



Cahiers François Viète

Épistémologie, Histoire, Sciences & Techniques

Série III — N° 12 — 2022

Synergies et persistances dans l'histoire des techniques de l'énergie

sous la direction de

Anaël Marrec



Centre François Viète
Nantes Université - Université de Bretagne Occidentale

SOMMAIRE

- ANAËL MARREC 5
Introduction – Histoire de l'énergie et approches systémiques : les synergies et les imaginaires énergétiques en question
- CLEMENT GAILLARD 27
Persistence et renouvellement des mentalités techniques : le cas de l'opposition entre les techniques solaires actives et passives en architecture
- ANAËL MARREC 49
Wave Converters against Energy Systems? Le Minous' Ram and the Cattaneo Ondo-Pump in the Frame of French Blue Coal Policy (1925-1945)
- ANTOINE MISSEMER 73
Un imaginaire fossilisé ? Les représentations économiques de l'énergie au défi de la transition bas-carbone
- ALAIN GRAS, CHARLES-FRANÇOIS MATHIS & ANAËL MARREC 95
Regards croisés avec Alain Gras et Charles-François Mathis : approches systémiques en histoire de l'énergie

Un imaginaire fossilisé ? Les représentations économiques de l'énergie au défi de la transition bas-carbone

Antoine Missemer*

Résumé

La transition d'un régime énergétique fossile vers un régime bas-carbone est l'un des grands défis du XXI^e siècle. Le sujet n'est pas seulement technique, mais aussi organisationnel et culturel, touchant aux représentations et aux usages de l'énergie. Cet article revient sur la façon dont se sont construites les représentations économiques conventionnelles de l'énergie depuis le XIX^e siècle, influençant ici et là la décision publique. À travers les exemples de la prospective et de la distinction renouvelables vs. épuisables, cet article suggère que des dépendances au sentier pèsent toujours sur ces représentations, et qu'à l'heure de penser la transition bas-carbone, sortir de ces dépendances semble essentiel.

Mots-clés : énergie, histoire de la pensée économique, prospective, transition énergétique, dépendance au sentier, performativité.

Abstract

The energy transition towards a low-carbon regime is a critical challenge for the 21st century. It is not only a matter of techniques, but also of social organization and cultural representations. This article explores how the ordinary economic representations of energy have been developed since the 19th century, and how they have influenced public decision-making. Through the examples of forecasting and of the distinction renewable vs. exhaustible resources, this article suggests that path dependencies still weight upon those views. When thinking about the low-carbon transition, getting out of these dependencies seems essential.

Keywords: energy, history of economic thought, forecasting, energy transition, path dependency, performativity.

* Chercheur au Centre international de recherche sur l'environnement et le développement (CIRED - CNRS).

LA TRANSITION d'un régime énergétique fossile très émetteur de CO₂ vers un régime bas-carbone est l'un des grands défis du XXI^e siècle. Une telle transition implique des changements techniques, vers de nouveaux modes d'extraction, de production et de distribution de l'énergie, mais aussi des changements organisationnels, territoriaux et sociétaux, pour adapter nos économies aux spécificités des énergies bas-carbone, notamment le solaire et l'éolien, tous deux caractérisés par une faible concentration et une intermittence supposément difficile à maîtriser.

Pour penser cette transition énergétique, les sciences sociales ont un rôle à jouer (Labussière & Nadaï, 2015). Les économistes ne sont pas en reste, sommés de concevoir des modèles intégrant les enjeux de soutenabilité (changement climatique, érosion de la biodiversité) pour mieux orienter la décision publique, et pour épauler les grands acteurs de l'économie, en particulier les énergéticiens, dans leur quête d'une rentabilité compatible avec les impératifs environnementaux.

Sur le volet énergétique, les économistes ne partent pas d'une feuille blanche. Depuis l'avènement de l'économie politique moderne, au XVIII^e siècle, ils n'ont cessé de s'interroger sur les enjeux énergétiques, de la gestion des forêts à l'hégémonie du pétrole, aussi bien à l'échelle de pays tout entiers que de biens et services individuels (Martinez-Alier, 1987 ; Christensen, 2004 ; Albritton Jonsson, 2013, 2020 ; Missemmer, 2017). Quelques contributions fondatrices ont jalonné l'histoire de la pensée économique de l'énergie, des travaux de W. Stanley Jevons (1865) sur le charbon, dans le contexte d'une suprématie britannique sans précédent, aux réflexions de Robert M. Solow (1974a, 1974b) sur l'avenir de la croissance, au moment du choc pétrolier, en passant par le modèle de Harold Hotelling (1931) sur l'épuisement optimal des ressources fossiles. Au moment de penser un nouveau régime énergétique, un monde bas-carbone, ces fondations ne risquent-elles pas de corseter le débat, de créer des dépendances au sentier, autrement dit d'empêcher économistes et décideurs d'envisager pleinement les nouveautés du XXI^e siècle ? C'est à cette question que cet article propose d'apporter une réponse.

Pourquoi s'intéresser aux représentations économiques de l'énergie, à la discipline économique en particulier ? Parce que l'économie occupe une place centrale dans l'expertise publique (Fourcade, 2009), pesant sur les politiques de régulation, influençant les comportements des consommateurs et façonnant la structure même des systèmes énergétiques, définis comme des combinaisons de dispositifs techniques et de configurations sociales, politiques et institutionnelles visant à mobiliser de l'énergie, depuis l'extraction jusqu'à l'utilisation finale (Debeir, Deleage & Hemery, 1986). Cette perfor-

mativité des énoncés économiques a souvent occupé l'attention (Callon, 1998 ; Brisset, 2018). Les enjeux énergétiques et environnementaux n'y échappent pas (Pottier, 2016). Au-delà de l'histoire particulière d'une discipline, s'intéresser aux représentations économiques de l'énergie permet de mieux saisir les changements induits par la transition bas-carbone.

Les objectifs de neutralité carbone à horizon 2050, en Europe comme ailleurs, obligent à des exercices de prospective, pour dessiner les contours de systèmes énergétiques compatibles avec des émissions de gaz à effet de serre réduites au minimum (pour un exercice récent, voir RTE, 2021). Le débat technologique au sein de ces exercices est intense, avec notamment une mise en opposition structurante entre ressources renouvelables et ressources épuisables, chacun s'accordant à préférer les premières aux secondes dans la définition d'un mix énergétique soutenable.

