



## Scénarios de transition énergétique pour la France : définir un espace de discussion pour le débat

Elie Bellevrat, Andreas Rüdinger, Michel Colombier, Emmanuel Guérin (Iddri)

### PROPOSER DES VISIONS MOBILISATRICES

L'élaboration d'un scénario n'est pas un exercice de prévision, mais d'exploration des futurs possibles. En tant qu'exercices chiffrés, les scénarios énergétiques permettent de traduire de manière quantitative différentes visions ou aspirations normatives. Ils « mettent en scène » les choix réalisés et assurent la cohérence de récits parfois très contrastés, permettant ainsi d'étudier la faisabilité et les impacts de ces « visions mobilisatrices » sur les plans technique, économique, social et environnemental. Enfin, ils permettent d'identifier les leviers d'action nécessaires pour la réalisation de ces visions, et des objectifs qui y sont associés, notamment en termes de politiques publiques.

### LA QUESTION DE L'INCERTITUDE, DÉFI MAJEUR POUR LA MODÉLISATION

En raison des incertitudes techniques, économiques et industrielles inhérentes aux différents horizons de temps visés, l'interprétation des bilans chiffrés (énergétiques, économiques, environnementaux) des scénarios est souvent complexe. Une attention particulière doit par conséquent être portée à la cohérence des récits et à la compréhension des hypothèses utilisées et de leurs effets structurants sur les scénarios. L'effort de transparence requis par un débat ouvert sur la transition énergétique doit donc permettre de mettre en lumière ces composants structurels des scénarios, ainsi que les avantages et limites des approches de modélisation utilisées, afin d'instruire au mieux la réflexion sur les choix politiques.

### CO-CONSTRUIRE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

Plus que les résultats, c'est le processus de co-construction ou de co-analyse des scénarios par les citoyens et par les experts qui importe dans le débat national sur la transition énergétique. Le travail de comparaison des scénarios existants est à ce titre particulièrement pertinent, puisqu'il permet d'identifier les implications techniques et économiques de différents choix politiques et d'élaborer de nouveaux outils d'évaluation, en développant notamment des normes de transparence et une grille d'analyse commune qui permettra à l'avenir d'évaluer plus facilement l'orientation et la richesse des nouveaux scénarios produits. À terme, l'élaboration d'un grand scénario participatif, co-construit par l'ensemble des parties prenantes, pourrait représenter l'une des décisions fortes de ce débat.

Copyright © 2013 IDDRI

En tant que fondation reconnue d'utilité publique, l'Iddri encourage, sous réserve de citation (référence bibliographique et/ou URL correspondante), la reproduction et la communication de ses contenus, à des fins personnelles, dans le cadre de recherches ou à des fins pédagogiques. Toute utilisation commerciale (en version imprimée ou électronique) est toutefois interdite.

Sauf mention contraire, les opinions, interprétations et conclusions exprimées sont celles de leurs auteurs, et n'engagent pas nécessairement l'Iddri en tant qu'institution.

Citation: Bellevrat, E, Rüdinger, A., Colombier, M., Guérin, E. (2013), *Scénarios de transition énergétique pour la France : définir un espace de discussion pour le débat*, Working Papers n°09/13, Iddri, Paris, France, 16 p.

Ce travail a bénéficié d'une aide de l'État gérée par l'Agence nationale de la recherche au titre du programme « Investissements d'avenir » portant la référence ANR-10-LABX-01.



Pour toute question sur cette publication, merci de contacter les auteurs :

Andreas Rüdinger — [andreas.rudinger@iddri.org](mailto:andreas.rudinger@iddri.org)

Michel Colombier — [michel.colombier@iddri.org](mailto:michel.colombier@iddri.org)

Emmanuel Guérin — [emmanuel.guerin@iddri.org](mailto:emmanuel.guerin@iddri.org)

ISSN 2258-7071

# Scénarios de transition énergétique pour la France : définir un espace de discussion pour le débat

Elie Bellevrat, Andreas Rüdinger,  
Michel Colombier, Emmanuel Guérin (Iddri)

---

<b>INTRODUCTION</b>	<b>4</b>
<b>1. QU'APPELLE-T-ON DES SCÉNARIOS ÉNERGÉTIQUES ?</b>	<b>5</b>
1.1. Des outils d'exploration du futur et d'aide à la décision	5
1.2. Des représentations incertaines et « sous contraintes »	6
1.3. Le temps comme variable clé des modèles et scénarios	7
<b>2. QUE PEUVENT FAIRE LES SCÉNARIOS ÉNERGÉTIQUES ?</b>	<b>8</b>
2.1. Comprendre les capacités et les limites des modèles est essentiel pour bien les utiliser	8
2.2. Les résultats chiffrés sont moins utiles que la bonne compréhension des hypothèses et mécanismes sous-jacents	10
<b>3. COMMENT UTILISER DES SCÉNARIOS ÉNERGÉTIQUES DANS UN DÉBAT ?</b>	<b>11</b>
3.1. L'utilisation des scénarios dans les débats sur la politique énergétique française	11
3.2. Les scénarios permettent d'identifier et analyser les choix possibles de façon structurée et dans la concertation	12
3.3. Faut-il utiliser les scénarios existants ou en produire de nouveaux dans le cadre d'un débat ?	13
<b>CONCLUSION</b>	<b>13</b>

## INTRODUCTION

« *Demain est moins à découvrir qu'à inventer* ».  
Gaston Berger, fondateur de l'école française de la prospective (Gaston Berger, *Phénoménologie du temps et prospective*, PUF, 1964)

Répondre aux enjeux de la transition énergétique nécessite d'élaborer des visions prospectives de nos systèmes énergétiques, à la fois cohérentes au regard de la triple crise (économique, environnementale et énergétique) que nous vivons actuellement et suffisamment ambitieuses pour permettre d'en sortir. Dans le cadre du débat sur la transition énergétique, les scénarios énergétiques sont utiles pour mieux identifier les options ouvertes et en analyser les implications techniques, économiques, environnementales, sociétales ou encore géopolitiques sur différents horizons de temps. Ce faisant, les scénarios doivent nous aider à définir les leviers politiques et choix sociétaux majeurs qui permettront d'amorcer au plus tôt la transition énergétique.

Tout l'enjeu d'un grand débat national sur la transition énergétique est de faire dialoguer des

citoyens, porteurs d'aspirations pour le futur, entre eux et avec des experts de la question énergétique. Les citoyens développent principalement des visions qualitatives d'un monde idéal et souhaité, alors que les experts mobilisent des outils d'analyse le plus souvent quantifiés, servant à objectiver les questions posées et à évaluer l'impact des différentes options envisagées. Les scénarios concentrent donc très souvent les antagonismes qui peuvent apparaître entre les deux groupes : les premiers critiquant le conservatisme et le manque de vision des seconds, et les seconds critiquant l'idéalisme et le manque de raison des premiers.

