

## La transition énergétique : nouvelles technologies et débat public

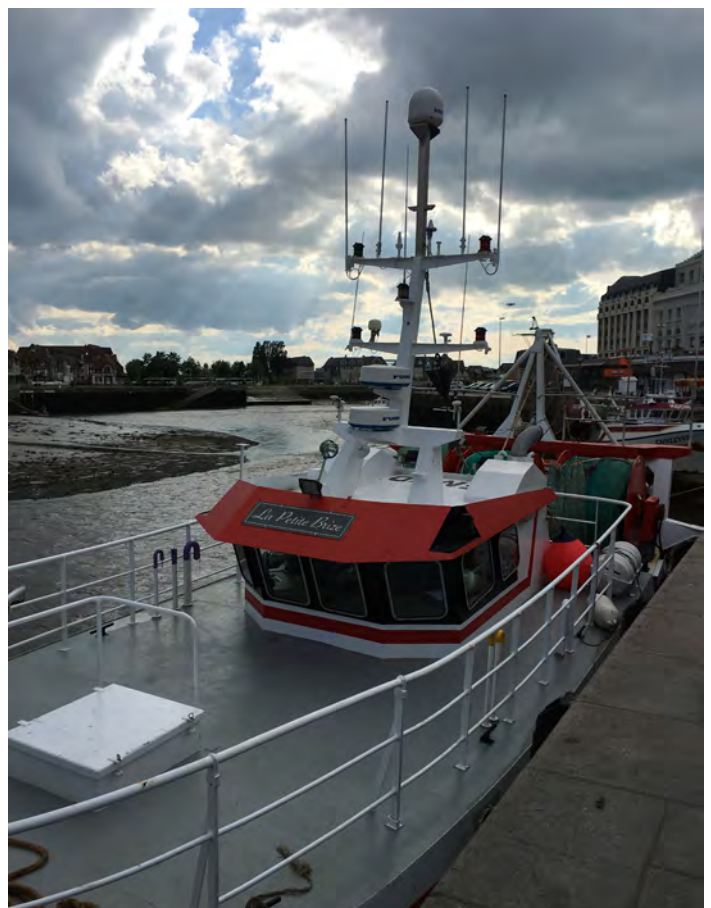
*Sandra Renou*

*i3-CRG, École polytechnique, CNRS, Université Paris-Saclay*

Le 19 juin dernier, l'Institut de technico-économie des systèmes énergétiques (i-tésé), rattaché au Commissariat à l'énergie atomique (CEA), organisait une journée sur les nouvelles technologies dans la transition énergétique, dans le cadre du débat national sur la programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE). Cette journée a déjà fait l'objet d'une synthèse par les organisateurs<sup>1</sup>, et l'objet est ici moins de faire un compte-rendu – qui serait forcément redondant – que d'apporter un point de vue « extérieur », en tant que doctorante travaillant sur le secteur des énergies renouvelables (EnR) et les questions de transition énergétique. On notera au passage que la journée a davantage porté sur les nouvelles technologies en elles-mêmes, abordées une à une lors des présentations. L'objet de cet article est donc de faire le lien entre les « nouvelles technologies » dont il a été question lors de cette journée et la « transition énergétique », qui fait l'objet d'un intérêt croissant, tant dans les recherches en sciences dites « dures » comme celles menées au CEA (qui, depuis 2009, est devenu « Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives »), qu'en sciences humaines et sociales. L'intérêt d'une plus grande synergie entre ces deux domaines a d'ailleurs été souligné à plusieurs reprises lors de cette journée.

Dans un premier temps, un bref exposé du contexte dans lequel se sont déroulées ces journées sera conduit, à savoir le débat public national sur la PPE. Puis la notion de transition énergétique sera explicitée, avec ses enjeux contemporains, tant d'un point de vue technique que sociétal, avant que ne soient détaillées les technologies qui ont été présentées lors de la conférence. La question de la transdisciplinarité des recherches sur la transition énergétique sera abordée en conclusion.