Ces deux enjeux — prospective et diptyque renouvelables vs. épuisables — illustrent avec acuité la question des dépendances au sentier dans l'imaginaire énergétique des économistes les plus influents, et méritent à ce titre un examen particulier. Dans la première section de cet article, la question de la prospective énergétique, du XIX^e siècle à la fin du XX^e siècle, est explorée pour souligner l'attrait continu de ces économistes pour les estimations quantitatives extrapolées du passé, au détriment d'une futurologie plus qualitative pourtant décisive pour penser le changement structurel. Dans la deuxième section, la distinction intuitive entre ressources renouvelables et ressources épuisables est questionnée au regard de ses implications économiques. Il n'est pas certain que cette distinction soit si décisive que cela alors qu'elle structure pourtant nombre de débats académiques et publics. Quelques remarques de conclusion viennent clore cette contribution.

Une prospective énergétique corsetée

Les économistes se sont adonnés à des exercices détaillés de prospective énergétique à partir des années 1970, dans le contexte du choc pétrolier, en particulier aux États-Unis. Ont alors été mobilisés des modèles dits sectoriels, pour l'offre et la demande d'électricité par exemple, ou des modèles plus globaux, macroéconomiques, dotés de modules énergétiques suffisamment précis pour en faire émerger des résultats sur l'avenir potentiel de la filière. Aujourd'hui, les modèles d'évaluation intégrée dits hybrides vont encore plus loin, avec l'ambition de coupler des représentations économiques (flux monétaires) avec des mesures physiques (barils de pétrole, tonnes de matériaux, etc.) pour construire des scénarios énergétiques les plus complets possible (Lefevre, 2016).

L'histoire de la prospective énergétique en économie est pourtant plus ancienne qu'il n'y paraît. Sans remonter aux préoccupations du XVIII^e siècle sur la durabilité des ressources sylvicoles et sur les premières alertes soulevées quant à la pérennité des activités minières (Warde, 2018 ; Albritton Jonsson, 2020), force est d'admettre que le XIX^e siècle n'a pas été avare en exercices de prospective, essentiellement pour le secteur charbonnier. Parmi les estimations recensées par Rolf Peter Sieferle (2001, p. 189), celle du Britannique W. Stanley Jevons (1866) ne manque pas d'attirer le regard, d'abord parce qu'elle est l'œuvre d'un des grands économistes théoriciens de la deuxième partie du XIX^e siècle, ensuite parce qu'elle s'avère, à l'époque, particulièrement pessimiste par rapport aux autres prévisions. Jevons estime à cent-dix ans les réserves de charbon encore disponibles, justifiant son horizon court par la prise en considération de mécanismes de prix et de demande annonçant une hausse exponentielle de la consommation.

L'exercice de prospective énergétique mené par Jevons repose sur l'extrapolation de tendances récentes, en particulier une consommation annuelle de charbon en hausse moyenne de 3,5 % par an. Les estimations fournies sont qualifiées d'hypothétiques, en ce sens que Jevons anticipe que la hausse des prix du charbon deviendra telle que la consommation ne pourra pas atteindre les niveaux prévus. Nulle trace cependant, chez Jevons, de quelconques scénarios alternatifs à son extrapolation initiale. Le futur énergétique décrit est un futur ancré dans les structures économiques existantes, où le charbon occupe une place incommensurable. Jevons juge que son travail est de prendre en considération des mécanismes multiples (effets du progrès technique sur les coûts, enjeux concurrentiels, réaction de la demande aux prix, etc.) mais en conservant une ambition simple : chiffrer l'offre et la demande futures d'énergie, ici du charbon, sur la base des évolutions observées par le passé.

L'initiative de Jevons va donner lieu, dans les décennies suivantes, à de nombreux travaux de quantification du futur énergétique, en écho aux Commissions royales s'interrogeant sur la place du charbon dans l'économie britannique (Price-Williams, 1889). John Marshall (1878), professeur au Yorkshire College, soulignera ainsi que l'épuisement du charbon est inévitable, quel que soit le niveau des réserves encore disponibles. Dans l'*Economic Journal*, Thomas Forster Brown (1891) fera confiance à la hausse des prix pour contenir la consommation de charbon, mais ne verra pas d'issue à l'épuisement des minerais de qualité supérieure.

La culture de la prospective quantitative bâtie à partir d'extrapolations de tendances passées va se consolider dans les premières décennies du XX^e siècle. Herbert S. Jevons, fils de W. Stanley et lui-même économiste, va reprendre à son compte la question du charbon dans son

ouvrage *The British Coal Trade* (1915), en produisant un exercice de prospective structurellement proche de celui de son père (prolongation des tendances récentes de consommation, scénario unique). À ce moment-là, l'économie britannique n'est plus aussi hégémonique dans le domaine énergétique qu'au milieu du XIX^e siècle, avec l'émergence de secteurs extractifs puissants en Allemagne ou encore aux États-Unis. Dans son extrapolation, Herbert S. Jevons (1915, p. 747) se démarque légèrement de son père en opérant à moyen terme une inflexion de tendance par rapport au rythme de croissance courant de la consommation de charbon, culminant à 4,8 tonnes par habitant et par an au milieu du XX^e siècle, pour décroître ensuite vers 4,4 tonnes par habitant et par an. Aucune explication n'est donnée à cette inflexion de tendance. Nous pouvons supposer que Herbert S. Jevons anticipe un certain progrès technique, à la marge, ou des changements dans les pratiques de consommation, mais rien ne nous en assure. La prospective reste chez lui cantonnée à une vision où des changements profonds de mix énergétiques ne sont pas envisagés (pour plus de détails sur la pensée énergétique de H. S. Jevons, voir Missemmer, 2015 ; Turnbull, 2017).

