

## Modélisation des systèmes énergétiques : les nouveaux challenges

Pascal Charriau\*

@ 66792

Ce témoignage s'appuie sur la longue expérience d'Enerdata en termes de scénarisation et de modélisation de stratégies de réduction des émissions au niveau national et international. Il permet d'identifier et discuter des limites auxquelles l'ambition croissante en termes de réductions des émissions de gaz à effet de serre (GES) nous confronte. La question de l'analyse sociale des changements peut ainsi être remise en perspective comme une limite parmi d'autres de ces exercices, limites qui pouvaient être acceptables dans le passé mais qui deviennent de plus en plus visibles dans le cadre de réflexion sur la neutralité carbone ou des trajectoires 1,5 °C. Le texte proposé ici permet donc de prendre un pas de recul, qui ne vise pas à critiquer les approches classiques, notamment de modélisation, mais à utiliser ce tour d'horizon des nouvelles limites qui apparaissent au fur et à mesure que les scénarios cherchent à analyser des trajectoires de décarbonation plus ambitieuses et concernent des périmètres plus larges.

### L'ambition croissante des objectifs de lutte contre le changement climatique bouscule les approches classiques de modélisation

- Les scénarios sur lesquels travaillent les grandes organisations nationales et internationales recèlent des ambitions plus fortes pour lesquelles il faut adapter les outils et approches :

- Couverture de tous les secteurs et de tous les gaz à effets de serre (y compris captation) — et non plus «seulement» énergie et émissions de CO<sub>2</sub>,

- Objectifs de réduction très volontaristes (par exemple «Zéro Émission Nette») et approche normative par «*backcasting*», c'est-à-dire que l'on construit des trajectoires qui partent de l'objectif final à atteindre — et non plus une analyse des impacts prévisionnels de scénarios définis («*forecasting*»),

- Part croissante dans le mix futur de technologies décarbonées pas encore matures et recélant des incertitudes — et non plus projection d'évolutions de la compétitivité de technologies relativement bien connues,

- Les trajectoires permettant d'atteindre ces objectifs nouveaux dans des horizons relativement restreints nécessitent des ruptures (baisse de l'intensité énergétique, décarbonation...) et non plus des évolutions tendancielles continues.

- Selon les utilisateurs de ces scénarios, les études doivent aussi parfois fournir des analyses d'impacts sur le PIB, de coûts (investissements nécessaires et coûts d'exploitation), d'impacts sur les emplois des filières concernées, voire analyser les conséquences des trajectoires de transition sur les besoins en matériaux...

- L'évolution de nos processus prend progressivement en compte ces différents besoins :

\* Enerdata (cf. biographies p. 2).

- Couplage avec des modèles UTCATF (utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie),
- Couplage avec des modèles macroéconomiques et d'analyse des emplois par secteur,
- Hypothèses de pénétration des technologies pas seulement modélisées par un « signal prix »,
- Approche en « *backcasting* » en parallèle de l'analyse des trajectoires « *forecasting* ».

### Les cadres de représentation

- Les approches classiques de scénarisation et de modélisation s'appuient sur une logique territoriale pour représenter les émissions, ce qui correspond au cadre officiel pour comptabiliser les émissions. Ces approches ne sont donc pas directement adaptées à la représentation et l'analyse d'empreintes carbone, c'est-à-dire l'ensemble des émissions générées par un pays, par le biais notamment de produits manufacturés. Or l'approche empreinte peut être intéressante pour enrichir la réflexion sur les émissions, y compris avec plus de finesse au niveau social. Sur ce point comme sur d'autres, des progrès et des développements sont en cours.

- Un enjeu de plus en plus important est de bien représenter les émissions de tous les GES et de tous les secteurs, au-delà des secteurs énergétiques : secteurs agricoles et usages des terres. Cela implique de prendre en compte des GES comme le méthane et le protoxyde d'azote, qui sont très importants pour évaluer l'impact de l'alimentation et de l'agriculture, mais aussi de mieux considérer et représenter les puits carbone.