1. [http://i-tese cea.fr/fr/Publications/Lettre\\_tese\\_34/index.php](http://i-tese cea.fr/fr/Publications/Lettre_tese_34/index.php)



*La Petite brize,  
Trouville (2018)*

## Le contexte : le débat national sur la Programmation Pluriannuelle de l'Énergie

Du 19 mars au 30 juin dernier a eu lieu le débat national sur la PPE. Pour reprendre les propos du site internet consacré à ce débat :

Élaborée par le ministère de la Transition écologique et solidaire (MTES – Direction générale de l'énergie et du climat – DGEC) en concertation avec l'ensemble des parties prenantes, la programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) est l'outil de pilotage de la politique énergétique créé par la loi de transition énergétique pour la croissance verte votée en 2015.

Elle exprime les orientations et priorités d'action des pouvoirs publics pour la gestion de l'ensemble des formes d'énergie sur le territoire métropolitain continental, afin d'atteindre les objectifs de cette loi.

La programmation pluriannuelle de l'énergie couvre, en principe, deux périodes successives de cinq ans. Par exception, la première programmation publiée en octobre 2016, couvrait deux périodes successives de respectivement trois et cinq ans, soit 2016-2018 et 2019-2023.

La révision de la PPE d'ici la fin de l'année 2018, objet du présent débat public, couvrira les périodes 2018-2023 et 2024-2028.

Compte tenu de l'importance du sujet, les pouvoirs publics ont ainsi estimé important de rendre ce débat public, afin que chacun puisse exprimer son point de vue, être force de proposition et participer ainsi à la décision. Ce n'était pourtant pas la première fois qu'un tel débat était organisé sur la question : dès 2003, le gouvernement de Jean-Pierre Raffarin avait en effet lancé un autre « débat national sur les énergies » (Leloup, 2003). Les moyens à disposition des pouvoirs publics en termes de technologies en faveur de la démocratie participative ont néanmoins pu donner au débat actuel une autre dimension.

Pour organiser ce débat, les pouvoirs publics ont sollicité la Commission nationale du débat public (CNDP), autorité administrative indépendante instaurée en 1995 et chargée de piloter ce type de projet. Afin de veiller au respect de ces principes (informations transparentes, points de vue argumentés, égalité de traitement entre les participants), celle-ci a mis en place une commission particulière *ad hoc*. Celle-ci est présidée par Jacques Archimbaud, ancien membre – entre autres fonctions – du Ministère de l'environnement en tant que conseiller auprès de Dominique Voynet, puis chargé de mission auprès d'Yves Cochet. Ce débat national a donné lieu à deux types d'initiatives : des rendez-vous et des espaces d'expression.

### *Les rendez-vous*

La commission a d'abord animé des « ateliers d'information et de controverse », non ouverts au public mais filmés et mis en ligne sur le site internet, au nombre de 12 au total. Ces ateliers ont fait intervenir des hommes et femmes politiques, des militants d'associations ou de syndicats, des membres d'organismes publics comme l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie) ou d'entreprises publiques comme RTE (Réseau de Transport d'Électricité), des responsables d'entreprises, etc., et portaient sur des sujets plus ou moins polémiques, comme le nucléaire, la question sociale, le prix de l'énergie, pour n'en citer que quelques-uns.

En outre, la commission a supervisé de nombreuses « initiatives », sous forme de réunions, d'ateliers ou de conférences, à un échelon local. Au total, ce sont près de 90 débats qui ont ainsi eu lieu dans près de 70 villes de France, ayant abouti à 60 comptes rendus recensés (sur le site, au 20 juillet 2018<sup>2</sup>).

2. <https://ppe.debatpublic.fr/calendrier-carte-initiatives-du-debat-ppe#calendrier-html>

C'est d'ailleurs dans ce cadre que s'est déroulée la journée i-tésé sur les nouvelles technologies dans la transition énergétique.

Autre évènement organisé par la commission, le G400 a rassemblé 400 personnes de la France entière tirées au sort pour s'informer au cours du débat et donner leur avis le 9 juin à Paris sur les différentes questions mises en débat<sup>3</sup>.