Aux États-Unis, les premières décennies du XX^e siècle voient l'émergence du mouvement institutionnaliste, sensible aux enjeux politiques et sociaux des activités économiques, rétif à l'abstraction théorique, et cherchant à mieux comprendre les ressorts concrets du développement industriel (Rutherford, 2011 ; Hédoïn, 2013). C'est dans ce contexte qu'émergent des travaux sur différents secteurs énergétiques, du charbon au pétrole, en passant par l'hydro-électricité (Pogue, 1921 ; Stocking, 1925 ; Lubin & Everett, 1927 ; Moulton, Morgan & Lee, 1929). À la Brookings Institution de Washington se constitue alors, autour du géologue, statisticien et économiste Frederick G. Tryon (1927), un groupe de chercheurs travaillant sur le rôle de l'énergie dans le développement économique (Missemmer & Nadaud, 2020). Il n'est alors plus question de traiter les sources énergétiques séparément, mais ensemble. Le futur énergétique prend une nouvelle dimension, où des substitutions entre ressources deviennent possibles. Fondamentalement toutefois, la nature de la prospective énergétique ne change guère. Il s'agit toujours de produire un scénario unique, quantitatif, extrapolé à partir de tendances passées. Les outils à disposition se trouvent enrichis, notamment grâce aux développements d'indices synthétiques de production et de consommation d'énergie, mais il n'est pas question d'envisager un avenir énergétique divergent de celui d'hier ou d'aujourd'hui. Malgré un contexte culturel et disciplinaire différent, les chercheurs de la Brookings restent donc fidèles aux représentations économiques anciennes de l'énergie. W. Stanley Jevons est d'ailleurs cité dans ces travaux des années 1920 et 1930 (Tryon & Rogers, 1930 ; voir aussi Missemmer, 2021).

Après la Seconde Guerre mondiale, la question des ressources naturelles et énergétiques va rester à l'agenda des économistes et responsables politiques anglo-saxons. Aux États-Unis, le rapport Paley de 1952 se veut confiant dans l'avenir énergétique, tout en invitant les responsables politiques à sécuriser les approvisionnements, localement et à l'étranger, dans le contexte des débuts de la Guerre froide. C'est au sein du laboratoire d'idées Resources for the Future (RFF), peu disruptif, que certains économistes vont poursuivre leurs travaux sur l'énergie. La publication de l'ouvrage *Scarcity and Growth* (1963) par Harold J. Barnett et Chandler Morse constitue, dans ce contexte, une étape importante, actant une vision optimiste du futur énergétique à partir d'une étude *rétrospective* du sort des ressources naturelles au cours des premières décennies du XX^e siècle. Porteurs d'un optimisme technologique et confiants dans les vertus autorégulatrices du marché, Barnett et Morse (1963, p. 169) observent avec sévérité les erreurs de leurs prédécesseurs, incapables d'envisager les changements profonds de mix énergétiques qui sont survenus, et dont les anticipations en termes de réserves et de prix se sont avérées largement erronées : contrairement aux prévisions, ni le charbon ni le pétrole n'ont vu leurs prix relatifs exploser au XX^e siècle. Deux lacunes sont identifiées dans les exercices passés de prospective : une insuffisante prise en considération du progrès technique à long terme ; et une négligence des mécanismes de substitution entre sources d'énergie, la plupart des travaux — à l'exception de ceux de la Brookings Institution peut-être — ayant toujours minoré la capacité du mix énergétique à évoluer.

Malgré l'avertissement de Barnett et Morse, le contexte de l'après-guerre n'est pas très favorable à ce que la science économique se départisse de ses anciens attraits pour les extrapolations quantitatives de tendances passées. Le formalisme mathématique a envahi tous les champs de l'expertise, et les développements de l'économétrie ont renforcé les outils de mesure et d'estimation à la disposition des économistes (Weintraub, 2002 ; Akhbar, 2019). Cet appétit du chiffre ne va pas inciter les prospectivistes à sortir des sentiers battus pour réfléchir plus ardemment aux changements structurels des systèmes énergétiques. Dans les années 1960, les prévisions de la demande d'électricité continuent de reposer sur l'extrapolation de tendances passées, produisant erreurs et approximations (Madureira, 2017). À la même époque, le développement de la modélisation ne fait que renforcer les habitudes : les modèles figent dans des équations des relations entre variables construites à partir du monde existant, et la calibration des modèles sur les données disponibles contribue elle aussi à inscrire le futur dans les structures passées ou actuelles de l'économie. Le célèbre rapport Meadows (1972) commandité par le Club de Rome, pour-

tant iconoclaste dans le paysage intellectuel du tournant des années 1970, subit lui aussi, à sa sortie, des critiques pour ses penchants à dépeindre le futur sur la base de simples extrapolations.

Le mathématicien Fred Roberts fait figure d'exception, à la fin des années 1960. Partisan des exercices de modélisation et de quantification, il estime toutefois nécessaire de repenser la prospective énergétique, en particulier du côté de la demande. Les simples extrapolations du passé ne fonctionnent pas. Il faut pouvoir modéliser la demande d'énergie en tenant compte des facteurs techniques (équipements à disposition) et institutionnels (réseaux, tarifications, etc.) susceptibles de l'influencer. Le changement structurel, du côté des usages énergétiques des consommateurs finaux, pourrait ainsi être mieux appréhendé, et anticipé, à travers ces facteurs. Les travaux de Roberts vont quelque peu influencer la prospective énergétique conduite à la RAND Corporation, laboratoire d'idées un temps financé par l'armée américaine et cherchant au tournant des années 1970 à diversifier ses domaines d'expertise (Turnbull, 2017, p. 225-226, 240), sans toutefois parvenir à infléchir les habitudes générales de la profession.

Au moment où les préoccupations énergétiques des économistes se renforcent, au début de la décennie 1970, les façons d'envisager le futur dévient donc peu des trajectoires antérieures. Les changements structurels de l'économie, en particulier via le progrès technique, sont qualifiés d'exogènes, impossibles à intégrer dans les modèles — reflet d'une conception providentielle des innovations dans l'esprit des économistes. Les représentations économiques conventionnelles de l'énergie, essentiellement quantitatives (réserves fossiles, prix), requièrent toujours davantage de données, collectées auprès des industriels, pour alimenter les exercices de prévision. Alors que le choc pétrolier finit d'attirer l'attention des responsables politiques et de l'opinion publique, ces représentations économiques vont avoir un effet performatif sur la politique énergétique. Au Royaume-Uni comme aux États-Unis, les gouvernements financent la constitution d'équipes chargées de collecter, de construire et de modéliser de nouvelles données énergétiques (Goodwin, 1981, p. 672 ; Turnbull, 2017, p. 206, 386). Ces modèles, souvent économétriques, permettent l'estimation d'indicateurs jusque-là approximatifs, comme l'élasticité de la demande d'énergie. Certains en concluent que la régulation publique n'est pas la mieux à même de gérer les pénuries présentes et futures, et que le libre marché devrait servir d'aiguillon. Bien entendu, la réceptivité des gouvernants à ce type d'arguments se situe dans un contexte plus général de renouveau du libéralisme économique, et l'opposition à une gouvernance centralisée, planifiée, de l'énergie est à inscrire dans la différenciation voulue par les États-Unis vis-à-vis du bloc soviétique (Goodwin, 1981 ; Pestre,

