les acteurs économiques et les consommateurs pour atteindre le F4 ? Il est néanmoins difficile de certifier que chacun a bien répondu dans ce sens. Étant donné le nombre de parties prenantes, les données issues des questionnaires ne peuvent donner lieu à un traitement économétrique, mais elles ont permis de calculer le niveau d'accord entre les parties prenantes sur l'acceptabilité des différentes mesures. Le niveau d'acceptabilité de chaque mesure est appréhendé par la proportion des parties prenantes exprimant leur soutien. Deux niveaux d'acceptabilité ont été retenus : une acceptabilité forte pour laquelle 75 % des parties prenantes soutiennent une mesure, et une acceptabilité modérée avec un seuil de 50 %.

2.2. Le modèle hybride Imacim-R France

Imacim-R France est un modèle d'équilibre général calculable de la famille des modèles Imacim développés au CIRED (Waisman *et al.*, 2012a ; Sassi *et al.*, 2010 ; Crassous *et al.*, 2006). C'est un modèle hybride qui représente année après année entre 2004 et 2050 l'évolution simultanée des systèmes techniques et de l'économie. Face aux limites des modèles d'équilibre intertemporels, qui décrivent une trajectoire économique stabilisée, avec une allocation optimale des investissements, Imacim-R représente à la fois le moteur de la croissance à long terme (croissance démographique et croissance de la productivité du travail) et les frictions pouvant survenir à court terme (anticipations imparfaites, utilisation incomplète des facteurs de production, inerties à différents niveaux – équipements, techniques, préférences, flux commerciaux ou flux de capitaux) au travers d'une architecture récursive. La croissance économique est ainsi décrite comme une succession d'équilibres statiques représentant chaque année un bilan économique (production, consommation, échanges internationaux) à travers

un équilibre walrasien de l'économie. La dynamique de l'économie est représentée à travers des modules sectoriels traitant l'évolution des techniques et des stocks de facteurs de production (capital, travail, ressources naturelles) et alimentant ainsi une croissance progressive entre chaque équilibre statique.

Chaque équilibre statique ne décrit pas l'optimum collectif de production compte tenu des techniques disponibles. Au contraire, l'équilibre est contraint à une situation sous-optimale par l'inertie des équipements et l'allocation imparfaite des investissements entre secteurs, entraînant par exemple des surcapacités de production dans certains secteurs et des sous-capacités dans d'autres et créant ainsi des tensions sur les prix et les quantités, l'absence de plein-emploi en raison des rigidités du marché du travail, les distorsions créées par les taxes préexistantes ou encore la prise en compte des routines de comportement des agents économiques.

L'économie est désagrégée en 13 secteurs : énergie (pétrole brut, pétrole raffiné, gaz, charbon et électricité), transport (transport routier de marchandises, transport par voie d'eau, transport aérien, transport collectif de personnes), construction, industries intensives en énergie, agriculture et services. L'énergie y est représentée en valeurs et en quantités physiques permettant d'isoler le rôle respectif des secteurs énergétiques, ainsi que leurs interactions avec le reste de l'économie. L'existence de variables physiques précises (nombre d'automobiles, nombre de logements en copropriétés ou de maisons individuelles, rendement énergétique des technologies chaque année...) ouvre la voie à l'intégration rigoureuse de données sectorielles relatives à l'impact des incitations économiques sur la demande finale et les systèmes techniques ainsi qu'à un dialogue avec les non-modélisateurs.

De manière plus précise, les comportements spécifiques des agents représentés au sein des modules dynamiques sont les suivants :

- Dans le secteur résidentiel, le comportement des propriétaires des logements existants est représenté au travers de fonctions de coût généralisé (Giraudet et al., 2012) prenant en compte les investissements de rénovation thermique et/ou de changement d'équipement selon le niveau d'efficacité visé, les économies d'énergies en découlant, actualisées sur la durée de vie des installations et des coûts

intangibles rendant compte de la nature imparfaite de l'information. Des taux d'actualisation spécifiques à chacun des types de propriétaires des logements (propriétaire occupant ou bailleur des logements individuels ou collectifs ou bailleurs sociaux) permettent de refléter le « dilemme propriétaire-locataire »³, ainsi que la difficulté de mettre en œuvre une rénovation des logements dans les copropriétés. L'augmentation de la quantité et/ou de la qualité des réhabilitations procède d'une évolution de la rentabilité relative des différents niveaux d'ambition de rénovation thermique, induite par l'accroissement du prix de l'énergie et soutenue par la diminution des coûts de la réhabilitation au fur et à mesure de la diffusion des technologies et du savoir-faire.

- La modélisation du secteur électrique (Bibas et Mathy, 2011) permet de représenter le développement des capacités supplémentaires en fonction d'anticipations imparfaites sur l'évolution de la demande et sur la forme de la courbe de charge soit selon une vision de planification minimisant le coût complet du secteur, ou de porteurs de projets minimisant le temps de retour ou maximisant le taux de rendement de chacun des projets. La modélisation fait appel à un grand détail de technologies (charbon et gaz avec ou sans CCS, nucléaire, PV, éolien terrestre et off-shore, biomasse, hydro) avec leurs spécifications techniques et économiques et à une courbe de charge horaire.
- La mobilité des passagers et le partage modal (Combet *et al.*, 2009 ; Waisman *et al.*, 2012b) résultent de la maximisation de la fonction

3 Le dilemme propriétaire-locataire renvoie au problème principal-agent : le propriétaire d'un logement en location est dans l'incapacité de rentabiliser des investissements de rénovation thermique du logement dont les bénéfices seront perçus par le locataire. Le locataire est également dans l'incapacité de rentabiliser un tel investissement le temps de retour étant supérieur à sa durée d'occupation du logement (Gillingham *et al.*, 2012). Ceci est confirmé par les observations faites selon lesquelles les logements en location consomment plus d'énergie que les logements occupés par leur propriétaire (Levinson et Niemann, 2004 ; Rehdanz, 2007). D'autre part, les estimations des taux d'actualisation privés pour les actions de rénovation thermique peuvent atteindre entre 20 et 25 % (Mundaca, 2008), ce qui est très élevé comparativement à d'autres types d'investissements pour les ménages. Le modèle en adoptant une représentation par des taux d'actualisation différents fait ainsi l'hypothèse que les propriétaires bailleurs face à ce problème ont des exigences de rentabilité supérieures aux propriétaires occupants.

d'utilité tenant compte de la mobilité sous une contrainte de revenu et une contrainte de budget-temps (Zahavi et Talvitie, 1980) pour capturer les liens entre demande finale, disponibilité en infrastructures et équipements. Les choix modaux sont soit le véhicule particulier, les transports collectifs terrestres et aériens, et les modes doux. La construction de nouvelles infrastructures dans un de ces modes de transport permet à travers l'augmentation de sa capacité de diminuer les phénomènes de congestion et d'augmenter la vitesse de déplacement qui y est attachée et qui est prise en compte dans le budget temps. L'efficacité de la flotte de véhicules particuliers dépend des choix technologiques des ménages lors de l'acquisition des véhicules et du progrès technique. La flotte automobile est détaillée en générations de véhicules, selon leur année de mise en circulation et 5 types de technologies : conventionnels ou hybrides (efficaces ou standard) et véhicules électriques. Les spécifications propres à chacune de ces technologies évoluent dans le temps en fonction du progrès technique. À chaque date, la composition technologique de la nouvelle génération de véhicules résulte d'un choix des agents parmi les technologies explicites, en comparant, pour chaque technologie disponible, le coût moyen actualisé associé à la production d'un véhicule kilomètre.