Les scénarios peuvent cependant être de puissants instruments pédagogiques et de dialogues entre citoyens et experts, mais aussi entre groupes de citoyens et au sein de la communauté des experts.

Ce *Working Paper* clarifie la contribution possible des scénarios énergétique au débat, ce qu'ils nous disent et comment les utiliser. Quelques exemples des grands choix que les scénarios énergétiques permettront aux citoyens d'aborder et de débattre, sur la base de scénarios existants, servent à illustrer le propos.

## 1. QU'APPELLE-T-ON DES SCÉNARIOS ÉNERGÉTIQUES ?

### 1.1. Des outils d'exploration du futur et d'aide à la décision

Un scénario énergétique donne une représentation possible du futur et décrit une histoire du devenir du système énergétique, de l'économie, voire de la société dans son ensemble, sur une géographie donnée, qui peut être régionale, nationale ou internationale. Cela recouvre, selon les cas, l'évolution des styles de vie et des aspirations sociétales, les perspectives de croissance économique, les progrès technologiques, la disponibilité des ressources, la nature et le fonctionnement des institutions.

L'élaboration d'un scénario n'est donc pas un exercice de prévision. Au contraire, celui-ci reste un outil d'exploration et d'analyse des futurs possibles.

En tant qu'exercices chiffrés, les scénarios énergétiques permettent alors de traduire de manière quantitative différentes visions ou aspirations normatives : ils « mettent en scène » les choix réalisés et assurent la cohérence de récits parfois très contrastés. Ils permettent ainsi d'étudier la faisabilité et les impacts de ces « visions mobilisatrices » sur les plans technique, économique, social et environnemental. Enfin, ils permettent d'identifier les leviers d'action nécessaires pour la réalisation de ces visions, et des objectifs qui y sont associés, notamment en termes de politiques publiques.

### Le projet PACT<sup>1</sup> : les trajectoires de transition pour l'Europe

Le projet de recherche *Pathways for Carbon Transitions* (PACT) donne une bonne illustration de l'articulation entre visions et scénarios. Ce projet vise à comparer les implications économiques, sociales et environnementales de différentes trajectoires de décarbonation pour l'Europe, fondées sur des visions divergentes de la mise en œuvre de ce processus de transition :

**Le scénario « Spacecraft »** représente une transition mise en œuvre de manière volontariste et coordonnée au niveau mondial, dans une approche *top-down*, c'est-à-dire gérée par les pouvoirs politiques centralisés et les grands acteurs industriels. Les valeurs sous-jacentes de cette vision sont la croissance économique « verte » et les innovations technologiques.

**Le scénario « Smartphone »** décrit une transition mise en œuvre par le bas, dans laquelle les acteurs locaux et la société civile jouent un rôle majeur dans la transformation de l'économie et du système énergétique. Cette vision adopte un cadre « post-croissance » où le bien-être remplace la richesse et l'innovation est autant organisationnelle et comportementale que technologique.

**Le scénario « Hard way »** désigne une transition subie, soit une transformation peu coordonnée, en réaction à des crises (raréfaction des ressources, changement climatique) de plus en plus virulentes. La valeur ajoutée de ces trois scénarios réside dans leur capacité à explorer des trajectoires différenciées pour atteindre un même objectif de décarbonation. Ce faisant, ils illustrent les différents leviers d'action de la transition et leurs implications respectives dans une analyse multidimensionnelle.

1. Site web du projet de recherche : <http://www.pact-carbon-transition.org>

## 1.2. Des représentations incertaines et « sous contraintes »

Le future est incertain et par définition soumis à de nombreuses contraintes en devenir :

- **Les incertitudes** sont d'ordre technique<sup>1</sup>, économique (quelle évolution des coûts pour les différentes sources d'énergie ?), industriel (quelle organisation au niveau domestique et international ?), sociétal (quels modes de vie ?), géopolitiques (quelle place pour la France dans le monde et au sein de l'Europe ?). Ces incertitudes dépassent souvent le cadre national *stricto sensu* et peuvent concerner les prix mondiaux des ressources, la santé de l'économie mondiale et les décisions politiques prises au niveau européen.
- **Les contraintes** sont d'ordre physique (raréfaction des matières premières), économique (moyens limités), technique (limites issues des grandes lois physiques) et environnemental (réduction des émissions de CO<sub>2</sub>).

Par construction, un scénario est donc très dépendant de l'ensemble des hypothèses prises quant à l'évolution de paramètres qui ne sont pas ou peu maîtrisés aujourd'hui. Il sera donc toujours extrêmement incertain, et ne testera qu'une possibilité parmi d'autres.

Le fait même qu'un scénario « se trompe » est donc tout à fait naturel. Il faudrait plutôt s'inquiéter des modélisateurs convaincus de prévoir ce qui va se passer réellement, plutôt que par ceux qui admettent les restrictions et incertitudes liées aux résultats d'un scénario donné.

### Exemple : l'incertitude autour des hypothèses structurantes dans les scénarios

Pour tout exercice de modélisation, la définition des hypothèses exogènes représente un exercice délicat. Ces hypothèses peuvent avoir un effet structurant sur les résultats du modèle, sans que cet effet soit toujours mis en lumière par une analyse de sensibilité. Prenons deux exemples : la croissance économique et l'évolution des coûts des différentes sources d'énergie.

En raison de la corrélation établie entre l'activité économique et les besoins énergétiques, les hypothèses prises sur la croissance économique peuvent avoir un effet déterminant sur la demande énergétique future. Ainsi, en l'absence de mesures fortes pour améliorer substantiellement l'intensité énergétique, toute croissance du PIB entraîne une hausse de

la consommation énergétique<sup>2</sup>. À titre d'exemple, à un taux de croissance régulier de 2 %, le PIB double en 35 ans, à 4 %, en 18 ans. Les hypothèses prises sur la croissance future et sur la capacité à découpler l'économie et la consommation énergétique à travers des mesures d'efficacité énergétique ont donc un effet déterminant sur les résultats en termes de consommation énergétique future.

Les hypothèses de coût des différentes sources d'énergie et leur évolution dans le temps constituent une autre variable clé pour évaluer la faisabilité économique des scénarios. Deux facteurs font généralement l'objet d'appréciation différentes entre scénarios : d'une part, l'évolution des coûts des énergies fossiles ; et, d'autre part, le rythme de réduction des coûts par effet d'apprentissage pour les nouvelles technologies de l'énergie (essentiellement énergies renouvelables). À titre d'exemple, aucun scénario n'a pu prévoir la chute rapide des coûts du photovoltaïque et, dans certains scénarios « récents », son coût de production en 2050 reste plus élevé que le coût réel constaté en 2012<sup>3</sup>.