3. Voir le questionnaire national : [https://ppe.debatpublic.fr/sites/debat.ppe/files/documents/6\\_questionnaire\\_a\\_remplir.pdf](https://ppe.debatpublic.fr/sites/debat.ppe/files/documents/6_questionnaire_a_remplir.pdf)

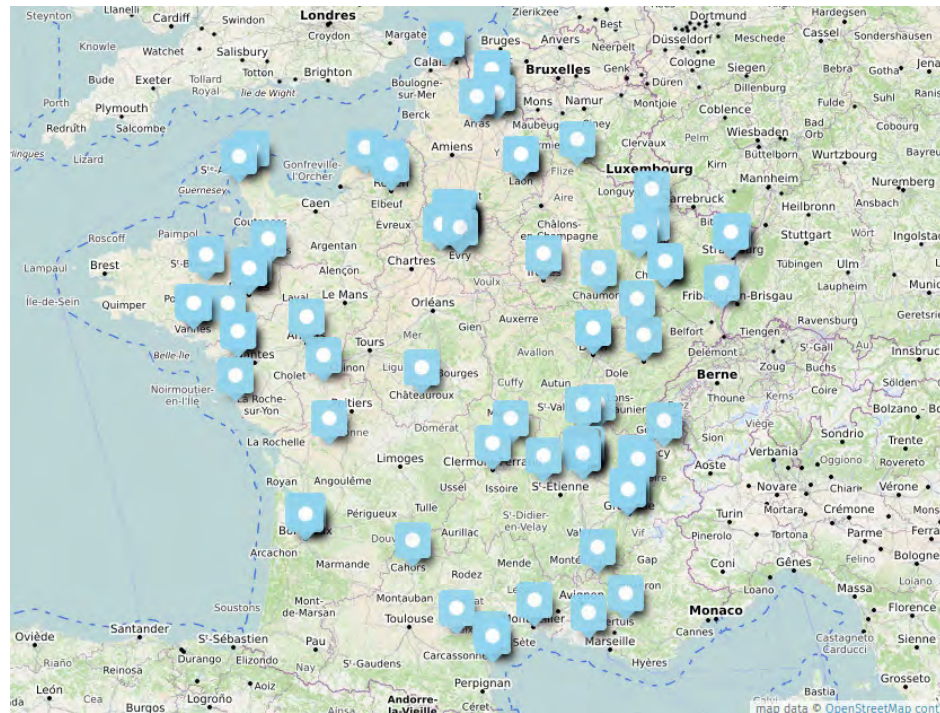


Figure 1. Carte des initiatives du débat PPE

### Les espaces d'expression

L'un des objectifs du débat était de permettre au public de s'exprimer et éventuellement d'interpeller les pouvoirs publics. Pour ce faire, plusieurs « espaces d'expression » ont été ouverts :

- Le questionnaire national du débat (cf. supra). Plus de 11000 personnes y auraient répondu<sup>4</sup>.
- Les questions-réponses, sur la PPE ou sur le débat, le ministère et la commission s'étant engagés à y répondre sous 15 jours. Ainsi, 666 questions ont été posées en ligne.
- Le forum de discussion, permettant aux participants de donner leur avis sur la PPE ou sur le débat ou de commenter les avis laissés par d'autres. On recensait, au moment de la rédaction de ce papier, 561 avis laissés.
- Les « cahiers d'acteurs », déposés par des représentants de personnes morales et devant respecter un format précis. 191 ont été déposés au total.
- Les « contributions » ou « points de vue », également sous forme de fichier mais d'un format plus libre que les cahiers d'acteurs, pouvant être déposés par tout participant s'exprimant en son nom propre ou représentant d'une personne morale. Au final, 328 points de vue sont à disposition sur le site internet.

4. <https://www.connaissancedesenergies.org/retour-sur-le-debat-public-de-la-ppe-180705>

La réunion de clôture du débat a eu lieu le 29 juin dernier au comité économique, social et environnemental. Désormais sont attendus la publication du compte rendu et le bilan de l'État, dans lequel ce dernier doit indiquer les enseignements qu'il tire

du débat public et la manière dont ils seront pris en compte dans la production du texte définitif.

Ce débat n'a pas seulement une utilité politique, mais il peut également constituer, pour les chercheurs en gestion intéressés par les questions de transition énergétique, une source considérable d'informations et de données disponibles en ligne et donc facilement accessible.