- La demande de fret (Waisman *et al.*, 2012b) résulte de l'agrégation de la demande de transport de marchandises de chaque secteur productif. Le volume de transport de fret est directement lié aux modes de consommation et à la structure de l'économie (économie orientée vers la production de services ou de biens industriels). En revanche, le volume de fret est peu sensible aux prix de l'énergie, les choix modaux étant davantage dictés par les possibilités logistiques et l'organisation de la chaîne d'approvisionnement. L'évolution de l'efficacité énergétique des transports maritimes ou aériens est exogène, celle des transports terrestres (routier et ferroviaire) dépend d'une élasticité prix du carburant de -0,4. L'évolution de la consommation d'énergie dans ce secteur exprime simultanément les mutations technologiques, les reports modaux (notamment celui du fret routier sur le rail) et les modifications affectant les composantes structurelles du secteur.
- Dans les autres secteurs, en plus d'un progrès technique autonome calibré sur les tendances passées, l'évolution des prix de l'énergie

incluant une éventuelle taxe carbone induisent des gains supplémentaires d'efficacité énergétique et des substitutions d'énergie en fonction de l'anticipation imparfaite (myope) des prix relatifs.

Dans chacun de ces modules les agents adaptent leurs décisions d'investissements en fonction d'anticipations qui sont imparfaites sur les prix de l'énergie et qui peuvent être soit imparfaites soit parfaites sur l'évolution d'une éventuelle taxe carbone selon les hypothèses de scénarisation renvoyant à des design de politiques spécifiques.

Cette modélisation des routines de comportement⁴ permet de représenter l'impact sur les décisions et les comportements des agents des politiques climatiques telles qu'une fiscalité carbone, des outils incitatifs à la rénovation thermique de l'habitat, une réglementation sur la pénétration d'équipements plus efficaces ou encore des politiques d'infrastructures dans les transports... Les politiques incitatives (fiscalité, subventions...) sont intégrées directement dans les coûts d'investissements et dans les prix des énergies. L'effet d'une réglementation est intégré dans les coefficients d'efficacité énergétique des équipements suivant leur génération de capital.

3. DÉFINITION DES SCÉNARIOS

Nous décrivons dans cette partie les ateliers sectoriels avec les parties prenantes⁵ : les problématiques sectorielles abordées, les discussions autour des politiques climatiques et l'analyse des questionnaires. Ceci conduit à une évaluation du niveau de soutien pour un certain nombre de politiques résumées dans la figure 1.

4 Trois journées réunissant des experts sectoriels (électricité, transports et bâtiments) ont permis la validation des dynamiques et des données économiques ou techniques représentées dans le modèle.

5 Il est à noter que ces ateliers n'ont pas traité de changement de paradigme dans les modes de consommation ou pour les modes de production, ces aspects dépassant la notion d'acceptabilité telle que circonscrite dans le projet. À certains égards, les scénarios qui en découlent peuvent alors apparaître conservateurs par rapport à d'autres décrivant un tel changement de paradigme.

3.1. Politiques acceptables dans le résidentiel

En 2010, le secteur résidentiel était responsable de 30 % de la consommation d'énergie finale dont les 2/3 attribuables au chauffage. Plus de la moitié du parc de bâtiments actuel date d'avant la première réglementation thermique de 1975, mais plus de 2/3 du stock de bâtiments de 2050 est déjà construit. L'enjeu du secteur des bâtiments au-delà de l'amélioration des réglementations thermiques pour la construction neuve est donc d'accélérer et d'augmenter l'ambition des rénovations thermiques du parc existant. D'autre part, pour les constructions neuves, le Grenelle de l'Environnement a acté qu'à partir de 2010 la réglementation thermique appliquée est le label Bâtiment Basse Consommation et à partir de 2020, le label Bâtiment à Énergie Positive.

La grande majorité des parties prenantes réunies lors de l'atelier validaient les conclusions de Giraudet et al. (2012) selon laquelle les seuls outils incitatifs (éco-prêt à taux zéro ou crédit d'impôt développement durable) ne permettraient pas d'atteindre les objectifs français de 2020 (-38 % de consommation d'énergie par rapport à 2008). En effet, le logement n'est pas un lieu où le comportement est économiquement rationnel. Ainsi, même si une rénovation thermique est rentable à terme, les habitants recherchent en priorité un confort thermique (Maresca et al., 2009). Néanmoins, ces outils incitatifs sont nécessaires et leur ambition doit être revue à la hausse. Nous reprenons entre autres les propositions de Callonec et Nauleau (2012) visant à augmenter de 40 % le niveau du CIDD.

Pour bien cerner les dynamiques et les déterminants d'une action de rénovation thermique, les parties prenantes préconisent une approche spécifique à chaque type de logements⁶.

- Pour les maisons individuelles, une obligation de rénovation (OR) ne serait pas acceptable au titre de la liberté individuelle ; il serait plus coût-efficace de se focaliser sur les logements les moins performants. Le renforcement des outils incitatifs, la mise en place de dispositifs

6 Une comparaison des contextes propres aux différents types de logements a par exemple été développée dans un récent rapport de l'Institut Montaigne (Habitat : pour une transition énergétique ambitieuse).

de tiers financeur une meilleure information sur les gains à la rénovation thermique sont vus comme les plus acceptables et probables.

- Dans les copropriétés, une OR au moment du ravalement serait acceptable si elle est combinée à des soutiens financiers et des dispositifs de diminution des risques financiers (contrats de performance énergétique, obligation de fonds de rénovation...) et si elle vise les copropriétés les plus grandes et les moins performantes.
- Pour les logements sociaux, une OR ne semble pas nécessaire si des outils de financements dédiés (tiers financeur, contrat de performance énergétique et prêts à taux préférentiels) sont développés car ce secteur est celui qui a le plus intérêt à généraliser la rénovation thermique et celui qui est le plus à même de faire face à des temps de retour sur investissement d'une trentaine d'années.

Pour lutter contre la précarité énergétique, des programmes spécifiques de rénovations thermiques doivent être mis en place mais également des tarifications spécifiques ; la tarification progressive de l'énergie recueille un très large soutien.

3.2. Politiques acceptables dans le secteur des transports

Les transports représentent 34,2 % des émissions de CO₂ françaises (dont 93 % dus au transport routier) avec une hausse de 14,4 % entre 1990 et 2007. Le transport constitue ainsi depuis plusieurs décennies le facteur le plus dynamique de croissance des besoins énergétiques, avec la double particularité de constituer un usage essentiellement captif du pétrole et d'être peu sensible aux signaux-prix (Goodwin et al., 2004) notamment sur le court terme. Ce constat fait apparaître la faiblesse de tout dispositif reposant uniquement sur des signaux prix pour internaliser la contrainte carbone. La littérature s'accorde sur le fait que les innovations technologiques jouent un rôle important dans la transition post-carbone, mais que des changements d'ampleur de la structure modale et des besoins de mobilité seront aussi nécessaires. Pour cela, il s'agit de mobiliser les leviers disponibles en internalisant les liens entre les contraintes de la transition post-carbone et l'aménagement des pôles urbains en termes d'infrastructure et d'organisation spatiale. Les enjeux sont donc la réallocation

d'investissements en faveur des modes de déplacement collectifs et l'ajustement des modes d'organisation logistiques pour faire baisser l'intensité en transports des processus de production/distribution et optimiser l'utilisation des véhicules de fret.