2020). Mais il est remarquable, également, de voir comment des représentations et des pratiques de la discipline économique, héritées de plusieurs décennies d'une prospective quantitative et extrapolative, ont pu avoir un effet performatif sur le pilotage des secteurs énergétiques à partir des années 1970. Et même si le projet *Independence* de Richard Nixon, ainsi que plusieurs programmes impulsés par Jimmy Carter, avaient l'ambition d'initier une véritable transition énergétique vers le nucléaire, les énergies nouvelles (solaire), et les carburants synthétiques (biocarburants), force est d'admettre que les économistes, comme les experts publics, ont continué de peiner à envisager des changements structurels radicaux des mix énergétiques (Yager, 1981 ; Bezdek & Wendling, 2002 ; sur le devenir de la prospective à partir des années 1970, voir aussi Vieille Blanchard, 2011).

En marge du sentier central de la prospective, même en omettant l'exception Roberts, l'histoire a connu, pourtant, des sentiers alternatifs. Mais ils n'ont jamais réussi à s'imposer. Dans les premières décennies du XX^e siècle, les travaux de Seabury Colum Gilfillan, initiateur d'une futurologie dédiée à des avens affranchis des contingences du présent, n'ont pas véritablement investi le domaine énergétique (Ballandonne, 2020). Après la Seconde Guerre mondiale, en France, le développement plus intense de la futurologie, à travers la revue *Futuribles* de Bertrand de Jouvenel, n'a eu qu'une influence marginale sur les études dédiées à l'énergie. L'attention portée par l'économiste et mathématicien Nicholas Georgescu-Roegen (1971) aux changements structurels de l'économie, en lien avec les enjeux environnementaux et énergétiques via la notion d'entropie thermodynamique, n'est pas parvenue, non plus, à remettre en cause les habitudes quantitatives et extrapolatives du paradigme dominant (Ferrari, 2012, 2021 ; Missemer, 2013 ; Couix, 2020). Dans les années 1980, la prospective libre, associant mathématiciens, économistes et spécialistes de l'énergie, a cherché à aller plus loin encore, en bâtissant des modélisations du futur libérées des infrastructures du présent. Pour ces prospectivistes, l'enjeu était explicitement « d'explorer des fonctionnements économiques [...] très différents de ceux du présent ou du passé » à partir d'un « jeu d'hypothèses » assurant « la cohérence des fonctionnements étudiés » (Courrège, Deflandre, & Matarasso, 1982, p. 10 ; voir aussi Matarasso, Valette & Britto, 1984). Cette prospective libre a suscité, un temps, l'intérêt des organismes de recherche, au premier rang desquels le Centre national de la recherche scientifique (CNRS), avant de les laisser finalement sur leur faim.

Aujourd'hui, dans les modèles courants, la production d'une multitude de scénarios quantitatifs, à partir de la variation de certains paramètres, permet de dessiner différents mondes futurs. Mais tous ces scénarios restent essentiellement ancrés dans des structures (relations entre variables,

calibration économétrique) projetées à partir du passé ou du présent. Rares sont celles et ceux qui s'autorisent à explorer des scénarios véritablement inattendus. Certains modèles de macroéconomie écologique, plutôt hétérodoxes, promettent de nouveaux programmes de recherche où le futur énergétique s'inscrirait dans des changements institutionnels et sociétaux de plus grande ampleur (nouveaux indicateurs de richesse, réduction du temps de travail, etc.), mais il est encore trop tôt pour juger de leur influence sur la discipline économique, et au-delà (Victor, 2019).

Comment envisager, dans ce cadre, une transition énergétique radicale, telle que l'histoire industrielle n'en a pas connu jusqu'alors ? L'enjeu n'est bien évidemment pas d'écarter tout travail quantitatif. Les chiffres sont essentiels. Il serait hasardeux d'en minimiser l'importance lorsque l'on sait que beaucoup des défis environnementaux et énergétiques qui se dressent devant nous sont affaire de quantités : émissions de CO₂, nombre d'espèces en danger, niveau des réserves fossiles, ou encore quantité de kWh consommés. Croire cependant que l'entreprise prospective ne passe que par la quantification, et surtout qu'elle doit reposer sur l'extrapolation de tendances héritées d'un passé plus ou moins récent, conduit à figer les représentations, à fossiliser l'imaginaire, à empêcher la conception de futurs radicalement nouveaux.

Charles-François Mathis (2020, 2021) a montré comment l'Angleterre victorienne s'est empêchée de penser toute alternative au charbon en bridant son imaginaire. Les représentations économiques contemporaines sont, en un sens, prisonnières du même piège. S'autoriser à penser le changement structurel, insérer du qualitatif dans les scénarios prospectifs sans verser dans la naïve utopie, s'émanciper des dépendances au sentier, voilà autant de nécessités pour envisager la transition bas-carbone.

La distinction trompeuse entre ressources renouvelables et ressources épuisables

Dans les scénarios prospectifs décrits ci-dessus, le mix énergétique est au cœur des enjeux. Le bois, le charbon, le pétrole, le gaz naturel, le vent, le solaire, les marées, la force animale, l'uranium, etc. sont autant de ressources énergétiques potentielles aux caractéristiques propres. On a coutume, à cet égard, de distinguer les ressources renouvelables des ressources épuisables, les premières offrant, *a priori*, des gages de durabilité supérieurs aux secondes. La distinction entre ressources renouvelables et ressources épuisables, si intuitive qu'elle puisse paraître, est en économie de l'énergie le résultat d'une construction conceptuelle, dont on peut trouver les racines au XIX^e siècle et dans les premières décennies du XX^e siècle (Missemer, 2020).

