

Résumé de l'atelier « La transition énergétique, vecteur d'un nouveau régime de croissance ? »

Organisateurs :

- Ecole Polytechnique - Chaire Energie & Prospérité, Chaire FDIR, Chaire Développement Durable
- EDF R&D

En partenariat avec l'Université Paris Nanterre, Economix & l'Institut Louis Bachelier

Date et Lieu

Jeudi 06 octobre 2016, Ecole Normale Supérieure, 45 rue d'Ulm, 75005Paris

Salle Dussane de 9h à 12h30, cocktail en Rotonde de 12h30 à 13h30.

Les plaidoyers en faveur de politiques climat-énergie intégrant résolument la limite des 2°C de réchauffement planétaire se sont, depuis la grande récession, enrichis de promesses économiques et sociétales manquant encore de clarté. Des auteurs politiquement influents comme Stern (2011) ou Rifkin (2011) affirment qu'une transition vers une économie bas carbone pourrait entraîner des progrès dans nos modes de production et de vie, d'ampleur et de durée comparables à celles des révolutions industrielles passées. Endossant la vision de « troisième révolution industrielle » (TRI) conceptualisée par Rifkin, l'Europe a affiché l'ambition d'en prendre la tête et a fixé une série d'objectifs de croissance durable à moyen et long terme. En France, la loi relative à la transition énergétique, adoptée en juillet 2015, s'inscrit également dans la perspective de la TRI (AN, 2014). Elle entend réduire les émissions de carbone et engager le pays « dans la voie d'une nouvelle croissance verte, créatrice de richesses, d'emplois durables, et de progrès ». Le législateur s'y emploiera à l'aide d'un ensemble de politiques réglementaires et incitatives visant à orienter le système énergétique actuel vers « un nouveau modèle plus diversifié, plus équilibré, plus sûr, et plus participatif ». La transition énergétique devrait enfin apporter aux dynamiques d'innovation l'accélération nécessaire au renforcement de la compétitivité nationale et, après des années de crise, à l'enclenchement d'un régime de croissance supérieur.

L'objectif de cet atelier est d'aborder les questions suivantes :

- Dans quelle mesure peut-on attendre de la transition énergétique qu'elle délivre, en sus de ses objectifs premiers liés aux enjeux climat-énergie, des progrès structurels et macroéconomiques comparables à ceux d'une révolution industrielle ?
- Quels sont les potentiels des technologies clés ?
- Quels gains en emplois peut-on espérer ?
- Quels enjeux et outils d'analyse pour traiter des aspects territoriaux ?
- Quels indicateurs de progrès et de richesse seraient à même de rendre compte de ces effets ?

Comité d'organisation / comité scientifique

Patricia Crifo (Ecole Polytechnique & Université Paris Ouest Nanterre La Défense)

Jean Pierre Ponsard (Ecole Polytechnique)

Cécile Futersack (responsable du projet MADER à EDF R&D)

Khalil Helioui (EDF R&D)

Programme

09:00-09h10 : **Introduction** : Floriane FESQUET (EDF R&D) et Jean-Pierre PONSSARD (Ecole Polytechnique)

9h10 -10h45 : Première table ronde – « **Technologies vertes, des perspectives révolutionnaires?** » – animation **Gilles Vermot Desroches** (Schneider Electric) :

- 09h10- 09h30 : Damien DEMAILLY (IDDRI) : « *Les espoirs de la révolution industrielle verte confrontée au regard historique* »
- 09h30- 09h50 : David MARCHAL (ADEME): « *Les technologies bas carbone, des moteurs d'innovation globale et de croissance ?* »
- 09h50- 10h10 : Patricia CRIFO (Univ. Nanterre & Ecole Polytechnique) : « *Vers une amélioration de la qualité des emplois et de la gouvernance d'entreprise* »
- 10h10- 10h30 : Etienne ESPAGNE (CEPII) : « *Finance et transition écologique* »
- 10h30-10h45 : échanges avec la salle

10h45-11h00 : **Pause**

11h-12h30 Deuxième table ronde – « **La transition énergétique, quelle mesure des transformations et progrès attendus ?** » – animation **Béatrice Jarrige** (SNCF)

- 11h00-11h20 : Philippe QUIRION (CIRED): « *Pertinence et grille de lecture des différents modèles d'évaluation macroéconomique de la transition énergétique* »
- 11h20-11h40 : Aurélien SAUSSAY (OFCE) : « *Approche et résultats du modèle ThreeMe* »
- 11h40-12h00 : Alexis GAZZO (Ernst & Young) : « *La transition énergétique à l'échelle territoriale : évaluation des créations de valeur et d'emplois locaux* »
- 12h00 : 12h20 : Khalil HELIOUI (EDF R&D) : « *Ordres de grandeur des impacts sur la croissance à long terme* »

12h20-12h30 : échanges avec la salle.