### Les nouvelles technologies et la transition énergétique

Même si cela n'a pas été considéré comme tel lors de la journée sur le thème des nouvelles technologies et de la transition énergétique, l'ensemble du dispositif mis en place autour du débat national sur la PPE peut lui aussi être considéré comme une nouvelle technologie. La journée était surtout axée sur quatre catégories de technologies : l'hydrogène, le stockage, la cogénération et le numérique. Mais avant de revenir sur les technologies dont il a été question, il faut s'interroger sur la définition de la transition énergétique.

#### *La transition énergétique*

*A priori*, la transition énergétique signifie le passage des énergies fossiles aux énergies renouvelables. Les énergies considérées comme renouvelables sont principalement l'énergie solaire, l'énergie éolienne, la géothermie, etc., mais les technologies exploitant ce type d'énergies ne sont finalement pas si « nouvelles » que ça, et commencent à se développer sur une grande échelle (avec, par exemple, près de 60 % d'énergie d'origine renouvelable en Suède). Néanmoins, l'intitulé de cette journée n'était pas « Les énergies renouvelables dans la transition énergétique » – c'eût été trop facile – mais bien « Les nouvelles technologies dans la transition énergétique ». Ainsi, la perspective est élargie, et faire le pont entre les « nouvelles technologies » et la transition énergétique passe par une autre définition de la transition énergétique, qui est alors vue comme un changement dans les modes de production et de consommation d'énergie. Si l'on prend plutôt cette définition, on ne s'intéresse plus tant à la distinction entre énergies fossiles et énergies renouvelables qu'à la capacité des innovations technologiques à répondre aux changements de production, et surtout d'usages. Ces changements peuvent être regroupés en deux catégories :

- l'électrification d'usages ayant auparavant massivement recours à des énergies polluantes et réduisant alors leurs émissions en étant alimentés par des sources d'énergie non-polluantes (avec des enjeux principalement en matière de mobilité et de transports) ;
- les économies d'énergie, en réduisant les pertes et/ou la consommation d'énergie, quelle que soit sa source (avec des enjeux principalement dans le domaine de la thermique, du bâtiment et l'industrie).

Ainsi, pour reprendre une définition plus complète de la transition énergétique synthétisant notre propos :

La transition énergétique consiste à passer de sources de production d'énergie polluantes et épuisables à des sources moins polluantes et durables, mais aussi à passer à une consommation parcimonieuse de l'énergie. (Bréchet *et al.*, 2015)

#### *Les nouvelles technologies*

Une meilleure intégration entre sciences dures et sciences humaines et sociales dans le domaine de la transition énergétique passe par une meilleure compréhension, par les ingénieurs et chercheurs en sciences dures, des enjeux humains et sociétaux,



mais également par une meilleure compréhension, du côté des sciences humaines et sociales, du vocabulaire utilisé par les premiers. Avant d'exposer les nouvelles technologies dont il a été question, on a donc jugé bon de fournir au lecteur un mémento faisant le point sur les grandes notions physiques que l'on peut rencontrer lorsqu'on s'intéresse aux questions énergétiques et dont la compréhension permet de mieux saisir les enjeux.

### Mémento « lexical » de physique pour néophytes s'intéressant aux problèmes énergétiques

#### Définitions

**Energie (E) :** capacité d'un système à produire un travail, mécanique ou équivalent, exprimée en joules (J) pour l'énergie à proprement parler, ou en tonne équivalent pétrole (tep), ou encore en wattheure (Wh) pour l'énergie électrique. Il s'agit d'un stock.

**Puissance (P) :** énergie produite ou consommée pendant une certaine unité de temps (t), exprimée en watts (W). Il s'agit d'un flux.

Ainsi, E et P sont liés par la relation  $P = E/t$  ou  $E = Pt$

**Rendement ( $\rho$ ) :** rapport entre l'énergie utile fournie et l'énergie totale consommée.

#### Multiples et sous-multiples usuels

$1 J = 1 Ws$  et  $1 h = 3600 s$

$\Rightarrow 1 Wh = 3600 J = 3,6 kJ$

$1 kWh = 1000 Wh = 3,6 MJ$

$1 MWh = 1000 kWh = 3,6 GJ$

$1 GWh = 1000 MWh = 3,6 TJ$

$1 TWh = 1000 GWh = 3,6 PJ$  (pétajoules)

$1 tep = 11,63 MWh = 11630 kWh$

#### Ordres de grandeur

L'énergie annuelle consommée en France est en moyenne de 3,7 tep par habitant, et en particulier 6,9 MWh d'électricité par habitant.