Auparavant, sous le régime à dominante organique (Wrigley, 1988), lorsque l'on cherchait à définir les combustibles, la frontière entre ressources renouvelables et ressources épuisables n'était pas si nettement tracée. Les craintes de voir les ressources sylvicoles, pourtant renouvelables, s'épuiser étaient réelles, mobilisant savants et institutions (Peyron, 2012 ; Warde, 2018). À partir du XIX^e siècle, la classification des ressources énergétiques en deux catégories — renouvelables et épuisables — va devenir structurante. C'est dans cette optique, par exemple, que l'Américain John Ise (1920, 1926), proche du mouvement institutionnaliste, va consacrer, dans les années 1920, un volume à la question forestière, et un autre volume, séparé, à la question pétrolière.

Construire des catégories conceptuelles à partir d'objets concrets n'est pas sans conséquence sur le regard que l'on porte sur telle ou telle source énergétique : définir les ressources épuisables à la manière de l'économiste Harold Hotelling (1931) comme un *stock fini d'actifs* conduit à rapprocher l'analyse énergétique de la théorie du capital plutôt que de l'économie des ressources naturelles (Missemer, 2019, 2020 ; Missemer, Gaspard & Ferreira da Cunha, 2022). L'enjeu n'est toutefois pas de revenir ici sur ces implications théoriques, mais d'observer plutôt comment la distinction renouvelables vs. épuisables a façonné l'analyse économique au XX^e siècle, et pourquoi elle pourrait être un frein, aujourd'hui, dans la capacité des sociétés à imaginer un monde bas-carbone.

Bien entendu, la distinction entre des ressources épuisables et des ressources renouvelables semble, à première vue, parfaitement justifiée. Certaines ressources, fossiles, ne se renouvellent qu'à l'échelle géologique et peuvent être qualifiées d'épuisables à l'échelle humaine dans la mesure où tout prélèvement en diminue d'autant le stock. D'autres ressources semblent totalement renouvelables, à l'instar du flux solaire journalier qui reste abondant à la surface du globe quels qu'en soient les usages. D'autres ressources encore peuvent paraître à la frontière de ces deux catégories : elles sont renouvelables, à condition que l'on en fasse un usage raisonnable, sans compromettre leurs rythmes de régénération naturelle (bois, pêcheries, etc.).

C'est donc l'économiste Harold Hotelling qui, en 1931, a consolidé ces catégories conceptuelles après que plusieurs de ses prédécesseurs ont esquissé de premières nomenclatures des ressources naturelles (Osborne, 1893 ; Fernow, 1902). En ouverture de son article fondateur, Hotelling (1931, p. 137-138) définit les ressources épuisables en contraste des ressources renouvelables et des ressources semi-renouvelables (bois, pêcheries, etc.), concentrant son attention ensuite sur les ressources épuisables à travers l'élaboration d'un modèle mathématique d'optimisation dynamique

resté jusqu'à aujourd'hui canonique. Les travaux de Hotelling vont être relativement ignorés jusqu'aux années 1950 et 1960, moment de renouveau pour l'économie des ressources naturelles. Du côté des renouvelables et semi-renouvelables, à la croisée de la recherche économique et biologique, H. Scott Gordon (1954) va proposer de modéliser l'usage des ressources halieutiques, lançant ainsi tout un programme de recherche sur les rendements maximum pouvant être atteints dans le respect des rythmes naturels de régénération. Le champ de la bioéconomie mathématique en découlera quelques années plus tard (Clark, 1976). Du côté des ressources épuisables, ce sont les années 1970 qui vont être particulièrement fécondes, avec l'émergence de modèles de croissance incluant des ressources finies (Solow, 1974a ; Stiglitz, 1974), et avec des travaux approfondis sur les conséquences de l'épuisement en termes de mécanismes de prix et de pérennité de l'activité économique (Hartwick, 1977 ; Dasgupta & Heal, 1979). Le sujet spécifiquement énergétique ne sera pas en reste, l'époque étant propice à traiter le pétrole comme la ressource épuisable par excellence (Nordhaus, 1973).

Aujourd'hui, ces deux traditions, portant sur les ressources renouvelables et semi-renouvelables d'un côté, et sur les ressources épuisables de l'autre, continuent de structurer la recherche et l'enseignement en économie. Le *Journal of Economic Literature*, périodique de référence, distingue clairement les articles portant sur les ressources renouvelables, labellisés Q2, de ceux portant sur les ressources épuisables, estampillés Q3. La plupart des manuels en tirent également leur architecture, dédiant certains chapitres aux ressources ou énergies renouvelables, d'autres aux ressources ou énergies épuisables (Hansen, Percebois & Janssens, 2019).

Depuis Hotelling, la plupart des modèles économiques dédiés à l'exploitation des ressources et énergies épuisables peinent pourtant à rendre compte des séries de prix et des niveaux de production observables dans l'industrie pétrolière, charbonnière ou gazière. Le modèle originel de Hotelling a fait l'objet de nombreux tests empiriques, peu concluants (Livernois, 2009 ; Slade & Thille, 2009). Ce hiatus entre théorie et pratique tient au fait que les marchés énergétiques ne dépendent pas tant que cela du caractère épuisable des ressources fossiles, dont les réserves supposées ou prouvées varient selon les estimations. Dans les modèles d'exploitation de ressources épuisables, le stock total de ressources est souvent présumé connu, avec quelques incertitudes. Si cette hypothèse n'est pas vérifiée dans la réalité, parce que l'on découvre toujours de nouvelles réserves ou parce que les estimations sont trop fluctuantes, la modélisation s'en trouve fragilisée.