Les analyses de sensibilité constituent alors un instrument de choix pour mieux prendre en compte cette incertitude. Elles permettent de nous informer sur la résilience et la flexibilité d'un scénario défini à l'égard d'une modification d'une ou de plusieurs de ses hypothèses centrales, et peuvent donc informer le débat sur la robustesse des trajectoires<sup>4</sup>. Il faut cependant noter que dans la majorité des cas, ces analyses de sensibilité portent uniquement sur une variation limitée des hypothèses économiques (évolution du coût du carbone, des ressources fossiles, etc.), sans prendre en compte d'autres facteurs de risque.

Enfin, le degré d'opérationnalisation, c'est-à-dire le niveau de représentation des mécanismes politiques et économiques qui permettent de réduire l'incertitude autour d'une hypothèse donnée constitue un autre facteur de différenciation entre scénarios. Certains scénarios modélisent ainsi explicitement les leviers d'action qui lui permettent d'arriver à un résultat donné, alors que d'autres se restreignent à une approche par les objectifs, sans définition des moyens.

1. Les incertitudes techniques concernent essentiellement la réalisation, le rythme et le coût de grandes innovations technologiques. Par exemple, le développement plus ou moins rapide et le coût des technologies de capture et stockage du CO<sub>2</sub> (CCS) constituent des facteurs de différenciation majeurs entre scénarios.

2. Cette corrélation est de moins en moins vraie pour les pays industrialisés, où l'amélioration de l'intensité énergétique permet en grande partie de compenser l'effet de la croissance économique. Elle reste cependant toujours assez marquée à l'échelle mondiale.

3. Sur le cas du photovoltaïque, voir par exemple l'étude de comparaison de scénarios européens réalisée par Öko-Institut et Wuppertal-Institute (2012) : [http://www.sefep.eu/activities/projects-studies/2012-07-11\\_Metastudy\\_Presentation\\_Slides.pdf](http://www.sefep.eu/activities/projects-studies/2012-07-11_Metastudy_Presentation_Slides.pdf)

4. À titre d'exemple, le *think tank* anglais E3G a réalisé un exercice de modélisation sur la décarbonation du système énergétique anglais qui met la question de la résilience à l'égard de différents facteurs de risque au centre de l'analyse : Zorlu, P. et al. (2012). *Risk managing power sector decarbonisation in the UK*.

### Exemple : la représentation du rythme de rénovation thermique des bâtiments

Avec plus de 40 % de la consommation d'énergie, les bâtiments constituent un gisement majeur d'économies d'énergie et de réduction d'émissions de CO<sub>2</sub>. Or, en fonction de l'approche choisie, ce potentiel d'efficacité n'est pas mobilisé de la même manière dans les différents scénarios, principalement en raison d'hypothèses divergentes sur les coûts de rénovation et l'efficacité des politiques mises en œuvre, qui sont autant de facteurs d'incertitude :

- La variante « *Avec mesures supplémentaires - objectifs* » du scénario DGEC (2011) retient ainsi l'hypothèse d'une réalisation des objectifs du Grenelle de l'environnement (et notamment la réduction de 38 % des consommations d'énergie sur le parc existant d'ici 2020), sans préciser les mécanismes mis en œuvre pour y parvenir<sup>5</sup>. Au-delà de 2020, le scénario représente un arrêt des politiques de soutien dédiés, avec une consommation d'énergie en hausse pour le secteur du bâtiment.

- Le scénario NegaWatt couple une approche technique, fondée sur une modélisation *bottom-up* des gisements, avec une approche de résultat (niveau de performance après travaux, montée en puissance progressive à 750 000 rénovations annuelles en 2030), sans prise en compte des paramètres économiques.

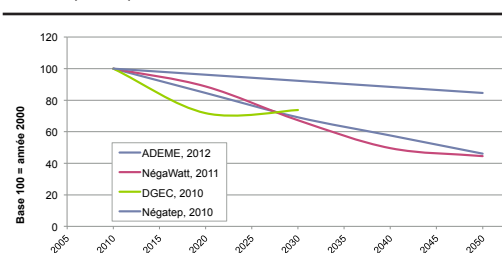
- Le scénario ADEME (2012) couple également une approche technique avec une approche par les moyens (répartition des rénovations selon les types de bâtiments, solutions techniques mises en œuvre, réduction de la consommation de 45 % en moyenne) pour atteindre l'objectif de 500 000 rénovations par an.

- Le scénario Négatep met en œuvre une approche économique différente, consistant à favoriser les rénovations diffuses à moindre coût et des solutions techniques alternatives (généralisation du chauffage électrique en appoint des énergies renouvelables pour les 2/3 des logements aujourd'hui chauffés au gaz et au fioul).

Ces scénarios contrastés sur les potentiels de rénovation du bâtiment résidentiel existant, et les moyens qui peuvent répondre aux enjeux, aboutissent à des estimations de demande et des variations dans le temps très différentes. Les trajectoires sont plus ou moins ambitieuses, et l'exploitation du gisement plus ou moins rapide.

5. Le scénario AME prend en compte les objectifs de rénovation et obligations des acteurs de la Loi Grenelle (LGI), l'État et les collectivités, notamment concernant logements sociaux, ainsi que les mesures incitatives crédit d'impôts développement durable (CIDD) et Eco-PTZ. Ce qui revient à extrapoler les tendances historiques observées et donc ne pas vraiment réaliser des programmes de rénovation d'envergure. Le scénario AMS Mesures fait l'hypothèse de l'application de la LG2, et d'un effet renforcé des mesures d'incitation.

Figure 1. Évolution de la demande énergétique résidentielle dans 4 scénarios contrastés pour la France (index)



Source : Auteurs.

### 1.3. Le temps comme variable clé des modèles et scénarios

Les différentes approches de modélisation disponibles (cf. Tableau 1) correspondent généralement à des horizons de temps différents, et par conséquent à des niveaux d'incertitude croissant en fonction de l'éloignement de l'horizon de temps final considéré.

Pour chaque horizon de temps considéré, un modèle teste la cohérence de la vision décrite (dans la limite de sa capacité de représentation) et sa capacité à répondre aux objectifs recherchés : par exemple, le facteur 4 en France à l'horizon 2050 (réduction de 75 % les émissions de gaz à effet de serre (GES) par rapport à 1990), l'annonce de porter à 50 % le part du nucléaire dans le mix électrique en 2025 (cf. section 3), ou l'augmentation de la part des énergies renouvelables à 23 % de la consommation finale en 2020.