Chaque Français consomme en moyenne une puissance de 2kW d'électricité (en instantané).

Les lave-linges ont une puissance moyenne de 2200 W et une consommation moyenne comprise entre 0,2 et 0,3 kWh.

Sources : <http://webetab.ac-bordeaux.fr/Pedagogie/Physique/Physico/Electro/e08puiss.htm> pour la partie 1, Wikipédia pour la partie 2 et Banque mondiale pour la partie 3.

- L'hydrogène

L'hydrogène est un gaz, qui peut servir de carburant et présente l'avantage d'émettre moins de particules polluantes que les carburants traditionnels. On estime qu'on pourrait charger environ 10 millions de véhicules en combustible hydrogène (André & Tlili, 2018). Cette nouvelle technologie s'inscrit donc plutôt en réponse à la dimension « mobilité » de la transition énergétique.

L'hydrogène pourrait également servir à alimenter les réseaux de chauffage, se substituant ainsi au gaz naturel et répondant à la dimension « bâtiment ».

Une limite à son développement en tant que source nouvelle d'énergie est qu'il s'agit d'un gaz très volatile, donc difficile à transporter en limitant les pertes, même sur



*L'Épilogue, Deauville  
(2018)*

courte distance. De plus, pour le moment, sa production consomme plus d'énergie primaire qu'elle ne produit d'énergie secondaire.

Mais par ailleurs, l'hydrogène peut également constituer une forme de stockage d'énergie, *via* le *Power to gas*, ce qui conduit à la technologie suivante.

- *Le stockage et les transferts d'usage*

Les technologies de stockage d'électricité existent déjà depuis longtemps avec les barrages. Dans une moindre mesure, il en va de même pour les batteries, mais elles sont beaucoup moins puissantes et moins développées. En raison de l'intermittence des énergies renouvelables, liées à l'intensité du vent et du soleil notamment, et de nos besoins en énergie plus stables dans le temps, il est nécessaire de chercher des solutions de stockage si l'on veut que la part des EnR dans le mix énergétique augmente.

La principale innovation en matière de stockage, ce sont les transferts d'usage, aussi bien dans le domaine automobile que thermique. Les véhicules électriques peuvent en effet apporter de la flexibilité, en se chargeant et se déchargeant en fonction des besoins du réseau. Par ailleurs, le

chauffage est lui aussi marqué par une variabilité saisonnière, dont la source est thermique ; or, on sait déjà stocker de la chaleur, et ce à un coût raisonnable. Tout l'enjeu est alors de relier le lissage dont on a besoin à plus grande échelle (l'année) avec ce stockage thermique (Leblanc & Perdu, 2018).

Les principales limites au développement des technologies de stockage sont, d'une part, liées au fait que les batteries actuelles sont très gourmandes en terres rares, ce qui entre en contradiction avec l'idée de développement durable sous-jacente à la transition énergétique, et d'autre part que les réseaux énergétiques actuels sont encore inadaptés au stockage à grande échelle.

- *La cogénération*

La cogénération consiste à produire simultanément plusieurs types d'énergie, par exemple de l'énergie électrique en même temps que de l'énergie thermique. Toute production d'énergie entraînant nécessairement des pertes qu'il importe de « récupérer », les centrales nucléaires et thermiques – qui produisent de l'électricité – pourraient alors être source en même temps source de production d'énergie thermique (Leurent & Pallère, 2018).

Pour le moment, les réseaux de chaleur français ne sont pas encore assez grands, mais sinon ces énergies ont un fort potentiel de développement, aussi bien au niveau résidentiel qu'industriel. En outre, on notera que les réseaux de chaleur sont mieux adaptés aux courtes distances, et nécessitent donc d'être pilotés au niveau local.

- **Le numérique**

Le CEA a développé, dans le cadre de l'Alliance des sciences et technologies du numérique (Allistene), une feuille de route sur l'impact du numérique sur l'énergie (Patillon & Nominé, 2018).