Empiriquement, le marché pétrolier, sans compter son caractère oligopolistique et fondamentalement géopolitique, est fortement sujet à des contraintes géologiques comme la dispersion spatiale des gisements, la qualité hétérogène des hydrocarbures, ou encore le déclin de pression lors des forages. Ces propriétés pèsent bien davantage dans les prix et les niveaux de production observés que le caractère épuisable du pétrole. Autrement dit, ce qui importe économiquement, ce n'est pas tant l'épuisement ou le renouvellement d'une ressource, mais d'autres caractéristiques. Deux ressources spatialement dispersées, comme le charbon et le vent, auront peut-être plus de points communs, du point de vue économique, que deux ressources fossiles comme le charbon et le pétrole, qui n'ont pas les mêmes caractéristiques physiques, l'un étant solide, l'autre liquide. Cela peut paraître contre-intuitif, mais il est arrivé, au XX^e siècle, que certains le remarquent. Le juriste et économiste Andrew Alexander Bruce (1909) soulignait ainsi, dans le contexte des débats conservationnistes américains de la Progressive Era, que la capacité du pétrole et du gaz à se déplacer dans le sous-sol était susceptible de créer des problèmes de droits de propriété, deux exploitants forant le même gisement à quelques kilomètres d'intervalle pouvant entrer en conflit — d'où la législation des années 1920 portant sur le « risque de capture ». L'institutionnaliste Erich W. Zimmermann (1957) pointait également la fugacité du pétrole comme déterminant essentiel des conditions de marché (Turnbull, 2017, p. 160). Dans un ouvrage collectif traitant des énergies fossiles, Mason Gaffney (1967) préférait parler de ressources « extractives » plutôt qu'épuisables. Et plus près de nous, les travaux de Morris Albert Adelman (1990, 1993) n'ont pas manqué de souligner combien la finitude du pétrole n'avait finalement pas beaucoup de conséquences pour l'analyse économique, d'autres caractéristiques, en particulier la localisation des gisements, pesant bien davantage (Pottier, 2019).

Même s'il semble possible de relire le modèle de Hotelling (1931) en reléguant la distinction renouvelables vs. épuisables au second plan, au profit d'une attention plus prononcée pour d'autres contraintes géologiques (Ferreira da Cunha & Missemmer, 2020), force est de constater que la littérature économique, des années 1930 à aujourd'hui, a essentiellement pris pour acquise cette distinction, gardant, du côté des énergies fossiles, la question de l'épuisement comme socle de ses modèles, en y ajoutant ici et là des attributs géologiques ou économiques supplémentaires, mais sans jamais remettre en question ce socle-cœur (Ferreira da Cunha, 2020). Il s'agit là d'une dépendance au sentier particulièrement forte, dans la mesure où les tests empiriques, tout comme les quelques alternatives théoriques mentionnées plus haut, n'ont pas permis de remettre en cause les habitudes, avec des travaux sur les ressources renouvelables dans la tradition de Gordon

(1954), ou des travaux sur les ressources épuisables dans la filiation de Hotelling (1931) et de Solow (1974a, 1974b). Les représentations économiques contemporaines de l'énergie sont héritières de ces développements, d'où une lecture de la transition bas-carbone en termes de passage des énergies fossiles, dites épuisables, aux énergies nouvelles, dites renouvelables — la stratégie nationale bas-carbone (SNBC) de la France en témoigne en faisant la part belle aux « énergies renouvelables [pour] la décarbonation des vecteurs énergétiques » (MTES, 2020, p. 12).

Une telle représentation de la transition énergétique est pourtant porteuse de risques. Bien entendu, la distinction entre ressources renouvelables et ressources épuisables n'est pas dénuée de sens. Elle est même fondamentale dans le cadre d'une réflexion sur le développement durable à très long terme, pour que les générations futures ne soient pas privées d'un patrimoine naturel que les générations présentes auraient consommé. Simplement, d'un point de vue strictement économique, pour organiser la transition bas-carbone à court et moyen terme, il n'est pas certain que cette distinction soit la plus pertinente pour classer et appréhender les sources d'énergie à disposition. Est-ce la caractéristique principale d'une énergie bas-carbone que d'être renouvelable ? Cette question est en filigrane des débats entourant l'énergie nucléaire, décarbonée mais non renouvelable, et surtout productrice de déchets qu'on ne sait, pour l'heure, pas traiter — encore une caractéristique qui mériterait d'être prise en considération dans les nomenclatures. Une retenue d'eau pour la mise en action de turbines hydro-électriques a-t-elle plus en commun avec une mine de charbon ou un vent soufflant dans une vallée ? D'un point de vue économique, est-ce le caractère renouvelable ou intermittent du solaire qui pèse le plus dans la façon d'organiser le marché électrique ? Ces questions soulignent la nécessité de s'interroger constamment sur les propriétés des ressources énergétiques.

L'historiographie fournit des enseignements qui viennent renforcer ce diagnostic. Christopher F. Jones (2014) a montré combien la localisation et l'intensité énergétique du pétrole ont structuré l'organisation territoriale, et les paysages, du nord-est des États-Unis, entre la fin du XIX^e siècle et le milieu du XX^e siècle. Le fait que le pétrole soit liquide et puisse donc être transporté à moindre coût dans des oléoducs de plusieurs dizaines, voire centaines, de kilomètres a permis d'acheminer dans quelques centres urbains des quantités formidables d'énergie, pour les usages industriels et domestiques. En ont découlé des déséquilibres territoriaux sans précédent. Ce n'est pas le caractère épuisable du pétrole qui a conditionné cette structuration de l'espace, mais d'autres propriétés physiques. Aujourd'hui, les énergies bas-carbone appellent potentiellement de nouvelles organisations territoriales, autour de dispositifs décentralisés de production et de distribu-

tion de l'énergie. Là encore, ce n'est pas nécessairement le caractère renouvelable de ces énergies qui est en cause, mais d'autres attributs (faible concentration, distribution spatiale, etc.), plus déterminants.

D'un point de vue technique, lorsque l'on s'intéresse aux convertisseurs, ou aux dispositifs de stockage de l'énergie, on se rend d'ailleurs compte que beaucoup des énergies dites renouvelables reposent sur des dispositifs aux soubassements matériels non renouvelables, ne serait-ce que les métaux nécessaires à la production d'éoliennes, de panneaux solaires et de batteries. Une technologie énergétique prise dans sa globalité est donc une combinaison d'éléments renouvelables et non renouvelables. D'un point de vue social et politique, les institutions et formes organisationnelles pèsent dans les choix énergétiques d'une société, soit parce que certains vecteurs énergétiques favorisent des groupes sociaux au détriment d'autres, soit parce que la filière se prête peu aux bifurcations. Les travaux de Timothy Mitchell (2011) sur l'usage du charbon puis du pétrole comme outil de contrôle politique, ou encore les travaux d'Andreas Malm (2016) sur l'intrication entre énergies fossiles et concentration du pouvoir économique, apportent ici des éclairages significatifs. La situation française illustre par ailleurs combien la promotion des énergies renouvelables, par essence dispersées, peut se heurter à une organisation centralisée du réseau comme des acteurs de la filière électrique, mettant en doute l'avènement d'une véritable transition systémique (Evrard, 2014 ; Aykut & Evrard, 2017 ; plus généralement sur les limites de la notion de transition énergétique, voir Fressoz, 2013 ; Dubey & Gras, 2021).