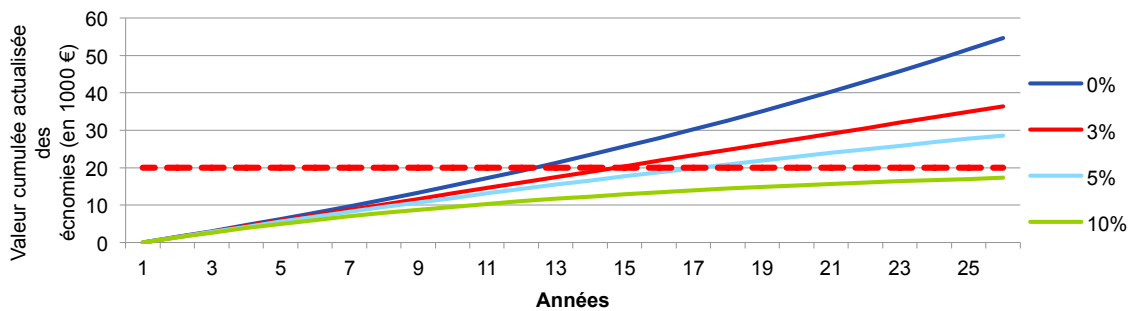
Au-delà de sa capacité à représenter l'état « statique » du système énergétique à un horizon donné (2020 ou 2050 par exemple), la valeur ajoutée des scénarios réside dans leur capacité à représenter des processus de changement, et donc à évaluer la cohérence « dynamique » entre les choix de court et long termes. De ce fait, les scénarios permettent d'explorer la nature et le rythme des innovations techniques, organisationnelles et sociales à opérer dans le temps pour atteindre un objectif donné.

Cette mise en cohérence apparaît également comme un élément central en raison des temporalités très variables du système énergétique et des nombreuses inerties qu'il intègre<sup>6</sup>. Ainsi, des choix de court terme (la construction d'une centrale

6. L'inertie du système énergétique s'explique principalement par la durée de vie des infrastructures de production (30 à 40 ans) et de consommation (essentiellement le parc de bâtiments, mais également les infrastructures de transport). L'idée d'une transition exige par conséquent une planification sur un horizon de temps suffisamment long pour mettre en œuvre ces transformations dans les différents secteurs.



**Figure 2.** Impact du taux d'actualisation sur la rentabilité des investissements de rénovation énergétique



Source : Auteurs.

électrique, ou encore d'une autoroute) peuvent avoir un impact déterminant sur plusieurs décennies et produire des effets de verrouillage (*lock-in*) qui limitent considérablement la capacité d'adaptation par la suite.

**Exemple : la représentation de la préférence pour le présent à travers le taux d'actualisation**

La variable temps est souvent représentée dans les modèles économiques à travers la notion du taux d'actualisation, visant à traduire la préférence pour le présent des agents économiques autour du principe qu'un euro perçu aujourd'hui vaut plus qu'un euro perçu dans plusieurs années. Ce taux peut également varier selon les acteurs, en fonction de la perception du risque qui leur est attribuée<sup>7</sup>. De manière générale, un taux d'actualisation élevé défavorise les investissements de long terme en attribuant une valeur faible aux bénéfices et aux coûts futurs. Par définition, cette logique va donc à l'encontre de la logique de rentabilité sous-jacente à la majorité des investissements de la transition énergétique, qui visent justement à déclencher des investissements importants à court terme pour générer des bénéfices croissants en raison de la hausse du coût de l'énergie. Le taux d'actualisation permet donc d'intégrer la « myopie » des agents économiques face aux décisions à prendre sur le long terme, mais conduit également à sous-estimer les risques futurs contre lesquels la transition énergétique doit nous prémunir.

La Figure 2 permet de visualiser l'impact du taux d'actualisation. Celui-ci représente un investissement dans la rénovation énergétique de 20 000 euros, qui permet de réduire la facture annuelle de 1 500 euros<sup>8</sup>.

7. Dans un exercice récent de modélisation des politiques d'efficacité énergétique, Giraudet *et al.* (2011) appliquent ainsi des taux d'actualisation variant entre 7 % et 40 % pour représenter la propension des différentes catégories (propriétaires-occupants, bailleurs) à faire des travaux. Giraudet *et al.* (2011). *Évaluation des mesures du Grenelle de l'environnement sur le parc de logements français*.

8. Le calcul intègre également une hausse du prix de

En fonction du taux d'actualisation retenu, le temps de retour sur investissement varie alors entre 12 (0 %) et plus de 25 ans (10 %).

**2. QUE PEUVENT FAIRE LES SCÉNARIOS ÉNERGÉTIQUES ?**

**2.1. Comprendre les capacités et les limites des modèles est essentiel pour bien les utiliser**

L'usage des modèles permet de couvrir deux fonctions principales : représenter dans une vision quantifiée et détaillée un bilan énergétique et économique à différents horizons de temps, et assurer que cette projection soit cohérente avec des règles (équilibre physique, thermodynamique, économique, voire comportemental) et des contraintes prédéfinies (émissions de CO<sub>2</sub>, indépendance énergétique, etc.).

Différents outils de modélisation peuvent être mobilisés en fonction des objectifs recherchés (cf. Tableau 1). Les scénarios normatifs se construisent en fonction d'objectifs définis et visent à construire une ou plusieurs trajectoires possibles pour y parvenir. Les modèles technico-économiques avec une représentation sectorielle (*bottom-up*) permettent d'identifier et de mesurer les potentiels de réduction d'émissions dans différents secteurs, que ce soit au niveau de la demande d'énergie (bâtiments, transport et industrie) ou de l'offre énergétique, ce qui donne une première idée des priorités politiques à mettre en œuvre<sup>9</sup>. Les modèles d'optimisation permettent de poursuivre

l'énergie (et donc des gains réalisés) de 3 % par an.

9. La majorité des scénarios disponibles démontrent par exemple que l'efficacité énergétique au niveau de la demande constitue le premier gisement de réduction des émissions de CO<sub>2</sub>, que ce soit en termes de potentiel technique ou de coûts.



**Tableau 1.** La variété des approches par la modélisation est utile pour répondre à différentes questions

Types de modèles	Approche	Types de scénarios	Périmètre (énergie / économie)	Question centrale à laquelle le modèle permet de répondre
Comptable / Technique	Bottom-up	Exploratoire / Normatif	demande	Estimation de potentiels, mesure d'impacts des Politiques et Mesures (P&M)
Technico-économique	Simulation (Bottom-up)	Exploratoire / Normatif	offre/demande	Fondamentaux du secteur énergétique, éventuellement sous contraintes (y.c. P&M)
Optimisation	Optimisation (Bottom-up)	Optimisation	offre	Trajectoire optimale selon critère économique (coût)
Équilibre général	Top-down	Exploratoire / Normatif	macro	Fondamentaux économiques, éventuellement sous contraintes (y.c. P&M)
Macro-économétrique	Top-down	Prédictif / Extrapolation	macro	Évolution de la conjoncture, étude d'impacts économiques
Hybride	Hybride	Exploratoire / Normatif	macro + offre/demande	Interactions énergie-économie, éventuellement sous contraintes (y.c. P&M)

Source : Auteurs.

cette logique sur un plan économique, en identifiant les mesures prioritaires selon le critère du coût.<sup>10</sup> Enfin, des modèles plus agrégés (*top-down*) permettent d'évaluer les effets d'interaction entre secteurs afin d'évaluer l'impact d'une trajectoire donnée sur l'ensemble du système. Dans d'autres contextes, les scénarios prédictifs sont mobilisés pour donner une image relativement fidèle du système économique à un horizon de temps plus court.