- Le formalisme habituel des outils de modélisation globaux ne permet pas de bien représenter l'ensemble des grandes infrastructures nécessaires à la mise en œuvre des différents scénarios. Par exemple, pour le secteur des transports, on représente mal les kilomètres de rail ou de route, ou les capacités des aéroports dans les scénarios. On ne caractérise pas non plus précisément les conséquences

de politiques d'urbanisme potentiellement très différentes selon les scénarios. Or, mieux évaluer cette dimension est de plus en plus important, que ce soit d'un point de vue stratégique pour les industriels ou financier pour les acteurs comme les banques ou les assureurs, mais aussi du point de vue de l'analyse de la consommation globale de ressources et pas uniquement des émissions de GES.

- Dans la même veine, entre la consommation finale et l'énergie primaire, il y a l'ensemble des vecteurs énergétiques (exemples : électricité, biomasse...) pour lesquels l'attention devrait être renforcée. Par exemple, des conflits d'usage existent concernant la biomasse entre des usages et des secteurs différents (alimentation, matériaux, énergie). On retrouvera le même type de débat concernant l'hydrogène : étant donnée une certaine quantité d'hydrogène durable produit, quel secteur sera prioritaire pour en faire usage ? Ces questions qui semblent techniques sont en réalité très connectées aux débats sur les modes de vie et les pratiques futures : par exemple, l'hydrogène devrait-il prioritairement être utilisé pour les déplacements en avion ou pour l'industrie lourde ?

- Enfin, représenter et analyser plus finement ce qu'il se passe au niveau des différents territoires (grandes métropoles vs petites villes, urbain vs rural...), c'est-à-dire au-delà d'une moyenne par pays, est important pour progresser dans la compréhension des enjeux sociaux ou d'infrastructures. Cela nécessite des développements des outils actuels, qui fonctionnent généralement à l'échelle nationale.

### Efficacité énergétique et effets rebond

- Les modélisations représentent bien les politiques et gains d'efficacité énergétique dans les différents secteurs. Par contre, un défi de tous ces travaux est de prendre en compte l'« effet rebond », c'est-à-dire le fait qu'une partie substantielle des gains obtenus (cela peut aller jusqu'à deux tiers) est dépensée à travers une hausse ou modification de la demande ou par

## Modélisation des systèmes énergétiques : les nouveaux challenges

un changement des systèmes techniques. Dans le premier cas, c'est concrètement lorsque la meilleure isolation d'un logement est accompagnée par une hausse de la température de chauffage ou lorsque le taux d'occupation des logements baisse en moyenne. Dans le deuxième cas, c'est par exemple la hausse de l'efficacité des moteurs des voitures qui est compensée par l'achat de véhicules plus lourds. Mieux évaluer et anticiper ces effets rebond, ou bien formuler des politiques publiques permettant d'éviter leur développement, est donc un enjeu très important et d'autant plus lorsque les stratégies de décarbonation s'appuient sur de très forts gains en efficacité (c'est le cas par exemple de la famille 1 de scénarios du GIEC).

### Prise en compte de la sobriété

- Les réflexions sur la sobriété ne devraient pas se focaliser uniquement et fortement sur le citoyen et sa responsabilité individuelle dans la mise en œuvre, comme cela est souvent le cas (accent mis sur les pratiques de mobilité, d'alimentation...). Le modélisateur est bien placé pour voir l'ensemble des secteurs, des chaînes de valeur et des dimensions systémiques intermédiaires et leurs poids sur les consommations énergétiques et de ressources. La sobriété est un concept qui concerne l'ensemble des composantes de l'économie. Les démarches de sobriété peuvent ainsi également concerner les collectivités territoriales ou les entreprises, que ce soit par des politiques nationales ou par des initiatives volontaires.

- Aujourd'hui, on ne sait pas encore bien analyser les caractéristiques des différents pays et secteurs en termes de sobriété. Les données disponibles sont en effet limitées et peu comparables. Et au niveau prospectif, on ne sait donc pas encore bien modéliser de potentielles politiques de sobriété (encore rares...). Par «politique de sobriété», on entend par exemple une politique qui aura pour effet de réduire l'utilisation de services utilisant de l'énergie — par exemple, réduire les éclairages lumineux des commerces pendant la nuit, réduire la demande de chauffage à 20 °C au lieu

de 21 °C sur les lieux de travail et de vie... Dans l'industrie, on peut évoquer par exemple la conception de produits à longue durée de vie, la relocalisation des productions près des lieux de consommation et la simplification des chaînes logistiques, le développement du télétravail...