12h30-13h30 : **Cocktail** (Ronde)

Introduction

Floriane Fesquet, EDF R&D

Il y a aujourd'hui plusieurs transitions énergétiques. De même, ce n'est pas la première, d'autres transitions énergétiques ont été des facteurs de croissance par le passé, mais le contexte est aujourd'hui différent avec la stagnation séculaire.

A priori, ajouter une contrainte au système économique n'est pas forcément bon pour la croissance, mais dans le même temps l'investissement que la transition énergétique (TE) nécessite est un facteur de relance. La TE appelle un nouveau régime de croissance, pas forcément plus, mais différemment. Enfin, elle pose la question des technologies à utiliser, aussi bien pour l'efficacité énergétique ou la décarbonation des énergies.

Jean-Pierre Ponsard, Chaire Energie & Prospérité

Jean-Pierre Ponsard commence par remercier les partenaires de la chaire, les organisateurs, ainsi que les participants à l'atelier. Il rappelle l'objectif de la chaire de travailler sur le financement et l'évaluation de la transition énergétique, avec trois axes de recherche : micro, macro et financement.

Technologie vertes, des perspectives révolutionnaires ?

Table ronde animée par **Gilles Vernot-Desroches**, directeur développement durable Schneider Electric.

Damien Demailly, IDDRI. Pourquoi faire la transition ? De Stern 1 à Stern 2

La transition énergétique est-elle révolutionnaire, au sens où elle est digne de nouveaux paradigmes technico-économiques ? Les points de vue ont évolué sur le lien entre croissance et transition énergétique :

- ✓ En 2007, le rapport Stern préconise une croissance verte faible pour préserver la croissance de demain, et afin d'éviter un effondrement de la croissance à plus long terme dû aux impacts du changement climatique ;
- ✓ Puis un discours positif de croissance verte version forte est né, le keynésianisme vert. Les arguments sont multiples : les investissements vont booster la croissance, de nombreuses mesures sont sans regret, la course à l'industrie verte est lancée ;
- ✓ Nouvel arrivant, plus récent, celui de la révolution industrielle verte. Le nouveau régime de croissance aurait des effets sur la productivité comparables aux vagues d'innovations des précédentes révolutions industrielles.

Parmi les quatre facteurs d'importance dans les révolutions industrielles, la TE ne répond pas forcément à l'ensemble d'entre eux : le marché est important, mais elle ne permet pas forcément de fournir un produit à moindre coût, d'induire une réorganisation profonde de l'économie, ou de dynamiser la créativité.

Le discours de la révolution industrielle verte peut être vu comme un nouveau récit mobilisateur, afin d'attirer le politique et faire la transition par envie plutôt que par contrainte.

David Marchal, ADEME. Transition énergétique et innovation : un moteur d'innovation globale

1) Comment l'ADEME finance la TE et soutient l'innovation ?

Selon le niveau de maturité des technologies, les modes d'intervention sont différents pour l'ADEME : programme thèses, appel à projets de recherche, et AMI – Investissements d'Avenir. Parmi ces investissements d'avenir, trois milliards d'euros servent à financer la TE en pluriannuel, que ce soit en subventions, avances remboursables ou interventions en capital. Plus de 500 projets ont été soutenus, avec 87% des montants pour les entreprises.

2) Quels sont les besoins de technologies disruptives dans les scénarios de TE ?