Aucun type de modèle ne peut *a priori* être considéré comme le meilleur, chacun ayant ses avantages et ses limites. L'intérêt consiste donc à combiner les différents types d'approches dans une logique de complémentarité, afin de disposer d'un maximum d'informations pour l'élaboration des politiques. On rencontre par ailleurs de plus en plus de modèles hybrides qui ont pour vocation d'interconnecter les différentes approches, notamment en fournissant une représentation systémique des mécanismes intervenant entre les échelles micro et macro et entre les systèmes énergétiques et économiques. Les modèles peuvent ainsi être des outils de révélation de mécanismes ignorés au premier abord.

Malgré leur complexité apparente, les modèles ne peuvent fournir qu'une interprétation simplifiée des mécanismes réellement opérants. Les leviers d'action identifiés ne peuvent donc être considérés comme des liens déterministes, mais fournissent néanmoins des précisions utiles pour l'élaboration des politiques.

10. La sélection des hypothèses de coût de différentes options d'abattement a par nature un impact considérable sur les résultats, et doit à ce titre faire l'objet d'une attention particulière et requiert des analyses de sensibilité.

### Exemple : l'utilisation de modèles pour la définition des politiques d'efficacité énergétique

Dans un premier temps, différents outils de modélisation peuvent être mobilisés pour identifier le potentiel maximal de réduction de la demande en fonction de différents secteurs et d'hypothèses sur les tendances macro (démographie, croissance économique, etc.). En fonction des priorités retenues (comme la rénovation thermique des bâtiments par exemple), les outils de modélisation bottom-up peuvent être utilisés pour évaluer l'impact de différents instruments politiques envisageables, en termes d'efficacité (exploitation du potentiel existant) et d'efficacité économique<sup>11</sup>. Enfin, une modélisation intégrant le cadre macro-économique permet d'analyser l'impact d'un programme de rénovation massif sur les comptes publics et l'économie dans son ensemble, en évaluant les multiples effets d'interaction et leurs impacts en termes d'emplois, de recettes fiscales et d'importations d'énergie évitées<sup>12</sup>. Dans le cas de l'Allemagne, la modélisation des impacts macroéconomiques du programme de financement des rénovations énergétiques a ainsi produit des résultats surprenants<sup>13</sup>. Grâce à un effet de levier important (pour 1 euro de fonds publics, le programme permet de déclencher 11 euros d'investissements), ce programme permet en effet aux pouvoirs publics de récupérer entre 2 et 5 euros sur chaque euro investi, à travers les impôts et taxes sur l'activité générée<sup>14</sup>.

11. Ceux-ci peuvent intégrer des instruments d'incitation (crédits préférentiels, subventions) et réglementaires (renforcement de la réglementation thermique, mise en œuvre d'une obligation de rénovation progressive dans le temps, etc.).

12. Une telle étude sur les impacts macroéconomiques d'un programme d'aide à la rénovation thermique a notamment été réalisée en Allemagne.

13. Pour une description détaillée de la méthode utilisée, voir Kronenberg *et al.* (2012). *Macroeconomic Effects of the German Government's Building Rehabilitation Program*. <http://mpr.ub.uni-muenchen.de/38815>

14. Rüdinger, A. (2013). *La rénovation thermique des bâtiments en France et en Allemagne : quels enseignements pour le débat sur la transition énergétique ?*, Iddri, Working Papers n°07/13, Paris, France, 14 p.

Une différence fondamentale existe entre les modèles énergétiques (type comptable, technico-économique, d'optimisation) et les modèles économiques (type équilibre général, macro-économétrique, voire hybride). Les premiers sont basés sur des quantités physiques liées par des équations qui la plupart du temps ne font pas débat, tandis que les seconds sont dérivés d'une théorie sous-jacente, porteuse d'une vision de ce qu'est l'économie et comment elle fonctionne. Il est donc difficile de mettre tout le monde d'accord sur des résultats de modèles économiques purs (par exemple sur les dynamiques de l'emploi dans l'avenir, la croissance future ou les impacts sectoriels sur le long-terme, etc.) et donc sur les recommandations à en tirer en termes de politiques publiques. Pour les modèles économiques, la bonne compréhension des hypothèses et des mécanismes appliqués apparaît donc essentielle.

## 2.2. Les résultats chiffrés sont moins utiles que la bonne compréhension des hypothèses et mécanismes sous-jacents

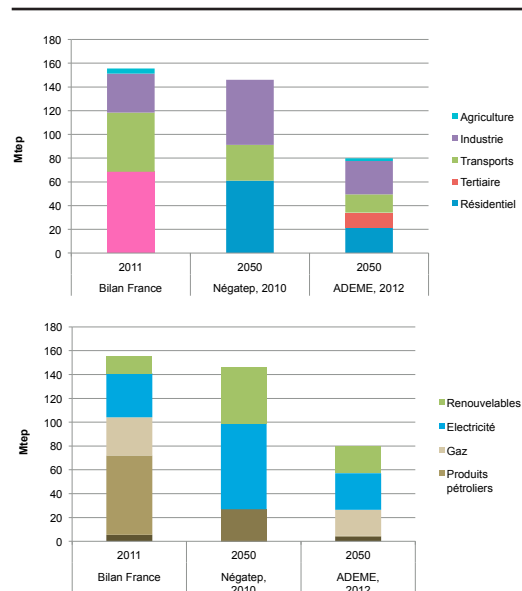
Compte tenu des incertitudes techniques, économiques et industrielles, les valeurs obtenues à partir des modèles ne sont pas toujours suffisamment discriminantes pour guider les choix politiques.

Au-delà d'une comparaison des bilans chiffrés (énergétiques, économiques, environnementaux) résultants des modèles, une attention particulière doit par conséquent être portée à la cohérence des histoires, la façon donc les mécanismes et interactions sont représentées, et la compréhension des avantages et limites de l'approche de modélisation utilisée. Un scénario ne peut-être déchiffré et finalement utile que par une bonne compréhension de ses hypothèses sous-jacentes, notamment celles concernant le contexte « exogène » du scénario.

Le fait d'obtenir un résultat chiffré avec un modèle ne peut en soi pas servir de preuve à une quelconque thèse. En revanche, le fait de déchiffrer un résultat en analysant ses implications et les conditions nécessaires pour l'atteindre peut s'avérer être une contribution substantielle au débat.

### Exemple : qu'y a-t-il derrière une projection du système énergétique à l'horizon 2050 ?

Figure 3. Comparaison de la demande d'énergie finale projetée en 2050, par secteur (figure du haut) et par énergie (figure du bas), dans deux scénarios récents pour la France (en Mtep)



Source : Auteurs.