L'élasticité vitesse/PIB semble un bon indicateur pour construire des visions contrastées de l'évolution de la mobilité. Ainsi, si par le passé cet indicateur est resté positif, ce qui permet de rendre compte de l'allongement des distances parcourues dans un budget-temps contraint, du fait d'une forte extension du réseau routier, un seuil semble être atteint et une augmentation tendancielle de la mobilité à budget temps constant induirait des coûts de développement des infrastructures de modes de transports « rapides » qui semblent peu réalistes et peu acceptables. Par contre, avec une élasticité vitesse/PIB nulle, une hausse de la mobilité doit s'accompagner d'une hausse du budget temps. Or l'allongement des durées quotidiennes de transports n'est pas perçu comme acceptable par les parties prenantes. La mobilité individuelle ne peut plus progresser comme par le passé et la réduction des externalités négatives des transports est donc à rechercher vers plus de proximité et le développement d'alternatives à la route. Cette vision est cohérente avec Lopez-Ruiz et Crozet (2010) qui évaluent les besoins en investissements en infrastructures selon le développement de différentes « visions » transports cohérentes avec le Facteur 4. Les propositions faites aux parties prenantes en sont tirées⁷. La nécessité de transferts d'investissements du secteur routier vers les autres modes de transports est largement reconnue par les parties prenantes, mais la quantité d'investissement dans le ferroviaire et les transports urbains reste sujette à caution entre un simple transfert des investissements routiers (9 milliards € chaque année) à volume total identique ou la nécessité de mobiliser des investissements additionnels pour le ferroviaire en plus de ce transfert (9 milliards de transferts auxquels s'ajoutent 9 milliards € additionnels).

Au niveau des signaux-prix, les parties prenantes sollicitent une tarification intégrant les externalités négatives du transport (suppression des exonérations de la TIPP, taxation du kérosène, taxe carbone, écoredevance poids lourds). Pour accompagner les changements de comportements, la

7 Ces propositions reflètent les besoins d'investissement du scénario Hestia développé dans Lopez-Ruiz et Crozet (2010).

réduction des besoins de mobilité doit également être recherchée par des mesures « douces » telles que la généralisation du télétravail, l'autopartage.

Un consensus émerge sur les potentialités offertes par les technologies : le véhicule électrique serait cantonné à des marchés de niches en milieu urbain parallèlement au développement d'une économie de fonctionnalité et le reste du parc sera constitué à la fois de véhicules à combustion interne et de véhicules hybrides dont les standards auront été revus considérablement à la hausse grâce au soutien d'un système de bonus-malus (sous condition d'un bilan financier annuel neutre pour l'État).

3.3. Politiques acceptables dans le secteur électrique

Le secteur électrique français est dominé par un parc nucléaire dont la moyenne d'âge est proche de 30 ans. La question de son renouvellement, de la prolongation des centrales nucléaires ou encore de son remplacement par d'autres technologies est un débat vif en France. Néanmoins, une majorité des parties prenantes considère qu'il est acceptable de prolonger la durée de vie des centrales les plus récentes, tout en diminuant progressivement la part du nucléaire et de favoriser et accompagner la montée en puissance des énergies renouvelables (ENR). La question du niveau de développement de l'éolien terrestre à prendre en compte du fait des problèmes d'acceptabilité locale ne fait pas consensus. La poursuite des tarifs d'achats pour accompagner la pénétration des ENR est sollicitée.

L'acceptabilité de l'amélioration de l'efficacité énergétique est largement établie et un renforcement assez drastique de la réglementation doit être visé. Pour diminuer l'ampleur de l'effet rebond à la suite de l'amélioration de l'efficacité énergétique des équipements, la mise en place d'une tarification progressive est considérée comme acceptable.

Les problèmes d'équilibre offre-demande dans un contexte de forte croissance des pics de consommation et de déficit en capacité de production de pointe et de potentielles sur- ou sous-capacité de production devraient être adressées au travers d'une planification de long terme des investissements et le développement d'outils de *demand-response*.

3.4. Acceptabilité fiscalité carbone

La mise en œuvre d'une fiscalité carbone a donné lieu en France à un certain nombre de rapports d'experts (Quinet, 2009, 2013 ; Rocard, 2009). Les experts du rapport Quinet de 2009 préconisaient une taxe carbone dont la valeur serait de 32 €/tCO₂ en 2010, 56 € en 2020, 100 € en 2030 et entre 200 € et 350 €/tCO₂ en 2050. Ces valeurs correspondent à la valeur duale des contraintes de réduction d'émissions de CO₂ incombant aux objectifs de 2020 et de 2050.

Les parties prenantes apportent un large soutien à la mise en œuvre d'une taxe carbone aux valeurs préconisées par le rapport Quinet, avec notamment affichage de la progressivité dans le temps de la taxe pour que les agents économiques puissent anticiper cette valeur croissante dans leurs décisions et leurs choix d'investissements. Ce résultat des questionnaires, fort différent de l'état du débat public sur la taxe carbone est sans doute une conséquence d'un biais introduit dans les parties prenantes participant au processus puisque ce sont des personnes plus informées et sensibilisées aux questions du changement climatique que la moyenne de la population⁸. Néanmoins, ceci reflète également l'enjeu fondamental de la taxe carbone qui est bien que les ménages et acteurs prennent en compte cette taxe carbone dans leurs décisions d'équipements et réduisent leurs consommations d'énergie et donc leur facture énergétique.

Trois options de recyclage des revenus de la taxe ont été proposées : un chèque vert vers les ménages, ce qui peut avoir des effets redistributifs, une baisse des charges sur le travail de manière à favoriser l'emploi ou enfin le soutien vers les ENR et l'efficacité énergétique. Les réponses liées au mode de recyclage de la taxe ne permettent par contre pas de faire émerger une option unique.

8 Ceci fait également écho au fait que l'acceptabilité d'une politique n'est pas quelque chose de figé, mais qu'elle repose sur des facteurs individuels, psychologiques, de valeur, mais aussi institutionnels et procéduraux et elle peut être élargie par l'amélioration de la connaissance du sujet, de la concertation comme énoncé en introduction.

Figure 1. Acceptabilité des politiques (barre rouge : 50 et 75 % de soutien des parties prenantes)

3.5. Protocole de scénarisation

Les politiques sélectionnées dans la partie précédente sont intégrées au modèle Imaclim-R France dans le cadre de 2 scénarios : un scénario « acceptabilité forte » (AF) et un scénario « acceptabilité modérée » (AM) regroupant l'ensemble des politiques ayant recueilli le soutien de plus de respectivement 75 % et 50 % des parties prenantes (figure 1).