Le scénario de mix électrique 100% renouvelable est présenté, avec comme question : « est-il possible d'augmenter à 80-100% le taux d'énergies renouvelables (EnR) dans le système électrique français à horizon 2050 ? ». Les principaux résultats sont les suivants :

- ✓ Plusieurs mix électriques permettent d'assurer l'équilibre horaire à 100% EnR, mais le système est toujours dominé par l'éolien et le solaire photovoltaïque, essentiellement des technologies existantes mais dont le coût va baisser.
- ✓ Le coût de l'électricité produite dépend peu du taux d'EnR, mais surtout de la maîtrise de la demande et de la pointe, de l'acceptabilité sociale, et des progrès technologiques ;
- ✓ La flexibilité, le stockage et le développement du réseau seront nécessaires, mais leur coût reste limité ;
- ✓ Il est important de soumettre les EnR au « signal prix », pour favoriser les technologies ayant les meilleurs profils pour le système.

Patricia Crifo, La transition énergétique : quelles nouvelles responsabilités pour les entreprises ?

➤ Quelle est l'ampleur du défi économique de la transition énergétique ?

Afin de limiter le réchauffement à 2°C, il est nécessaire de diviser par 2 à 3 les émissions mondiales d'ici 2050, nécessitant de résoudre l'équation de Kaya :

$$\text{CO}_2 = (\text{Population}) \times (\text{PIB/Population}) \times (\text{Energie/PIB}) \times (\text{CO}_2/\text{Energie})$$

Alors que la population est amenée à augmenter, que le PIB/habitant serait multiplié par 2,7 à un rythme de croissance de +2%/an, il faudrait par exemple une division par 3 des facteurs d'intensité énergétique de l'économie (Energie/PIB) et d'intensité carbone de l'énergie pour répondre au défi climatique.

➤ Quelles attentes à l'égard des entreprises ?

Les exigences de reporting se sont renforcées ces dernières années, et les entreprises font de plus en plus d'efforts pour être ou au moins apparaître plus responsables.

L'étude empirique présentée vise à vérifier l'hypothèse de Porter, qui suppose que la RSE (responsabilité sociale des entreprises) est un facteur de performance économique et financière, via l'innovation qu'elle nécessite. Le panel étudié est constitué de 8502 entreprises françaises de plus de 10 salariés. La performance RSE est mesurée par un indicateur agrégé et 4 indicateurs par domaine : environnement et éthique, relations clients, relations fournisseurs, et ressources humaines.

Les résultats montrent un écart de performance de 13% (TCEA) entre les entreprises avec ou sans stratégie RSE, et cet écart est plus particulièrement marqué pour le domaine RH (20%). L'hypothèse de Porter est donc bien vérifiée, particulièrement si on innove. De même, l'hypothèse des complémentarités productives est vérifiée (le tout est supérieur à la somme des parties). Les entreprises ont donc intérêt à privilégier des stratégies RSE « qualité », plutôt qu'une stratégie « quantité » avec un empilement de pratiques RSE.

Etienne Espagne, CEPII. Climate systemic risk, And how climate change finance can help avoid it

Pour la finance, le changement climatique était essentiellement considéré comme une externalité. Le sujet du risque systémique du changement climatique pour la finance est relativement nouveau. Il est abordé en particulier dans les instances du FSB (Financial Stability Board) et du G20, et l'Accord de Paris fait apparaître que les flux financiers doivent s'aligner avec l'objectif des 2°C.

Les risques pour le système financier sont de plusieurs natures (Mark Carney, 2015) : le risque physique lié aux impacts directs du changement climatique ; le risque juridique, dans le cas où des parties qui ont souffert du changement climatique lancent une juridiction contre une entreprise ou une institution ; et le risque de transition, lié à la revalorisation des actifs financiers.

Si la finance anticipe imparfaitement les dommages du changement climatique, les décisions sont biaisées, le cadre de réflexion doit être modifié. Les principales politiques cherchent actuellement à améliorer l'information financière, mais le risque systémique nécessite également d'améliorer la régulation macro-prudentielle, de réorienter les investissements et d'accorder une valeur sociale au carbone. Les politiques ex-post doivent essentiellement permettre de restaurer la confiance dans le système financier. La crise climatique correspond à une situation où il n'y a pas de prêteur de dernier ressort.

La transition énergétique, quelle mesure des transformations et progrès attendus ?

Introduction de Béatrice Jarrige

Depuis 1990, alors que le PIB a augmenté de 46%, les émissions françaises totales de CO₂ ont baissé de 18%, alors que les émissions des transports ont augmenté de 7%, avec 95% des émissions dues au secteur routier. Le secteur des transports pèse pour 17% du PIB et 34% de la conso d'énergie en France.