La diversité des scénarios existants pour la France reflètent des visions très contrastées des systèmes énergétiques possibles à l'horizon 2050. Le scénario Négatep mise par exemple sur une relative stabilisation<sup>15</sup> de la consommation énergétique totale entre 2011 et 2050, tout en opérant un transfert de la consommation énergétique, principalement entre les secteurs Industrie (+ 40 %) et Transports (- 40 %). Ce scénario mise sur une électrification massive (50 % de la consommation d'énergie finale, contre 24 % actuellement), portée essentiellement par un accroissement de la production électronucléaire (+ 60 %, 645 TWh en 2050) pour réduire la dépendance aux énergies fossiles.

Le scénario ADEME 2012 prévoit au contraire une très forte réduction de la demande énergétique finale (- 48 % entre 2010 et 2050), à partir d'une politique de maîtrise de la demande énergétique ambitieuse dans tous les secteurs. L'impact des mesures d'efficacité énergétique permet également de jouer sur le vecteur de l'électrification (38 % contre 24 % aujourd'hui), tout en diminuant la consommation d'électricité en valeur absolue (347 TWh contre 420 TWh en 2011). Autre élément notable : le scénario vise une

15. Cette stabilisation s'explique par l'absence de mesures d'efficacité énergétique fortes dans ce scénario. Les gains d'efficacité obtenus au niveau de la demande sont compensés par une augmentation des besoins (augmentation de la surface habitable, de la population, etc.) et des usages.

substitution totale du pétrole dans les transports, en jouant sur un report modal (du véhicule individuel vers l'autopartage et les transports collectifs) et la complémentarité entre vecteurs énergétiques<sup>16</sup>.

### 3. COMMENT UTILISER DES SCÉNARIOS ÉNERGÉTIQUES DANS UN DÉBAT ?

#### 3.1. L'utilisation des scénarios dans les débats sur la politique énergétique française

La France a une grande tradition de la prospective à des fins de planification de son économie sur le long terme. Initiée avec Gaston Berger et Bertrand de Jouvenel à la fin des années 1950, et tout d'abord au service du Commissariat général du Plan (Plan), les méthodes de la prospective appliquée à l'énergie, et l'usage de scénarios en particulier, sont désormais couramment à la base des travaux menés par le Centre d'analyse stratégique (CAS, depuis 2006).

##### Exemple : les scénarios de demande à la base du développement du parc nucléaire

Dès le début des années 1960, la commission consultative pour la production d'électricité d'origine nucléaire (PEON)<sup>17</sup> a élaboré des scénarios prévisionnels pour l'évolution de la consommation d'électricité en France, servant de base au développement du parc électronucléaire. En se fondant sur le rythme de croissance de la consommation dans les années 1960, ces exercices de prospective aboutissaient dès

1973 à une estimation des besoins pour l'année 2000 proche du double de la consommation constatée, misant notamment sur une électrification plus massive en remplacement des usages de produits pétroliers après la crise de 1973.

Les processus de concertation avec l'ensemble des parties prenantes, pilotés par le Plan puis le CAS, ont en général créé les conditions d'un « mini débat énergie », faisant tout l'intérêt de la démarche. Les précédents débats sur l'énergie en France (débat Énergie «Souviron» en 1995, débat Énergie «Besson» en 2003, ayant abouti à la loi de programme fixant les orientations de la politique énergétique en 2005, débats publics sur le nucléaire en 2006 par exemple) ont aussi largement mobilisé des scénarios énergétiques dans un but d'encadrement des discussions.

Focalisés sur les conséquences énergétiques des évolutions économiques, puis sociétales à la fin des années 90, les scénarios se concentrent ensuite sur l'analyse des stratégies de réduction de GES à partir du milieu des années 2000. Suite à l'accident de Fukushima, les exercices récents ont été plus spécifiquement tournés vers les implications des choix relatifs à la filière nucléaire en France.

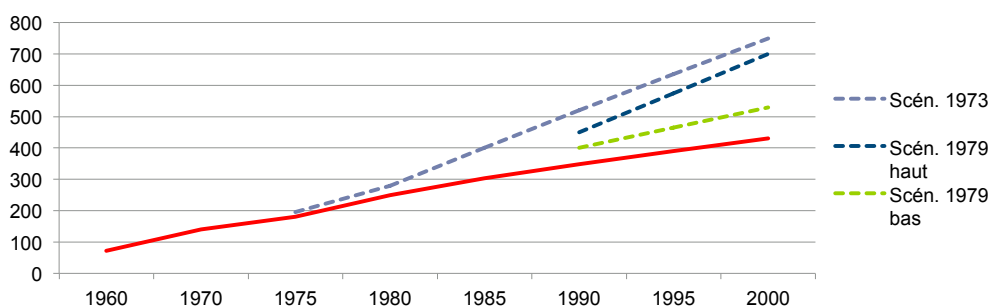
Certaines commissions ou débats font appel à des scénarios originaux (rapports du CAS « Valeur tutélaire du carbone », « Trajectoires 2020-2050 », etc.), mais se concentrent sur certains aspects uniquement, et perdent donc leur valeur « holistique » de concertation sur l'avenir des systèmes énergétique et sur toutes les questions socio-économiques qui en découlent. D'autres exercices prospectifs ne font qu'utiliser des scénarios existants, et en font la synthèse (Groupe Facteur 4, Commission Besson « Énergies 2050 », etc.).

Si les scénarios ont longtemps été un outil réservé aux experts, on perçoit aujourd'hui une certaine démocratisation de ce type d'exercice, comme en témoigne la multiplication des exercices dans le débat français. Autre exemple plus poussé de cette

16. Notamment l'hydrogène produit à partir d'électricité renouvelable, de gaz naturel et issu de la méthanisation et biocarburants.

17. La commission PEON regroupait les organismes publics en charge du nucléaire (secrétaire général de l'énergie, CEA, commissaire général au Plan) et les industriels de la filière.

Figure 4. Prévisions de la commission PEON et bilan des consommations d'électricité en France (TWh)



Les données du graphique ci-dessus proviennent du rapport produit par le groupe de travail « Cycle nucléaire » dans le cadre de l'Étude économique prospective de la filière nucléaire (Charpin, J-M./ Dessus, B./ Pellat, R., 2000). Source : Girard *et al.*, 2000

démocratisation, la Grande-Bretagne a mis en place un outil interactif, permettant à tous les citoyens de « simuler » les conséquences de différentes décisions politiques sur le mix énergétique et l'atteinte des objectifs climatiques, afin de favoriser l'appropriation des enjeux et des questions d'interdépendance (entre l'offre et la demande, les décisions à court et long terme) auprès du grand public<sup>18</sup>.

Les scénarios peuvent donc être une source d'interrogation et favoriser par ce biais l'appropriation des questions abordés par le grand public, afin de contribuer à la démocratisation des débats sur l'énergie.