Le scénario AF comprend :

- Dans le secteur résidentiel, un ensemble de mesures incitatives financières et non financières permettant de faire baisser le coût et de partager le risque pour le décisionnaire de travaux de rénovation thermique et une tarification progressive de l'électricité ;
- Dans le secteur des transports, la pénétration de voitures efficaces et de véhicules hybrides soutenue par un système de bonus malus, les véhicules électriques restant cantonnés à des marchés de niche, la fin des exonérations de la TIPP, des mesures « douces » visant à limiter la mobilité subie et un report substantiel des investissements routiers vers le ferroviaire et les transports urbains.
- Dans le secteur de l'électricité, des mesures visant à renforcer l'efficacité énergétique des équipements, à « lisser » la courbe de charge, le développement des ENR, la baisse de la part du nucléaire et la prolongation des 40 GW de centrales nucléaires les plus récentes pour une durée de 20 ans⁹.
- Une taxe carbone aux valeurs préconisées par le rapport Quinet (2009), avec anticipation de la valeur de la taxe et recyclage des recettes sous forme de chèque vert vers les ménages¹⁰. Les anticipations sur l'évolution des prix de l'énergie sont par contre myopes.

Le scénario AM comprend toutes les mesures de AF auxquelles sont ajoutées des investissements supplémentaires vers les modes de transports

9 Cette option n'a pas recueilli 75 % de soutien, mais c'est celle qui avait recueilli le plus de voix.

10 Les deux autres options envisagées que sont le recyclage vers une baisse des charges sur l'emploi et vers un soutien à l'amélioration de l'efficacité énergétique et le développement des ENR ont également été testées, elles ne modifient qu'à la marge les résultats présentés dans la partie suivante.

alternatifs à la route, une obligation de rénovation pour l'ensemble du parc de bâtiments en commençant par le logement social et en étalant la mise en œuvre de l'OR de manière à lisser le nombre de rénovations dans le temps et un développement plus important de l'éolien terrestre.

Un scénario de référence sans aucune de ces politiques est également réalisé intégrant peu de politiques climatiques hormis les avancées issues du Grenelle de l'environnement concernant les réglementations thermiques sur les nouvelles constructions et les objectifs ENR pour 2020. Le reste du progrès technique et des gains d'efficacité énergétique dans le scénario de référence sont guidés par les prix de l'énergie et les anticipations myopes des agents et calibrés sur les trends passés.

De manière à prendre en compte les incertitudes sur le progrès technique et sur l'évolution des prix des énergies fossiles, le protocole de scénarisation décline ces trois familles de scénarios REF, AF et AM autour de 48 alternatives¹¹ regroupant les incertitudes sur :

- i) l'évolution du prix des énergies fossiles avec 3 variantes : une valeur médiane correspondant aux prix du World Energy Outlook 2011 de l'AIE, une variante basse avec des prix 20 % inférieurs et une variante haute avec des prix 20 % supérieurs ;
- ii) l'évolution du coût du nucléaire avec 2 variantes : un coût d'investissement de 5 000 €/kW et une valeur 20 % supérieure ;
- iii) l'évolution du coût de la capture et du stockage de carbone avec 2 : un surcoût de 600 €/kW et une valeur 20 % supérieure ;
- iv) l'évolution du coût des ENR avec 2 variantes : une baisse du coût d'investissement entre 2010 et 2050 de 25 % pour l'éolien et 60 % pour le PV et une baisse de 10 et 50 % respectivement ;
- v) la disponibilité des agrocarburants avec 2 variantes : un potentiel de 15 Mtep ou de 7,5 Mtep.

¹¹ Les hypothèses de coûts des technologies ont été adaptées de la base de données TECHPOL qui alimente le modèle du secteur énergétique POLES développé à EDDN.

4. RÉSULTATS

4.1. Émissions de CO₂

L'ensemble des combinaisons croisées à l'implémentation des politiques selon la famille de scénario REF, AF ou AM conduit à des profils d'émissions de CO₂ très contrastés, et ce très tôt dans la période 2010-50. À chaque fois, à l'intérieur de chacune des familles de scénarios, l'incertitude sur les niveaux de prix des énergies fossiles est le principal déterminant des 48 alternatives.

Dans le scénario de référence, les émissions évoluent à l'horizon 2050 par rapport à 1990 entre une diminution et une augmentation de l'ordre de 20 % selon l'hypothèse sur les prix de l'énergie. Dans le scénario AF, les émissions diminuent en 2050 entre 58 et 72 % et dans le scénario AM entre 68 et 81 %. Ainsi, seul le scénario AF est en mesure d'atteindre le Facteur 4 si les prix de l'énergie ne sont pas trop bas. D'autre part, tous les scénarios AF et AM montrent une stabilisation des émissions à partir de 2040, du fait d'un regain d'émissions dans le secteur électrique (voir plus bas).

À l'horizon 2020, le principal déterminant du niveau de baisse d'émissions de CO₂ n'est pas la différence de politiques entre AF et AM, mais l'hypothèse sur le prix des énergies : les réductions les plus faibles sont observées pour les prix bas de l'énergie (-22 % en moyenne) et les réductions les plus fortes pour les prix élevés (-33 % en moyenne) et une baisse de 28 % des émissions pour l'hypothèse médiane. Ainsi, dans tous les cas l'objectif européen du paquet climat énergie est respecté.

Dans la suite, sauf mention contraire, pour simplifier le propos, les résultats sont analysés et présentés pour l'hypothèse médiane du prix de l'énergie et pour les hypothèses les plus optimistes en termes de progrès technique.

Pour évaluer les trajectoires de réduction d'émission des scénarios AF et AM par rapport aux autres scénarios français, notamment ceux versés au débat énergie en 2013, nous avons recours à une représentation stylisée (figure 3) reportant en abscisse la décarbonisation de l'énergie finale par rapport à 2012, pris ici comme année de référence et, en ordonnée, la réduction de la consommation d'énergie finale par habitant, comme proxy de l'amélioration de l'efficacité énergétique et de la sobriété. Dans

Figure 2. Évolution des émissions de CO2 énergétiques totales, dans le résidentiel et dans les transports par rapport à 1990

Figure 3. Répartition des réductions d'émissions entre la réduction de la consommation d'énergie finale et la décarbonisation de l'énergie par rapport à 2012

cette représentation, normée pour 2012, l'ensemble des couples (contenu en carbone de l'énergie ; consommation d'énergie finale par habitant) correspondant à un Facteur 4 est désigné par les points noirs représentant l'isoquante Facteur 4. Ainsi, pour atteindre le Facteur 4, selon deux visions extrêmes, on peut réduire de 75 % le contenu carbone de l'énergie en maintenant constant la consommation d'énergie fossile, ou réduire de 75 % la consommation d'énergie finale par habitant en maintenant constant le contenu carbone de l'énergie. Les points se situant au-dessus de l'isoquante n'atteignent pas le Facteur 4 et ceux en dessous, le dépassent. L'ensemble des scénarios versés au débat énergie en 2013 ont été placés sur ce diagramme (désignés par des croix), ainsi que les scénarios AF et AM. Deux groupes de scénarios se distinguent nettement : un premier groupe au-dessus de l'isoquante approchant le Facteur 4 mais ne l'atteignant pas, avec des réductions d'émissions principalement dues à une forte décarbonisation de l'énergie (entre 50 et 70 %), mais avec peu de réduction de la consommation d'énergie finale par habitant. Dans le second groupe, les scénarios dépassent le Facteur 4 et combinent forte décarbonisation de

l'énergie (entre 60 et 80 %) et forte diminution de la consommation d'énergie finale par habitant (environ 50 %). Le scénario AF n'est dans aucun de ces groupes, car les réductions d'émissions sont trop faibles. Le scénario AM situé sur l'isoquante se rapproche du second groupe de scénarios. AF et AM se situent sur une ligne droite ayant pour origine le point 2012, combinant une répartition équilibrée entre réductions d'émissions dues à la décarbonisation et réductions d'émissions dues à l'efficacité énergétique. L'un comme l'autre apparaissent par contre assez conservateurs en ce qui concerne la décarbonisation de l'énergie.