- Les exercices de modélisation peinent aujourd'hui à analyser les impacts potentiels de ces politiques, notamment dès que l'on passe au niveau international (en France, les scénarios de l'ADEME ou de négaWatt permettent en revanche une bonne analyse). En effet, les *drivers* sur lesquels on agit sont essentiellement l'évolution du PIB ou de la population. La prise en compte de démarches de sobriété nécessite de travailler des entrées exogènes plus précises : évolution des kilomètres parcourus, du parc de véhicules, des surfaces par habitant, de la réduction du trafic de marchandises, contenu de l'assiette... Les modèles permettent déjà de faire varier ces hypothèses, encore faut-il avoir des scénarios qui «racontent l'histoire» qui accompagnera et rendra crédibles ces hypothèses...

- Chez Enerdata, le modèle «*bottom-up*» de demande qu'est EnerMED permet de développer ces analyses finement au niveau d'un pays, ou d'une région dans un pays. Nous travaillons actuellement à développer cette approche aussi sur le modèle POLES-Enerdata, qui permet une analyse au niveau international. Ces développements nécessitent un investissement significatif (recherche de données, analyse des politiques, compétences...).

- Il est à noter que cette demande (de prendre en compte des politiques de sobriété énergétique) n'est pas encore fréquente chez nos clients, mais elle devrait prendre une part croissante à l'avenir.

- Il est important de remarquer enfin que l'idée n'est pas de cadrer les travaux sur la base d'une logique de décroissance, mais simplement de décorréler, de déconnecter les évolutions des différents secteurs de la croissance

économique, afin d'ouvrir le champ d'analyse des changements possibles.

### **Justice sociale et prise en compte des inégalités**

- La réflexion sur des stratégies de décarbonation profonde, de même que les travaux de plus en plus nombreux dédiés aux empreintes carbone individuelles, révèle de plus en plus clairement les enjeux liés aux inégalités. Le fait que les émissions sont très largement corrélées aux revenus est pourtant souvent «l'éléphant dans la pièce». En effet, traditionnellement, les travaux raisonnent sur la base d'un individu moyen et cette question est fortement occultée dans la conception des stratégies de réduction des émissions. Pourtant il est clair que le partage de l'effort est une question centrale des stratégies de transition, pour son efficacité mais aussi en termes de confiance des citoyens, comme l'épisode des «gilets jaunes» et la Convention citoyenne pour le climat l'ont très bien illustré. Pour évaluer les potentiels de réduction d'émissions comme pour penser des politiques publiques différenciées selon les niveaux de revenu par exemple (exemple : quelle sensibilité à une taxe carbone selon son revenu ou son cadre de vie?), il faudrait dorénavant être capable de mieux représenter cette diversité dans les travaux de prospective.

### **Financement de la transition**

- On ne peut pas terminer ce rapide tour d'horizon sans mentionner a minima les questions de modélisation posées par les besoins de financement de la transition. Cela inclut notamment :
  - Le chiffrage des besoins d'investissements selon les secteurs et acteurs,
  - La modélisation de différents types de mesures (marchés carbone, évolution des normes, taxes...), qui peuvent varier selon les acteurs concernés (exemple : exonération des ménages à faibles revenus...),
  - Le rebouclage entre les revenus liés aux marchés ou taxes carbone et leur utilisation.

### **Conclusion**

Comme on le voit dans cette analyse rapide, l'évolution du contexte transforme rapidement les besoins d'analyses de trajectoires de décarbonation que permettent les modèles.

La vitesse à laquelle les sociétés doivent maintenant transformer leurs économies pour réduire les émissions de GES, le besoin de prendre en compte l'ensemble des secteurs et des solutions potentielles et l'exigence de pouvoir transformer rapidement des hypothèses en politiques concrètes, acceptables et financées ou la nécessité de raisonner à différents niveaux de désagrégation (géographique ou sociale) sont autant de changements significatifs qui sont progressivement pris en compte par les travaux de scénarisation et modélisation.

Gageons que cette évolution se poursuivra à la vitesse requise pour permettre d'éclairer les décideurs et autres parties prenantes des politiques énergie-climat, afin d'accélérer la décarbonation de nos sociétés...