### 3.2. Les scénarios permettent d'identifier et analyser les choix possibles de façon structurée et dans la concertation

Les scénarios doivent permettre d'identifier et d'éclairer les différentes options ouvertes dans le cadre du débat, en particulier en ce qui concerne leurs conditions de réalisation et leurs conséquences sur le système énergétique et dans l'économie et la société en général (implications techniques et économiques de différents choix politiques).

Sans qu'ils apportent une réponse définitive, les scénarios permettent d'instruire des questions politiques plus larges sur la politique énergétique, comme par exemple :

- Y a-t-il une cohabitation possible entre une vision centralisée (nucléaire ou renouvelables centralisées) et une vision décentralisée (renouvelables décentralisées) ? Quelles sont les conséquences industrielles de ces visions contrastées sur l'équilibrage offre-demande et sur l'évolution des réseaux ?
- Quel potentiel pour la sobriété énergétique ? Quels leviers possibles pour initier ces modifications comportementales (modes de vie, incitations économiques/fiscales, aménagement du territoire, etc.), au-delà des leviers purement techniques ?
- Quelle est la résilience de différentes trajectoires vis-à-vis de chocs exogènes ?

### Exemple : comment mobiliser des scénarios dans le cadre de l'annonce de 50 % de nucléaire dans le mix électrique à l'horizon 2025 ?

L'annonce de réduire à 50 % la part du nucléaire dans la production électrique en 2025 est loin de clore le débat possible sur le système électrique. En outre, la discussion sur la part du nucléaire ne peut se mener en déconnexion des hypothèses sur la demande énergétique et de l'évolution des mesures d'efficacité énergétique.

Dans ce contexte, les scénarios permettent d'explorer les trajectoires et équilibres énergétiques possibles pour atteindre cet objectif, ainsi que les implications en termes de politiques publiques.

L'intervalle le plus large possible pour la demande finale d'électricité à l'horizon 2025, tel qu'estimé par l'ensemble des scénarios récents, est compris entre 380 TWh (NégaWatt) et 565 TWh (Négatep)<sup>19</sup>. La production domestique nécessaire sur le territoire français pour satisfaire ce besoin oscille entre 435 TWh et 675 TWh, une fois les pertes et les exportations éventuelles prises en compte. Réduire à 50 % la part du nucléaire en 2025 signifierait donc passer de 58 à 40 réacteurs en fonctionnement (ou à une capacité de 48 GW nucléaire, contre 63 GW aujourd'hui) pour produire 340 TWh dans un scénario type Négatep, ou passer de 58 à 26 réacteurs (ou à une capacité de 32 GW nucléaire) pour 230 TWh produits dans un scénario type NégaWatt<sup>20</sup>.

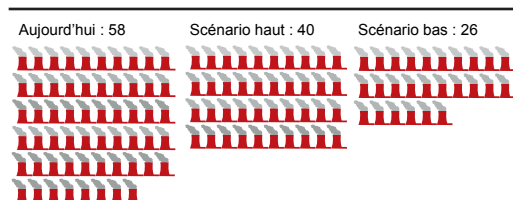
Evidemment, les implications industrielles sont totalement différentes entre ces deux situations extrêmes, « nucléaire Haut » et « nucléaire Bas ». Le nombre de fermetures de centrales à prévoir varie quasiment du simple au double pour le même objectif. Celui-ci est donc bien loin de clore le débat et les scénarios seront tout à fait utiles pour analyser toutes les implications.

19. La valeur pour 2025 est supposée correspondre à la moyenne 2020-2030 dans nos calculs, 2025 n'étant en général pas un horizon de temps considéré dans les scénarios énergétiques. Notons que la majorité des scénarios pris en compte dans le débat n'intègrent pas l'hypothèse d'une réduction à 50 % de la part du nucléaire et se situent plutôt dans un cadre d'analyse visant à stabiliser la part du nucléaire ou à sortir définitivement du nucléaire à plus long terme.

20. Le scénario « Nouveau mix » de RTE, qui prend explicitement en compte cette hypothèse sur le nucléaire, aboutit à une capacité nucléaire de 40 GW à l'horizon 2025, pour une consommation de 503 TWh. Il s'agit donc d'un scénario intermédiaire haut.

18. <https://www.gov.uk/2050-pathways-analysis>

**Figure 5.** Nombre de réacteurs en service en France en 2025, en fonction du scénario de demande d'électricité à cet horizon de temps, comparaison avec le parc actuel



Source : Auteurs.

Au-delà des implications pour la filière nucléaire elle-même, l'objectif pour les scénarios est de cadrer les options disponibles pour compléter le mix électrique au-delà du nucléaire. En outre, les conséquences sur les futurs réseaux électriques sont elles aussi très variées, selon ces deux cas : l'un propice à un système plus centralisé, l'autre ouvrant un espace plus important pour un système plus décentralisé. Aux visions contrastées de la demande, on pourrait ajouter des hypothèses différentes sur les échanges d'électricité avec nos voisins européens<sup>21</sup>. Les perspectives sur la production d'électricité nationale envisageable seraient alors totalement différentes toujours pour ce même objectif normatif. Mais comment préjuger des échanges avec nos voisins européens, qui ne peuvent pas être *a priori* une simple variable de bouclage des scénarios et nécessitent une analyse plus fine de l'équilibre du système électrique européen à des horizons de moyen et long termes ?

Ceci signifie, enfin et surtout, que les perspectives concernant la demande d'électricité, et les actions qui seront engagées dans le but de la limiter au maximum, sont absolument centrales pour définir l'évolution du système électrique.

### 3.3. Faut-il utiliser les scénarios existants ou en produire de nouveaux dans le cadre d'un débat ?

La France a une grande tradition de la prospective à des fins de planification de son économie sur le long terme. Initiée avec Gaston Berger et Bertrand de Jouvenel à la fin des années 1950, et tout d'abord au service du Commissariat général du Plan (Plan), les méthodes de la prospective appliquée à l'énergie, et l'usage de scénarios en particulier, sont désormais couramment à la base des travaux menés par le Centre d'analyse stratégique (CAS, depuis 2006).

21. Par exemple, les scénarios RTE prévoient toujours un solde exportateur d'électricité, y compris dans un scénario « Nouveau mix » (34 TWh, soit la production de 4 à 5 réacteurs). Le scénario de référence de la DGEC prévoit quant à lui jusqu'à 100 TWh exportés à l'horizon 2030.

Plus que les résultats, comme nous l'avons dit, c'est le processus de co-construction ou de co-analyse des scénarios par les citoyens et par les experts qui importe. En particulier, le processus de production/analyse collaborative doit être le plus transparent possible, ouvert et impliquer toutes les parties prenantes clés. Le travail de comparaison des scénarios existants est à ce titre particulièrement pertinent puisqu'il permet d'élaborer de nouveaux outils d'évaluation, en développant notamment des normes de transparence et une grille d'analyse commune qui permettra à l'avenir d'évaluer plus facilement l'orientation et la richesse des nouveaux scénarios produits.