4.2. Le secteur résidentiel

Dans le secteur résidentiel, les baisses d'émissions de CO₂ par rapport au scénario de référence sont importantes. Pour chacune des hypothèses portant sur le prix des énergies, les politiques intégrées dans AF permettent des réductions de l'ordre de 50 à 60 % par rapport à 1990. L'obligation de rénovation permet de gagner encore une quinzaine de pourcent de réductions à l'horizon 2050. Ainsi dans le scénario AF, les incitations financières et les réductions de risques sur le financement de la rénovation ne permettent pas d'organiser un transfert massif vers les étiquettes les plus performantes dans le parc de bâtiments existants, sauf dans les logements sociaux où les étiquettes C se diffusent largement (figure 4). Par contre, l'obligation de rénovation introduite dans AM permet de généraliser les étiquettes les plus performantes dans tous les segments du parc. Ces résultats sont cohérents avec ceux de Giraudet *et al.* (2012) : seule une OR permettrait d'atteindre le F4, les seuls outils incitatifs borneraient fortement les réductions et rénovations thermiques accessibles.

Figure 4. Évolution de l'efficacité énergétique du parc de bâtiments existants

Figure 5. Décomposition des réductions d'émissions (EM CO2) dans le résidentiel (par rapport à 2010) entre la diminution du contenu carbone des énergies (DECARB), l'amélioration de l'efficacité énergétique du parc de bâtiments (EFF ENER), l'évolution de la population (POP) et de la surface par habitant (M2/CAP). EFF- regroupe les étiquettes énergie G, F, E et D, EFF l'étiquettes C et EFF+ les étiquettes B et A

Ces réductions d'émissions s'expliquent (figure 5) par la combinaison de l'amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments liée aux actions de rénovations thermiques et à la pénétration de bâtiments BBC et Bepos dans le neuf, de la diffusion d'énergies non carbonées dans les énergies de chauffage avec la pénétration du biogaz, du bois et de l'électricité. L'augmentation de la surface par habitant et de la population ne compensent pas ces gains.

4.3. Le secteur des transports

Dans le secteur des transports, les émissions baissent significativement par rapport au scénario de référence. Ainsi, les mesures de AF permettent dès 2020 une bifurcation drastique des émissions et selon les hypothèses concernant le prix des énergies fossiles, les réductions atteignent en 2050, 37 % à 58 % par rapport à 1990. Les investissements supplémentaires en infrastructures alternatives à la route introduites dans AM permettent de réduire encore davantage ces émissions pour atteindre de 47 à 68 % en 2050.

Dans les transports de passagers, les émissions du scénario de référence restent globalement constantes par rapport à 2010 sous l'effet combiné d'une augmentation de la mobilité individuelle et de l'amélioration de l'efficacité énergétique des automobiles. Les parts modales restent également sensiblement identiques à aujourd'hui. Les politiques introduites dans AF permettent de limiter significativement la croissance de la demande de transport, tout en développant la place des transports collectifs. Le développement des agrocarburants et celui de véhicules faiblement consommateurs d'énergie sont des hypothèses communes aux 2 scénarios AF et AM. Les investissements supplémentaires dans AM se focalisent sur le développement de modes de transports alternatifs à la route.

Dans le transport de marchandises, les émissions de CO₂ diminuent en 2050 par rapport à 2010 de 13 % dans le scénario de référence, de 45 % dans AF et de 55 % dans AM. Ces réductions d'émissions ne s'inscrivent pas dans un changement radical de paradigme, puisque le découplage de la demande de fret par rapport à la production n'est que de 15 % entre 2010 et 2050. Ceci signifie qu'avec une augmentation de l'indice de production de 50 % entre 2010 et 2050, la demande de transport de marchandises dans les deux scénarios de réduction augmente de 35 % environ¹². Cette tendance est plus forte que dans le scénario de référence pour lequel aucun découplage n'est observé.

Les autres facteurs de réduction des émissions sont la pénétration des agrocarburants qui représentent près de la moitié des carburants liquides consommés en 2050, l'amélioration de l'efficacité énergétique du transport routier par unité de marchandises transportées sous l'effet des signaux prix (taxe carbone, suppression des exonérations de TIPP et écoredevance poids lourds) et le report modal vers les transports non routiers induits par les investissements en infrastructures. Les réductions supplémentaires dans AM par rapport à AF sont ainsi imputables à un transfert modal plus massif.

¹² Dans les scénarios disponibles dans la littérature académique, certains scénarios envisagent des taux de découplage de 50 % (Lopez-Ruiz et Crozet, 2010) correspondant notamment à une réorganisation spatiale des modes de production autour des centres de consommation. Ces dimensions dépassant largement les questions d'acceptabilité ne sont pas abordées dans les questionnaires. Même si ce découplage peut être considéré comme souhaitable par les parties prenantes, les facteurs influençant de telles dynamiques dépassent la stricte question des politiques climatiques.

4.4. Le secteur électrique et le système énergétique

Le secteur électrique est soumis à une double dynamique dans les scénarios AF et AM par rapport au scénario de référence (figure 7) : l'amélioration de l'efficacité du système énergétique dans son ensemble et une augmentation significative de la part de l'électricité dans l'énergie finale conduit par l'amélioration de sa compétitivité prix par rapport aux autres énergies malgré l'augmentation des prix de l'électricité après 2035 pour AF et AM par rapport au scénario de référence (figures 8 et 9), et ce quelles que soient les alternatives.

De ce fait, le niveau de production d'électricité dans les scénarios AF et AM évolue peu par rapport à aujourd'hui, et ce contrairement au scénario de référence qui connaît une forte augmentation. L'évolution du mix énergétique est conforme aux préconisations des parties prenantes avec une forte pénétration des ENR, la disparition du charbon et la forte diminution de la part du nucléaire. La part du nucléaire dans l'électricité en 2025 est de 49,5 % dans AF et 51 % dans AM. D'autre part, à partir de 2040, un recours accru au gaz est rendu nécessaire pour combler la demande résiduelle hors nucléaire et ENR, or à cette date, étant données les hypothèses de coûts, le CCS n'est pas assez rentable pour pénétrer sans soutien additionnel. Ceci explique la stagnation des réductions d'émissions en fin de période dans AF et AM.