La part de marché du ferroviaire est de 10% alors que sa consommation d'énergie est de 1%. Le transport ferroviaire apparaît ainsi comme étant une partie de la solution pour la transition énergétique dans les transports. Enfin, le secteur des transports dépend d'autres secteurs pour mettre en œuvre la TE, et notamment ceux de l'urbanisme et du logement.

Philippe Quirion, CIRED. L'évaluation macroéconomique de la transition énergétique.

1) Choisissons-nous les bons objectifs ?

Les indicateurs des économistes ne sont pas ceux qui intéressent le reste du monde : alors que la transition énergétique dans la presse est autant associée aux mots-clés PIB / coût que emploi / chômage, les économistes l'associent 21 fois plus aux indicateurs de PIB / coût / bien-être qu'à l'emploi et au travail.

Pourtant, on peut douter de la pertinence du PIB pour approximer le bien-être du consommateur. Au contraire, l'emploi apparaît comme un bon objectif, à condition qu'il soit de qualité. Parallèlement, il faudrait étudier de plus près l'impact sur la réduction des inégalités, l'accès à des biens de base, la santé, ou encore la prévention des conflits.

2) Avons-nous les bons outils ?

Concernant les outils utilisés, l'emploi est souvent mal représenté dans les modèles macro énergie-économie-climat (EEC) : il est parfois exogène ; lorsqu'un arbitrage travail-loisir est présent, une augmentation du chômage entraîne une augmentation du bien-être (à consommation donnée) ; lorsque du chômage involontaire est présent, il n'y a généralement pas d'analyse de bien-être. De même, les mesures de PIB dépendent de conventions contestables sur la façon d'évaluer l'évolution des prix ou de la productivité horaire. Enfin, trop peu de comparaisons sont réalisées entre les observations et les modèles macro EEC.

3) Conclusion

Ainsi, la grande majorité des modèles macro EEC n'ont pas les bons objectifs, et ne sont pas évalués vis-à-vis des données passées. Les directions de recherche préconisées sont les suivantes : distinguer chômage et loisir ; intégrer la qualité de l'emploi et la santé ; expliciter les principaux flux physiques ; expliciter l'accès aux biens de base ; et enfin évaluer les modèles macro EEC.

Aurélien Saussay, OFCE. Les impacts macroéconomiques d'un mix électrique 100% renouvelable

➤ Modélisation macroéconomique avec ThreeME

La modélisation macroéconomique du mix électrique 100% renouvelable a été réalisée à l'aide du modèle ThreeME (Modèle Macroéconomique Multisectoriel d'Evaluation des politiques Energétiques et Environnementales), développé par l'ADEME et l'OFCE. C'est un modèle offre-demande de type néo-keynésien, où l'équilibre de sous-emploi est possible. Le modèle tient compte du transfert d'activité d'une branche à l'autre, ce qui permet d'évaluer les besoins en investissements à un niveau sectoriel fin (24 secteurs de production et 17 sous-secteurs énergétiques). Le modèle permet également d'étudier le double dividende.

Pour la modélisation, un scénario de référence (« business-as-usual ») a été comparé au scénario de transition, qui comporte trois variantes : électricité 100% renouvelable en 2050 ; 100% renouvelable mais avec une acceptabilité modérée limitant l'éolien terrestre et le photovoltaïque au sol ; électricité à

80% renouvelable. Par ailleurs la propension à importer des filières d'énergies renouvelables électriques (EnRE) reste stable, les impacts macroéconomiques pourraient être meilleurs en cas d'essor des filières françaises.

➤ Résultats macroéconomiques des scénarios de transition

Les impacts macroéconomiques sont globalement expansifs. Des impacts positifs sont observés sur le PIB, de l'ordre de +4% sur l'ensemble de la période, dont 80% sont dus aux investissements en efficacité énergétique, ce qui explique les faibles différences entre variantes. L'effet d'entraînement du PIB permet également la création de 900 000 emplois supplémentaires, essentiellement dans les services, soit une réduction du chômage entre 3,3% et 3,6% de la population active. Le déficit de la balance commerciale atteint plus de 2,5% du PIB, principalement dû à la baisse des importations d'énergies fossiles. Le prix de l'électricité augmente de 29% à 59% selon les variantes, cependant la facture énergétique totale des ménages est réduite de plus de 50% entre 2010 et 2050.