Lors d'un débat, se pose naturellement la question de la production de nouveaux scénarios, *ad-hoc*, notamment vis-à-vis des questions qui sont clairement mises en débat et qui pourraient ne pas encore être formulées au cours des mois précédents, ou celle de l'utilisation de scénarios existants<sup>22</sup>.

La stratégie choisie dépend largement de la quantité de scénarios récents disponibles, pointant notamment sur les sujets importants pour le débat, ainsi que du temps disponible pour celui-ci. La production de scénarios sera d'autant plus solide et concertée qu'elle se fera dans un planning long de plusieurs mois. S'il est peu probable que des scénarios originaux soient produits dans le cadre d'un processus interne au débat actuel, cela n'exclut pas l'élaboration de « trajectoires-types », correspondant aux grandes options identifiées. À terme, l'élaboration d'un grand scénario participatif, co-construit par l'ensemble des parties prenantes, pourrait également représenter l'une des décisions fortes de ce débat.

## CONCLUSION

À travers la représentation détaillée et quantifiée des futurs possibles qu'ils fournissent, les modèles et scénarios énergétiques peuvent constituer des outils pertinents pour informer le débat sur les différentes visions de la transition énergétique.

En premier lieu, l'approche systémique des modèles permet de mettre en lumière les dynamiques de transformation dans la durée, afin d'évaluer les implications économiques, sociales, politiques et environnementales.

22. Les scénarios énergétiques récents disponibles pour la France et pour le débat sont : DGEC/Ministère de l'Écologie (2010) ; NégaWatt (2011) ; Négatep (2012) ; ADEME (2012) ; CIRED/EnCiLowCarb (2012) ; Greenpeace (2013). Sur le secteur électrique : RTE (2012) ; Global Chance (2012) ; UFE (2011).



En second lieu, les modèles facilitent la compréhension des interdépendances entre systèmes (économique, énergétique, écologique par exemple) et secteurs, permettant ainsi d'évaluer de manière plus large les impacts possibles d'une politique donnée.

Enfin, l'approche par la modélisation peut s'avérer utile pour renseigner la question de la résilience et des risques des différentes trajectoires, en analysant les conséquences d'une modification des hypothèses de référence utilisées, voire l'impact d'un choc exogène sur un scénario.

Cependant, la bonne utilisation des scénarios requiert également le respect des limites de l'outil de modélisation. Les scénarios ne constituent pas une « science exacte », mais bien des exercices d'interprétation et de simplification de la réalité, nécessairement soumis à de fortes incertitudes liées à l'horizon de temps considéré. La diversité des approches de modélisation permet en partie de compenser ces défauts, mais l'incertitude reste une caractéristique inhérente de tout exercice de prospective.

En tenant compte de ces limites, ce ne sont donc pas tellement les résultats des modèles qui importent dans le débat, mais bien les hypothèses et mécanismes qu'ils mettent en avant, qui peuvent être traduits en instruments politiques.

C'est précisément sur ce dernier point que devra se construire le travail d'analyse participative des scénarios existants dans le débat actuel. Ce travail ne peut aboutir à sélectionner le « meilleur » scénario, mais peut être un outil pertinent pour échanger sur la faisabilité, la désirabilité et les implications des choix politiques correspondants à ces visions. C'est également cet effort de transparence et d'articulation entre visions et scénarios qui permettra aux citoyens de s'approprier cet outil, souvent considéré comme trop complexe.

À plus long terme, l'idée d'élaborer un (ou plusieurs) scénario(s) fondé(s) sur une méthode participative pourrait également devenir un puissant outil de dialogue entre toutes les parties prenantes, au service d'une meilleure appropriation des enjeux et des opportunités de la transition énergétique. ■





# Scénarios de transition énergétique pour la France : définir un espace de discussion pour le débat

Elie Bellevrat, Andreas Rüdinger,  
Michel Colombier, Emmanuel Guérin (Iddri)

PUBLICATIONS DE L'IDDRI

- Rüdinger, A. (2013). « La rénovation thermique des bâtiments en France et en Allemagne : quels enseignements pour le débat sur la transition énergétique ? », Iddri, *Working Papers* N°07/13.
- Chancel, L., Pourouchottamin, P. (2013). « L'énergie grise : la face cachée de nos consommations d'énergie », Iddri, *Policy Briefs* N°04/13.
- Chancel, L. (2013). « Agir sur les consommations directes d'énergie des ménages », Iddri, *Policy Briefs* N°03/13.
- Chancel, L., Saujot, M. (2013). « Inégalités, vulnérabilités et transition énergétique », Iddri, *Policy Briefs* N°02/13.

Publications disponibles en ligne sur : [www.iddri.org](http://www.iddri.org)

**I**nstitut de recherche sur les politiques, l'Institut du développement durable et des relations internationales (Iddri) a pour objectif d'élaborer et de partager des clés d'analyse et de compréhension des enjeux stratégiques du développement durable dans une perspective mondiale. Basé à Paris, l'Iddri accompagne les différents acteurs dans la réflexion sur la gouvernance mondiale des grands problèmes collectifs que sont la lutte contre le changement climatique, la protection de la biodiversité, la sécurité alimentaire ou l'urbanisation et participe aux travaux sur la redéfinition des trajectoires de développement.

L'Iddri porte une attention toute particulière au développement de réseaux et de partenariats avec les pays émergents et les pays les plus exposés aux risques, de façon à mieux appréhender et partager différentes visions du développement durable et de la gouvernance. Afin de mener à bien son action, l'Iddri s'insère dans un réseau de partenaires issus des secteurs privé, académique, associatif ou public, en France, en Europe et dans le monde.

Institut indépendant, l'Iddri mobilise les moyens et les compétences pour diffuser les idées et les recherches scientifiques les plus pertinentes en amont des négociations et des décisions.

Ses travaux sont structurés transversalement autour de cinq programmes thématiques : gouvernance, climat, biodiversité, fabrique urbaine et agriculture.

L'Iddri publie trois collections propres : les *Working Papers* permettent de diffuser dans des délais brefs des textes sous la responsabilité de leurs auteurs ; les *Policy Briefs* font le point sur des questions scientifiques ou en discussion dans les forums internationaux et dressent un état des controverses ; enfin, les *Studies* s'attachent à approfondir une problématique. L'Iddri développe en outre des partenariats scientifiques et éditoriaux, notamment dans le cadre de la publication de *Regards sur la Terre*, fruit d'une collaboration avec l'Agence française de développement, The Energy and Resources Institute et Armand Colin.

Pour en savoir plus sur les activités et les publications de l'Iddri, visitez [www.iddri.org](http://www.iddri.org)