4.5. Évaluation économique

Les impacts économiques des scénarios REF, AF et AM pour toutes leurs alternatives sont présentés dans la figure 10. Mis à part en début de période pour le scénario AF et pour une hypothèse de prix bas de l'énergie, la croissance est toujours plus forte avec les politiques de réduction des émissions, et ce de manière plus marquée pour le scénario AM par rapport au scénario AF. Ces résultats sur l'activité économique sont corrélés à des créations d'emplois. Ces effets positifs s'expliquent d'une part par la baisse de la part budgétaire des ménages dédiée à l'énergie et aux services énergétiques (surcoût de la construction neuve et coût de la rénovation thermique, dépenses énergétiques dans le logement, carburant pour les automobiles et dépenses pour les autres modes de transport) tout au long de la période. Cette baisse est significative après 2030. Elle est plus forte pour AM que pour AF et pour l'hypothèse haute de prix de l'énergie. Dans

Figure 6. Évolution du transport de passagers et de marchandises et répartition modale

Figure 7. Évolution du mix énergétique dans l'électricité et dans l'énergie finale

Figure 8. Évolution du prix de l'électricité pour toutes les alternatives des scénarios REF, AF et AM. Indice 1=2010.
La barre grise montre l'amplitude décrite par l'ensemble des alternatives et le trait noir la valeur moyenne

Figure 9. Évolution des prix relatifs des énergies par rapport à l'électricité pour toutes les alternatives des scénarios REF, AF et AM. Indice 1=2010. La barre grise montre l'amplitude décrite par l'ensemble des alternatives et le trait noir la valeur moyenne

tous les cas, les investissements des ménages dans les réductions d'émissions sont plus que compensés par les économies d'énergie. Ceci libère du revenu disponible des ménages pour de la consommation supplémentaire. Néanmoins, ces résultats agrégés ne permettent pas d'évaluer l'impact des politiques sur le budget des ménages selon les classes de revenus et n'abordent donc pas les questions d'équité et notamment de précarité énergétique. D'autre part, la baisse des consommations d'énergie réduit drastiquement la facture énergétique extérieure de la France, cette réduction pouvant atteindre 70 Mrds € en 2030 et 150 Mrds € en 2050.

D'autre part, ces résultats mettent également en évidence la résilience des scénarios de réductions des émissions par rapport à la hausse des prix de l'énergie.

L'évaluation quantitative à l'aide du modèle Imacsim-R France des politiques sélectionnées par les parties prenantes permet d'agréger l'effet sectoriel des politiques au niveau de l'économie entière que cela soit pour évaluer la distance des réductions d'émissions atteintes par rapport à l'objectif de F4 ou de l'impact cumulé des surcoûts en investissements et des économies d'énergies sur le budget des secteurs et des ménages. Cette évaluation nous montre qu'au-delà de mesures qui peuvent réunir un large soutien, des mesures plus conflictuelles doivent être prises. Il en est ainsi de l'obligation de rénovation, du développement massif des ENR, ou d'investissements massifs dans la construction d'infrastructures de transports alternatifs à la route.

5. CONCLUSION SUR L'ÉVALUATION DU PROCESSUS DE CONCERTATION

Le point de départ de la recherche présentée ici visait à questionner l'objectif du développement de scénario bas carbone. Au-delà du contenu même de la trajectoire technico-économique décrite par ces scénarios, l'intérêt peut également se porter sur le processus de développement des scénarios. Cette approche est privilégiée ici dans le but de dépasser les oppositions auxquelles les scénarios existants donnent lieu et de faire émerger des consensus ou des niveaux minimaux d'accords qui constituent le socle de développement d'un scénario « process-oriented ».

Figure 10. Résultats économiques

Une telle méthodologie a été élaborée sur la base d'une concertation avec une trentaine de parties prenantes interrogées sur l'acceptabilité de politiques et de technologies bas carbone. Les politiques et technologies sélectionnées comme acceptables sont ensuite intégrées dans le modèle Imaclim-R France pour évaluer la trajectoire obtenue du point de vue économique et des réductions d'émissions de CO₂. Un socle de mesures recueillant 75 % de soutien au sein des parties prenantes permettrait ainsi d'atteindre des réductions d'émissions entre 58 et 72 % par rapport à 1990 suivant les hypothèses faites sur le prix de l'énergie. Lorsque le seuil d'acceptabilité est abaissé à 50 %, les réductions atteignent de 68 à 81 %. Dans tous les cas, les impacts économiques des scénarios de réductions sont positifs pour le PIB, l'emploi ou le budget des ménages et de manière plus marquée avec des niveaux de réduction plus ambitieux.

D'un point de vue méthodologique, la démarche suivie de construction participative de scénarios présente un certain nombre de points faibles : la difficulté de garantir une parfaite représentativité des parties prenantes, le faible nombre d'acteurs intégrés dans la démarche, ou encore la difficile définition de la notion d'acceptabilité et les ambiguïtés pouvant la circonscrire entre acceptabilité d'un point de vue corporatiste, altruiste ou individuelle.

Néanmoins, elle recèle un certain nombre d'aspects didactiques autour de l'évaluation des politiques climatiques, du rôle des scénarios, et des formes de gouvernance. Tout d'abord, le but du processus de concertation est de dépasser les préférences individuelles de chacun des acteurs prenant part au processus en le mettant en situation d'interaction et de prise de décision. Au-delà de la diffusion d'information, la concertation favorise la coproduction de solutions et l'apprentissage collectif (Garb et al., 2008). Ainsi, même si comme le montre la figure 3, la trajectoire décrite par AF ne semble a priori pas nouvelle par rapport aux autres scénarios existants, sa construction participative est en mesure de lui conférer une légitimité élargie par rapport aux autres scénarios développés par des groupes d'experts ou d'ingénieurs. D'autre part, au-delà d'un scénario déterministe proposant une trajectoire unique et figée, la démarche suivie d'intégration de politiques selon un niveau d'acceptabilité permet un cheminement de la concertation vers le F4. En effet, une dimension itérative au processus décrit ici pourrait aisément être mise en place (figure 11) de manière à ajuster l'ensemble des politiques intégrées à AF sur la base des résultats fournis par

l'évaluation économique des politiques intégrées au sein des scénarios AF et AM et l'éloignement des réductions obtenues par rapport à l'objectif F4. La concertation aboutissant à un ensemble de politiques acceptables avec un certain niveau de consensus constitue un socle à partir duquel de nouvelles politiques a priori jugées moins acceptables peuvent être intégrées dans une vision dynamique. Cette forme d'itérations pourrait s'inscrire dans des formes de gouvernance réflexive (Brousseau et Dedeurwaerdere, 2012). Malheureusement, cette démarche n'a pas pu être mise en œuvre lors du processus présenté ici pour des raisons de contraintes de temps.

Figure 11. Processus itératif pour élargir l'ensemble des politiques acceptables

BIBLIOGRAPHIE

- ARDITI, M. et al. (2012), « Quelle trajectoire pour atteindre le mix énergétique en 2025 ? Quels types de scénarios possibles à horizons 2030 et 2050, dans le respect des engagements climatiques de la France ? », Rapport du groupe de travail n° 2 du Conseil national sur la transition énergétique, 72 p.
- BIBAS, R., MATHY, S. (2011), « Dynamiques d'investissement et de maîtrise de la courbe de charge dans le système électrique français ». La journée de la chaire modélisation prospective 2011 Prospective pour les enjeux Énergie-Climat, 11 octobre 2011, Jardin Tropical, CIRED, Paris.
- BÖKENKAMP, G., HOHMEYER, O., DIAKOULAKIB, D., TOURKOLIASB, C., PORCHIA, R., ZHU, X., JAKOBSEN, K. T., HALSNAES, K. (2008), « WP 9 Report on policy assessment of instruments to internalise environment related external costs in EU