Le premier point important de cette feuille de route est l'usine du futur et le jumeau numérique. Il faut ici distinguer deux facettes : d'une part la simulation (le jumeau numérique du réacteur nucléaire permet de le simuler au plus près de la physique, en intégrant l'ensemble des mesures sur site), de l'autre le système (qui permet de prendre l'usine dans sa globalité, et d'en faire une analyse décomposée en systèmes et sous-systèmes). Cela doit aboutir *in fine* à une simulation complète et pertinente, par exemple d'un réacteur.

Le deuxième point à souligner dans cette feuille de route est la certification des éléments, utilisant à la fois l'intelligence artificielle et la modélisation. Il est ainsi possible de réécrire de façon numérique, et non plus à la main, l'ensemble des tests pertinents pour certifier les différents composants, par exemple d'un smart grid.

Le troisième grand champ d'interactions entre numérique et énergie est occupé par les capteurs. En effet, on cherche à trouver des règles permettant d'optimiser les interventions visant l'excavation des réseaux de chaleur, sur des points où il y a des problèmes de fuites par exemple, et cela est facilité par les capteurs.

Enfin, le dernier point de la feuille de route met en avant l'importance de la veille énergétique, pour gérer les variations et optimiser le rapport production-consommation.

### **Pour une plus grande interdisciplinarité dans la transition énergétique**

La journée organisée par l'i-tésé du CEA appelait à une plus grande interdisciplinarité des recherches menées en matière énergétique. Cet appel est ici relayé, en montrant les initiatives encourageantes dans cette voie comme le grand débat national sur la PPE, malgré les limites de celui-ci, et en plaidant pour une meilleure intégration des recherches sur la question de la transition énergétique entre disciplines.

Comme on l'a vu, l'objectif du débat national sur la PPE était de mêler des participants venus de tous horizons, de toutes formations, et de toutes disciplines. Même si on n'a pas encore les informations sur les caractéristiques des répondants, les pouvoirs publics ont au moins eu l'initiative de mettre en place un dispositif permettant de confronter les points de vue, afin de s'approcher d'une forme de « démocratie de l'énergie » (Burke & Stephens, 2017).

Autour des questions de « développement durable » et de gouvernance s'est ainsi formée une problématique commune sur les procédures à mettre en place pour pouvoir rapprocher, ou au moins faire réfléchir et discuter, des acteurs aux intérêts potentiellement divergents. (Rumpala, 2008)

De manière un peu plus subjective, on regrettera néanmoins la faible communication qu'il y a pu avoir autour de cet événement, notamment à destination du « grand public ». Pour que cette initiative soit vraiment intéressante en termes de prise de décision publique comme en termes d'impact sur les lois et actions mises en œuvre dans le futur en faveur de la transition énergétique, il aurait été nécessaire que ce débat ne se cantonne pas aux milieux déjà sensibilisés à ces questions (en particulier associations et entreprises), et fasse véritablement interagir ces derniers avec les citoyens *lambda*. L'accent aurait en effet dû être mis davantage sur la communication

en amont, peut-être par une publicité dans les médias (presse, radio, télévision) à la manière de ce que propose régulièrement l'ADEME.

Une plus grande interdisciplinarité doit surtout se traduire par une meilleure intégration des recherches. Cela passe peut-être tout d'abord par un élargissement de ce qu'on appelle la « transition énergétique », à laquelle on préférera par exemple la notion de « transition durable » (*sustainable transition*) de Geels (2011). En effet, cette transition n'implique pas que des recherches dans le domaine énergétique à proprement parler, elle mobilise plusieurs types d'acteurs, dans des domaines connexes à celui de l'énergie (par exemple l'agriculture, les transports, le bâtiment, etc.).

Sustainability transitions are necessarily about interactions between technology, policy/power/politics, economics/business/markets, and culture/discourse/public opinion. (Geels, 2011, p. 25)

En outre, on assiste depuis quelques années à la multiplication des « scénarios » énergétiques, c'est-à-dire des outils de prospective qui vont orienter la décision et les recherches vers telle ou telle technologie. Ces scénarios sont produits par des organismes divers : des institutions internationales et nationales (Agence Internationale de l'Énergie, Conseil Mondial de l'Énergie, ou, en France, Ministère – via le Commissariat général au développement durable – ou ADEME) ; de grandes entreprises pétrolières (Shell, BP, Total, Statoil, etc.) ; des ONG et associations (Greenpeace, Négawatt) ; ou encore d'autres types d'organisations (consortiums d'industriels, avec par exemple le Conseil de l'hydrogène, qui réunit environ 25 industriels dans le monde).