La distinction entre ressources renouvelables et ressources épuisables n'est donc pas nécessairement la plus pertinente pour qualifier les propriétés d'un système énergétique. Les raisons ne manquent pas, tant sur le plan économique que sociotechnique, pour admettre une nouvelle fois que l'imaginaire s'est fossilisé autour de catégories conceptuelles héritées de deux siècles de théories et de modélisations, au risque de perdre de vue les enjeux profonds de la transition bas-carbone.

Conclusion : la fin des fossiles ?

À l'heure d'envisager la transition bas-carbone, les défis semblent à la fois immenses et inédits. Changer les modes de production, de distribution et d'utilisation de l'énergie, veiller à la pérennité du patrimoine naturel, tant en termes de ressources et d'espaces qu'en termes de biodiversité, changer le rapport culturel, voire éthique, des sociétés les plus industrialisées avec le monde naturel impliquent un élan collectif de grande ampleur. L'histoire fournit des enseignements précieux, pour mieux comprendre les obstacles

au changement, et pour voir que les sociétés d'hier n'ignoraient pas, loin de là, nombre des défis environnementaux et énergétiques que l'on croit propres au XXI^e siècle (Mathis & Massard-Guilbaud, 2019 ; Fressoz & Locher, 2020).

Les représentations économiques contemporaines de l'énergie sont les héritières d'au moins deux siècles d'idées, de débats et de constructions conceptuelles dont il est parfois difficile d'avoir conscience, et dont il est d'autant plus difficile de se départir. Imaginer un monde sans énergie fossile pour le XXI^e siècle nécessite pourtant, au moins partiellement, de se libérer de certaines dépendances au sentier tendant à fossiliser l'imaginaire. La démonstration en a été faite pour la pensée politique (Kelly, 2019 ; Charbonnier, 2020). Nous avons tâché, ici, d'en esquisser les directions pour la pensée économique.

N'envisager le futur énergétique qu'à travers des scénarios quantitatifs ancrés dans les structures du passé porte le risque de restreindre le champ des possibles, au moment justement où il est nécessaire d'opérer des changements structurels profonds dans les systèmes économiques. Lire la transition énergétique à travers le diptyque énergies renouvelables vs. épuisables risque également de faire passer à côté d'enjeux essentiels en termes de caractéristiques physiques des ressources mobilisées, et en termes de dispositifs sociotechniques associés à leurs usages.

Sur ce dernier point, lorsqu'ils mobilisent la catégorie « énergies renouvelables », les historiens ne manquent pas de souligner combien les succès ou les échecs de ces énergies ont, par le passé, dépendu de contingences n'ayant finalement qu'indirectement à voir avec le caractère renouvelable de la ressource (Marrec, 2018). Le choix de François Jarrige et d'Alexis Vriignon de parler, dans *Face à la puissance* (2020), d'énergies « alternatives », en tâchant de situer les énergies dites renouvelables dans un cadre plus général, peut être une première étape pour libérer l'imaginaire des nomenclatures du passé.

Si la transition bas-carbone requiert un mouvement inédit, sans doute faut-il, pour la mener à bien, en finir tout autant avec les fossiles énergétiques qu'avec les fossiles conceptuels et théoriques qui restent pour l'heure excessivement structurants dans la littérature académique et dans le débat public.

Remerciements

L'auteur remercie la coordinatrice du numéro pour ses encouragements et ses conseils précieux dans la préparation de cette contribution. Merci également à Sylvie Ferrari pour les échanges que nous avons eus au sujet de

l'histoire de la prospective énergétique en économie, et aux rapporteurs anonymes, dont l'expertise a permis ici d'améliorer substantiellement ce texte.

Références

- ADELMAN Morris Albert (1990), « Mineral Depletion, with Special Reference to Petroleum », *Review of Economics and Statistics*, vol. 72, n° 1, p. 1-10.
- ADELMAN Morris Albert (1993), *The Economics of Petroleum Supply. Papers by M. A. Adelman 1962-1993*, Cambridge/Londres, MIT Press.
- AKHABBAR Amanar (2019), *Wassily Leontief et la science économique*, Lyon, ENS Éditions.
- ALBRITTON JONSSON Fredrik (2013). *Enlightenment's Frontier. The Scottish Highlands and the Origins of Environmentalism*, New Haven/Londres, Yale University Press.
- ALBRITTON JONSSON Fredrik (2020), « The Coal Question before Jevons », *Historical Journal*, vol. 63, n° 1, p. 107-126.
- AYKUT Stefan & EVRARD Aurélien (2017), « Une transition pour que rien ne change ? Changement institutionnel et dépendance au sentier dans les "transitions énergétiques" en Allemagne et en France », *Revue internationale de politique comparée*, vol. 24, p. 17-49.
- BALLANDONNE Matthieu (2020), « The History of Futures Studies: A Note on Gilfillan's Early Work », *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 157, 119983.
- BARNETT Harold J. & MORSE Chandler (1963), *Scarcity and Growth. The Economics of Natural Resource Availability*, Baltimore, John Hopkins Press.
- BEZDEK Roger H. & WENDLING Robert M. (2002), « A Half Century of Long-Range Energy Forecasts: Errors Made, Lessons Learned, and Implications for Forecasting », *Journal of Fusion Energy*, vol. 21, n° 3-4, p. 155-172.
- BRISSET Nicolas (2018), *Economics and Performativity. Exploring Limits, Theories and Cases*, Londres, Routledge.
- BROWN T. Forster (1891), « The Coal Question », *Economic Journal*, vol. 1, n° 4, p. 663-674.
- BRUCE Andrew Alexander (1909), « The Conservation of Our Natural Resources and of Our National Strength and Virility », *University of Pennsylvania Law Review and American Law Register*, vol. 58, n° 3, p. 125-162.
- CALLON Michel (éd.) (1998), *Laws of Market*, Oxford, Blackwell Publishing.