- member states, via promotion of renewables », CASES – Costs Assessment For Sustainable Energy Markets Project No 518294 Ses6 Deliverable No. D.9.1.
- BONNEVAL, L., LACROIX-LANOË, C. (2011), « L'opinion publique européenne et le nucléaire après Fukushima », note n° 101 – Fondation Jean-Jaurès – 26 septembre 2011, 17 p.
- BROUSSEAU, E., DEDEURWAERDERE, T. (2012), « Global Public Goods: the Participatory Governance Challenges ». In E. Brousseau, T. Dedeurwaerdere, B. Siebenhüner, eds., *Reflexive Governance and Global Public Goods*. Cambridge (MA): MIT Press, pp. 21-36.
- CALLONNEC, G., NAULEAU, M.-L. (2012), « Le modèle Énergie et Fiscalité MENFIS », Journée PREBAT du 22 juin 2012 « Atteindrons-nous le Facteur 4 en 2050 ? ».
- COMBET, E., GHERSI, F., GUIVARCH, C. (2009), « Les transports et le Facteur 4, Entre diversification des signaux et réforme fiscale », Programme de Recherche et d'Innovation dans les Transports Terrestres, 2007-2009, PREDIT GO n° 11 Politique des transports, Rapport final 26 juin 2009.
- COMBET, E., GHERSI, F., HOURCADE, J.-C., THUBIN, C. (2010), « Économie d'une fiscalité carbone en France », Publication IRES, avec le soutien de la Cfdt et de l'Ademe, 141 p.
- CRASSOUS, R., HOURCADE, J.-C., SASSI, O. (2006), « Endogenous structural change and climate targets: modeling experiments with Imaclim-R », *Energy Journal*, Special Issue on the Innovation Modeling Comparison Project.
- DE GROOT, J., STEG, L. (2006), « Impact of transport pricing on quality of life, acceptability, and intentions to reduce car use: An exploratory study in five European countries ». *Journal of Transport Geography*, 14(6), 463-470.
- DEVINE-WRIGHT, P. (2008), « Reconsidering public acceptance of renewable energy technologies: a critical review », in T. Jamasb, M. Grubb, M. Pollitt (Eds.), *Delivering a Low Carbon Electricity System: Technologies, Economics and Policy*, Department of Applied Economics Occasional Papers (No. 68) July 2008, Cambridge University Press.
- DORFMAN, P., PRIKKEN, I., BURRALL, S. (2012), « Future national energy mix scenarios: public engagement processes in the EU and elsewhere », Final Report, European Economic and Social Committee, EESC/COMM/05/2012, pp. 1-65.
- EDENHOFER, O., KNOFF, B., LEIMBACH, M., BAUER, N. (EDS.) (2010), « The Economics of Low Stabilization », *The Energy Journal*, vol. 31 (Special Issue 1).
- FISCHER, C., NEWELL, R. (2004), « Environmental and technology policies for climate change and renewable energy », *Resources for the Future*.
- GARB, Y., PULVER, S., VAN DEVEER, S. D. (2008), « Scenarios in society, society in scenarios: toward a social scientific analysis of storyline-driven environmental modeling », *Environ. Res. Lett.* 3 045015, 8 p.
- GILLINGHAM, K., HARDING, M., RAPSON, D. (2012), « Split Incentives in Household Energy Consumption », *Energy Journal*, 33, 2, 37-62.
- GIRAUDET, L.-G., GUIVARCH, C., QUIRION, P. (2012), « Exploring the potential for energy conservation in French households through hybrid modelling », *Energy Economics*, 34(2), 426-445.
- GOODWIN, P., DARGAY, J., HANLY, M. (2004), « Elasticities of Road Traffic and Fuel Consumption with 25 Respect to Price and Income: A Review », *Transport Reviews*, 24 (3), 275-292.
- HA-DUONG, M., NADAÏ, A., CAMPOS, A. S. (2009), « A survey on the public perception of CCS in France », *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 3 (5):633-640.
- HOURCADE, J.-C. (2012), « La taxe carbone, post-mortem », *Projet*, (5), 23-31.

- HULME, M., DESSAI, S. (2008), « Predicting, deciding, learning: can one evaluate the 'success' of national climate scenarios? », *Environ. Res. Lett.*, 3 045013.
- HULSE, D., BRANSCOMB, W. A., PAYNE, S. G. (2004), « Envisioning Alternatives: Using Citizen Guidance to Map Future Land and Water Use », *Ecological Applications*, vol. 14, n° 2, pp. 325-341.
- IFOP (2013), « Les Français et les gaz de schiste », sondage réalisé pour Ecorpstim.
- KASEMIR, B., DAHINDEN, U., SWARTLING, Å. G., SCHÜLE, R., TABARA, D., JAEGER, C. C. (2000), « Citizens' Perspectives on Climate Change and Energy Use », *Global Environmental Change*, vol. 10, n° 3, pp. 169-184.
- KNOFF, B., EDENHOFER, O., FLACHSLAND, CHR., KOK, M. T. J., LOTZE-CAMPEN, H., LUDERER, G., POPP, A., VAN VUUREN, D. P. (2010), « Managing the low-carbon transition – from model results to policies », *The Energy Journal*, vol. 31 (Special Issue 1), The Economics of Low Stabilization.
- LECUYER, O., QUIRION, P. (2013), « Can Uncertainty Justify Overlapping Policy Instruments to Mitigate Émissions? », *Ecological Economics*, 93, pp. 177-191.
- LEVINSON, A., NIEMANN, S. (2004), « Energy use by apartment tenants when landlords payfor utilities », *Resour. Energy Econ.*, 26 (1), 51-75.
- LOPEZ-RUIZ, H. G., CROZET Y. (2010), « Sustainable transport in France: is a 75 % reduction in co2 emissions attainable? », *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, vol. 2163, pp. 124-132.
- LORENZONI, I., NICHOLSON-COLE, S., WHITMARSH, L. (2007), « Barriers perceived to engaging with climate change among the UK public and their policy implications », *Global Environmental Change*, vol. 17, n° 3-4, pp. 445-459.
- MARESCA, B., DUJIN, A., PICARD, R. (2009), « La consommation d'énergie dans l'habitat entre recherche de confort et impératif écologique », *Cahier de Recherche*, n° 264, CREDOC.
- MATHY, S., FINK, M., BIBAS, R. (2011), « Quel rôle pour les scénarios Facteur 4 dans la construction de la décision publique ? », *Développement durable et territoires*, 2 (1), pp. 1-22.
- MENDELOW, A. (1991), « Stakeholder mapping », *Proceedings of second international conference on information systems*. Cambridge, MA.
- MUNDACA, L. (2008), « Markets for energy efficiency: exploring the implications of an EUwide Tradable White Certificate scheme », *Energy Econ.*, 30 (6), 3016-3043.
- NADAÏ, A., LABUSSIÈRE, O. (2009), « Windpower planning in France (Aveyron): from state regulation to local planning », *Land Use Policy*, 26(3): 744-754.
- O'NEILL, B. C., PULVER, S., VAN DEVEER, S., GARB, Y. (2008), « Where next with global environmental scenarios? An introduction and overview », *Environ. Res. Lett.*, 3 045012.
- O'NEILL, B. C., NAKICENOVIC, N. (2008), « Learning from global emissions scenarios », *Environ. Res. Lett.*, 3 045014 doi:10.1088/1748-9326/3/4/045014.
- PAHL-WOSTL, C. (2002), « Participative and Stakeholder-based Policy Design, Evaluation and Modeling Processes », *Integrated Assessment*, vol. 3, n° 1, pp. 3-14.
- PATEL, M., KOK, K., ROTHMAN, D. S. (2007), « Participatory Scenario Construction in Land Use Analysis: An Insight into the Experiences Created by Stakeholder Involvement in the Northern Mediterranean », *Land Use Policy*, vol. 24, n° 3, pp. 546-561.