Deux critiques peuvent être adressées à ces scénarios : d'une part, leur multiplication peut conduire à une certaine confusion, à la fois pour les chercheurs et pour les décideurs publics ou privés. De plus, dans la mesure où ils orientent la décision, les comportements et les choix de ces scénarios doivent être questionnés, car ils ne sont pas neutres. Ils peuvent ainsi être considérés comme des instruments de gestion, une « technologie invisible » (Berry, 1983), et doivent donc être questionnés comme tels.

Dès lors, l'interdisciplinarité des recherches sur les nouvelles technologies dans la transition énergétique implique, pour les enseignants-chercheurs, une plus grande sensibilisation en amont des étudiants dans tous les domaines relatifs à ces questions, et la coordination des efforts de recherche dans toutes les sciences afin de développer les technologies (au sens large du terme) permettant de répondre aux enjeux énergétiques de la transition vers une énergie plus propre et durable ■

## Références

- André Jean & Tlili Olfa (2018) “L'hydrogène, quand ? Pour quels marchés ?”, *Les nouvelles technologies dans la transition énergétique*, 10<sup>èmes</sup> Journées I-tésé, Saclay, 19 juin.
- Berry Michel (1977) *Une technologie invisible ? L'impact des instruments de gestion sur l'évolution des systèmes humains*, Paris, École polytechnique, Centre de Recherche en Gestion.
- Bréchet Thierry, Dessouroux Christian, Quadu Fiorella & Verelst Simon (2015) “Transition énergétique et fragmentation territoriale : une analyse prospective appliquée à la Wallonie”, *VertigO – la revue électronique en sciences de l'environnement*, vol. 15, n° 3.
- Burke Matthew J. & Stephens Jennie C. (2017) “Energy Democracy: Goals and Policy Instruments for Sociotechnical Transitions”, *Energy Research & Social Science*, vol. 33, pp. 35-48.



- Geels Frank W. (2011) “The multi-level perspective on sustainability transitions: Responses to seven criticisms”, *Environmental Innovation and Societal Transitions*, vol. 1, n° 1, pp. 24-40.
- Leblanc Elvire & Perdu Fabien (2018) “Les stockages d’énergie”, *Les nouvelles technologies dans la transition énergétique*, 10<sup>èmes</sup> Journées I-tésé, Saclay, 19 juin.
- Leloup Jacques (2003) “Le débat national sur les énergies”, *Réalités industrielles*, Août, pp. 15-20.
- Leurent Martin & Pallère Henri (2018) “La cogénération nucléaire, quel potentiel ?”, *Les nouvelles technologies dans la transition énergétique*, 10<sup>èmes</sup> Journées I-tésé, Saclay, 19 juin.
- Patillon Jean-Noël & Nominé Jean-Philippe (2018) “La révolution numérique au service de la transition énergétique”, *Les nouvelles technologies dans la transition énergétique*, 10<sup>èmes</sup> Journées I-tésé, Saclay, 19 juin.
- Rumpala Yannick (2008) “Le développement durable appelle-t-il davantage de démocratie ? : Quand le développement durable rencontre la gouvernance”, *VertigO – la revue électronique en sciences de l’environnement*, vol. 8, n° 2.

\*\*\* Pour aller plus loin \*\*\*

- [https://i-tese cea.fr/fr/Publications/LettreItese/Lettre\\_itese\\_34/index.php](https://i-tese cea.fr/fr/Publications/LettreItese/Lettre_itese_34/index.php)
- <https://ppe.debatpublic.fr/calendrier-carte-initiatives-du-debat-ppe#calendrier-html>
- <https://www.connaissancedesenergies.org/retour-sur-le-debat-public-de-la-ppe-180705>
- <https://webetab.ac-bordeaux.fr/Pedagogie/Physique/Physico/Electro/e08puiss.htm>
- <https://donnees.banquemondiale.org/theme/energie-et-mines>



*Le S'il-te-plait, Deauville (2018)*