Enfin, la mise en place d'un mix 100% EnRE permet d'aller au-delà de l'objectif de Facteur 4.

Alexis Gazzo, Ernst&Young consultant TE. La TE à l'échelle territorial : évaluation des créations de valeur et d'emplois locaux.

Les études de consulting se développent en raison de la demande de différents acteurs d'évaluer la création de valeur socio-économique des projets de TE. Cela leur permet d'élargir la notion de valeur des projets, afin de valoriser les avantages compétitifs par rapport aux énergies conventionnelles, rallier les investisseurs, ou enrichir la base de discussion avec les pouvoirs publics.

Dans le champ des indicateurs typiquement mesurés se trouvent les impacts environnementaux (CO₂, eau, pollution, déchets, etc.), économiques (PIB, fiscalité, balance commerciale) et sociaux (emplois, sécurité au travail, accès décentralisé à l'énergie). Des exemples d'études et de résultats sont présentés, parmi lesquels :

- ✓ Les impacts d'un projet éolien par rapport à une situation de référence de centrales à gaz, afin d'aller au-delà du seul comparatif prix, et ainsi tenir compte des impacts directs, indirects et induits des projets ;
- ✓ Les retombées sur l'emploi de différents scénarios d'investissement dans le solaire en Afrique du Sud ;
- ✓ Les retombées locales et nationales du parc éolien offshore du Banc de Guérande ;
- ✓ Ou encore une évaluation du coût social de l'électricité pour Siemens.

Khalil Helioui, EDF R&D. Ordres de grandeur des impacts sur la croissance à long terme ?

➤ Mesurer les impacts d'une révolution technologique sur la croissance

La méthode de comptabilité de la croissance (OCDE, 2002 ; Hulten, 2009) a été appliquée pour mesurer la contribution des innovations à la croissance de long terme. La différence de PIB agrégé dépend de l'évolution des heures travaillées et de la productivité du travail (PIB horaire). Cette productivité dépend à la fois des gains de productivité totale des facteurs (PTF) dans le secteur producteur d'innovation, pondérés par le poids de sa valeur ajoutée dans le PIB, mais aussi des

nouvelles opportunités dans les secteurs utilisant l'innovation, en termes de variation du capital direct et induit, et des gains de PTF dans ces secteurs.

Cette méthodologie adaptée à la contribution de l'électricité à la croissance US 1919-1929 et à la contribution des TIC à la croissance US 1995-2004 donnent des résultats respectivement de 0,7% par an et de 1,5% par an (Crafts, 2002 ; Byrne, Oliner, Sichel 2013). Dans le premier cas, ce sont essentiellement les gains de PTF dans les secteurs utilisateurs (l'industrie) qui contribuent à la croissance par des gains de restructuration, tandis que pour les TIC les gains sont répartis entre le développement des secteurs TIC et les investissements directs et induits dans l'ensemble des secteurs productifs.

➤ Le cas de la maîtrise de la demande d'énergie et des énergies renouvelables électriques

Les études réalisées pour la France se projettent à horizon 2030. Concernant la contribution de l'efficacité énergétique à la croissance, elle reste modeste et de l'ordre de 0,07% par an, et s'explique essentiellement par la diffusion d'équipements et solutions plus efficaces sans surcoûts dans les secteurs utilisateurs. Pour la contribution des énergies renouvelables électriques (EnRE) à la croissance, l'impact est à nouveau positif mais faible, avec 0,025% par an maximum, essentiellement dans les secteurs producteurs d'EnRE.

Ainsi, la méthode utilisée suggère des contributions positives de la TE à la croissance à long terme, mais pas à la hauteur des espérances. La faiblesse des chiffres s'explique par des technologies pas assez « révolutionnaires » ou pas assez exportées, et un faible poids économique du facteur énergie. De même, de nombreux avantages de la TE ne sont pas mesurés ici : qualité des emplois, améliorations pour les secteurs industriels fortement énergivores et innovants, détente des prix des énergies fossiles, possibles externalités à la connaissance liées à la R&D sur les technologies de la TE.