- QUINET, A. (2009), « La valeur tutélaire du carbone Rapport de la commission présidée par Alain Quinet ». La Documentation française, Rapport n°16, 424 p.
- QUINET, A. (2013), « L'évaluation socio-économique en période de transition », Rapport du groupe de travail présidé par Émile Quinet, Commissariat général à la stratégie et à la prospective Tome I, Rapport final, juin 2013.
- REHDANZ, K. (2007), « Determinants of residential space heating expenditures in Germany », *Energy Econ.*, vol. 29, n° 2, pp. 167-182.
- RENN, O. (1999), « A Model for an Analytic-Deliberative Process in Risk Management », *Environ. Sci. Technol.*, 33 (18), 3049-3055.
- ROCARD, M. (2009), « Rapport de la conférence des experts et de la table ronde sur la contribution Climat et Énergie », 28 juillet 2009, 84 p.
- SASSI, O., CRASSOUS, R., HOURCADE, J.-C., GITZ, V., WAISMAN, H., GUIVARCH, C. (2010), « Imaclim-R: a modelling framework to simulate sustainable development pathways », *International Journal of Global Environmental Issues*, Special Issue on Models for Sustainable Development for Resolving Global Environmental Issues, vol. 10, n° 1-2, pp. 5-24.
- STEG, L., DREIJERINK, L., ABRAHAMSE, W. (2005), « Factors influencing the acceptability of energy policies: A test of VBN theory », *Journal of Environmental Psychology*, vol. 25, n° 4, pp. 415-425.
- SÖDERHOLM, P., HILDINGSSON, R., JOHANSSON, B., KHAN, J., WILHELMSSON, F. (2011), « Governing the transition to low-carbon futures : a critical survey of energy scenarios for 2050 », *Futures*, 43, 1105-1116.
- THIEL, C., ALEMANN, A., SCARCELLA, G., ZUBARYEVA, A., PASAOGLU, G. (2012), « Attitude of European car drivers towards electric vehicles: a survey », JRC report.
- WAISMAN, H., GUIVARCH, C., GRAZI, F. HOURCADE, J.-C. (2012a), « The Imaclim-R model: infrastructures, technical inertia and the costs of low carbon futures under imperfect foresight », *Climatic Change*, 114(1).
- WAISMAN, H., GUIVARCH, C., LECOCQ, F. (2012b), « The transportation sector and low-carbon growth pathways », *Climate Policy*, vol. 13, n° 1, pp. 107-130.
- WHITMARSH, L., O'NEILL, S., LORENZONI, I. (2011), « Engaging the Public with Climate Change: Behaviour Change and Communication ». Earthscan, London.
- WILKINSON, A., EIDINOW, E. (2008), « Comparing scenarios for global environmental assessment with scenarios in organizational settings », *Environ. Res. Lett.*, 3 045017.
- ZAHAVI, Y., TALVITIE, A. (1980), « Regularities in Travel Time and Money Expenditures », *Transportation Research Record*, 750, pp. 13-19.
- VAN ASSELT, M., RIJKENS-KLOMP, N. (2002), « A Look in the Mirror: Reflection on Participation in Integrated Assessment from a Methodological Perspective », *Global Environmental Change*, vol. 12, n° 3, pp. 167-184.
- WILCOX, D. (2003), *The Guide to Effective Participation*. Brighton, Partnership Books.
- WOLSINK, M. (2012), « The research agenda on social acceptance of distributed generation in smart grids: Renewable as common pool resources », *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, n° 1, pp. 822-835.

ANNEXE

Liste des scénarios versés au débat énergie en 2013

Auteur	Nom complet	Description
negaWatt		Experts énergie promouvant le triptyque sobriété, efficacité énergétique et renouvelables, avec sortie du nucléaire
Global Chance		Association de scientifiques prônant la sortie du nucléaire et la mise en avant des stratégies de développement durable, notamment fondées sur l'efficacité énergétique, le recours aux ressources renouvelables et de nouvelles pratiques agricoles
Greenpeace		ONG environnementale
WWF	World Wild Fund	ONG environnementale
UFE	Union Française de l'électricité	Association professionnelle du secteur de l'électricité
negaTep		Association constituée principalement de retraités du CEA (Commissariat à l'Énergie Atomique)
RTE	Réseau de Transport de l'Électricité	Opérateur français de transport de l'électricité
GRDF	Gaz Réseau Distribution France	Compagnie de distribution du gaz, filiale à 100 % de GDF SUEZ
ANCRE	Alliance Nationale de Coordination de la Recherche en Énergie	Alliance créée par le CEA (Commissariat à l'Énergie Atomique), le CNRS (Centre National de Recherche Scientifique) et l'IFPEN (Institut Français des Pétroles et des Énergies Nouvelles)
Ademe	Agence de l'Environnement et la Maîtrise de l'Énergie	Établissement public à caractère industriel et commercial sous la tutelle des ministres chargés de la recherche, de l'écologie et de l'énergie. La mission de l'ADEME est de susciter, animer, coordonner, faciliter ou réaliser des opérations ayant pour objet la protection de l'environnement et la maîtrise de l'énergie
DGEC	Direction Générale de l'Énergie et du Climat	Direction d'administration centrale française intégrée au ministère de l'environnement
CIREN	Centre International de Recherche en Environnement et Développement	Centre de recherche public UMR du CNRS

Liste des parties prenantes ayant participé aux ateliers sectoriels

	Habitat	Transports	Électricité
Collectivités territoriales	Région Île-de-France		
Secteur privé, opérateurs, fédérations professionnelles	Fédération Française du Bâtiment (FFB) GDF Suez Saint-Gobain Énergies demain	SNCF Réseaux Ferrés de France (RFF) Valeo Électricité de France (EDF) Fédération Nationale des Transports Routiers (FNTR) Wiel Consultant	Union Française d'Électricité (UFE) Électricité Réseau Distribution France (ERDF) Électricité de France (EDF) Syndicat des Énergies Renouvelables (SER)
ONG	Comité de Liaison des Énergies Renouvelables (CLER)	Association négaWatt	Association négaWatt
Associations de consommateurs	Union des Syndicats de l'Immobilier (UNIS) Association des Responsables de Copropriétés (UNARC)	Fédération Nationale des Usagers de Transports (FNAUT)	
Secteur bancaire/financement	Groupe BPCE		Caisse des Dépôts et Consignation – climat
Syndicat		FNSEA (AGPM / AGPB et CGB)	Confédération Française Démocratique du Travail (CFDT)
Secteur public	ADEME Plan Urbanisme Construction Architecture (PUCA) de la Direction générale de l'Aménagement du Logement et de la Nature (DGALN / PUCA)		ADEME Direction Générale de l'Énergie et du Climat (DGEC)
Autres experts		Stéphane Labranche, sociologue, Université Grenoble Véronique Lamblin, Futuribles Marc Wielh, consultant	