- CHARBONNIER Pierre (2020), *Abondance et liberté. Une histoire environnementale des idées politiques*, Paris, La Découverte.
- CHRISTENSEN Paul P. (2004), « Economic Thought, History of Energy in », dans Cutler J. CLEVELAND (éd.), *Encyclopedia of Energy*, vol. 2, p. 117-130.
- CLARK Colin W. (1976), *Mathematical Bioeconomics. The Optimal Management of Renewable Resources*, New York, Wiley & Sons.
- COUX Quentin (2020), *Ressources naturelles, thermodynamique et théorie économique de la production. Une perspective historique et méthodologique*, Thèse de doctorat, Université Paris 1.
- COURREGÉ Philippe, DEFLANDRE Jean & MATARASSO Pierre (1982), *Modèles macroéconomiques pour la prospective libre*, Working Paper, CNRS Programme Interdisciplinaire de Recherche sur les Sciences de l'Énergie et des Matières Premières (PIRSEM), Paris.
- DASGUPTA Partha S. & HEAL Geoffrey (1979), *Economic Theory and Exhaustible Resources*, Londres, James Nisbet Co. and Cambridge University Press.
- DEBEIR Jean-Claude, DELEAGE Jean-Paul & HEMERY Daniel (1986), *Les Servitudes de la puissance, une histoire de l'énergie*, Paris, Flammarion.
- DUBEY Gérard & GRAS Alain (2021), *La servitude électrique. Du rêve de liberté à la prison numérique*, Paris, Seuil.
- EVARD Aurélien (2014), « Les énergies renouvelables et l'électricité. À propos d'un conflit entre un secteur et une alternative de politique publique », *Écologie & Politique*, vol. 49, p. 67-80.
- FERNOW Bernhard E. (1902), *Economics of Forestry*, New York, Crowell & Co.
- FERRARI Sylvie (2012), « Fondements et enjeux bioéconomiques de la durabilité : l'apport de Nicholas Georgescu-Roegen », dans Arnaud DIEMER (éd.), *Les Économistes et le développement durable*, Paris, (Economia, p. 76-94.
- FERRARI Sylvie (2021), « Éthique et bioéconomie chez Nicholas Georgescu-Roegen », *Cahiers d'économie politique*, vol. 79, n° 1, p. 213-242.
- FERREIRA DA CUNHA Roberto P. (2020), « Non-Renewable Resource Economics and Geological Constraints: A Review », *Economia - History | Methodology | Philosophy*, vol. 10, n° 3, p. 507-519.
- FERREIRA DA CUNHA Roberto P. & MISSEMER Antoine (2020), « The Hotelling Rule in Non-Renewable Resource Economics: A Reassessment », *Canadian Journal of Economics*, vol. 53, n° 2, p. 800-820.
- FOURCADE Marion (2009), *Economists and Societies. Discipline and Profession in the United States, Britain, and France, 1890s to 1990s*, Princeton, Princeton University Press.

- FRESSOZ Jean-Baptiste (2013), « Pour une histoire désorientée de l'énergie », *Entropia*, vol. 15, <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00956441/document>
- FRESSOZ Jean-Baptiste & LOCHER Fabien (2020), *Les Révoltes du ciel. Une histoire du changement climatique XV^e-XX^e siècle*, Paris, Seuil.
- GAFFNEY Mason (éd.) (1967), *Extractive Resources and Taxation*, Madison/Milwaukee/Londres, University of Wisconsin Press.
- GEORGESCU-ROEGEN Nicholas (1971), *The Entropy Law and the Economic Process*, Cambridge (MA), Harvard University Press.
- GOODWIN Craufurd D. (éd.) (1981), *Energy Policy in Perspective: Today's Problems, Yesterday's Solution*, Washington, Brookings Institution.
- GORDON H. Scott (1954), « The Economic Theory of a Common-Property Resource: The Fishery », *Journal of Political Economy*, vol. 62, n° 2, p. 124-142.
- HANSEN Jean-Pierre, PERCEBOIS Jacques & JANSSENS Alain (2019), *Énergie. Économie et politiques*, Louvain-la-Neuve, De Boeck (3^e édition).
- HARTWICK John M. (1977) « Intergenerational Equity and the Investing of Rents from Exhaustible Resources », *American Economic Review*, vol. 67, n° 5, p. 972-974.
- HEDOIN Cyril (2013), *L'Institutionnalisme historique et la relation entre théorie et histoire en économie*, Paris, Classiques Garnier.
- HOTELLING Harold (1931), « The Economics of Exhaustible Resources », *Journal of Political Economy*, vol. 39, n° 2, p. 137-175.
- ISE John (1920), *The United States Forest Policy*, New Haven, Yale University Press.
- ISE John (1926), *The United States Oil Policy*, New Haven, Yale University Press.
- JARRIGE François & VRIGNON Alexis (éds.) (2020), *Face à la puissance. Une histoire des énergies alternatives à l'âge industriel*, Paris, La Découverte.
- JEVONS Herbert Stanley (1915), *The British Coal Trade*, Londres, Kegan Paul, Trench, Trübner & Co.
- JEVONS William Stanley (1866), *The Coal Question. An Inquiry Concerning the Progress of the Nation, and the Probable Exhaustion of our Coal Mines*, Londres, Macmillan (2^e édition).
- JONES Christopher F. (2014), *Routes of Power. Energy and Modern America*, Cambridge (MA)/Londres, Harvard University Press.
- KELLY Duncan (2019), *Politics and the Anthropocene*, Cambridge (UK), Polity Press.
- LABUSSIÈRE Olivier & NADAÏ Alain (2015), *L'énergie des sciences sociales*, Paris, Alliance Athena.

- LEFEVRE Julien (2016), *Hybridization Challenges in Energy-Economy Integrated Models and Representation of the Low Carbon Transition: An Application to the Brazilian Case*, Thèse de doctorat, Université Paris-Saclay.
- LIVERNOIS John (2009), « On the Empirical Significance of the Hotelling Rule », *Review of Environmental Economics and Policy*, vol. 3, n° 1, p. 22-41.
- LUBIN Isador & EVERETT Helen (1927), *The British Coal Dilemma*, New York, Macmillan.
- MADUREIRA Nuno Luis (2017), « The Confident Forecaster. Lessons from the Upscaling of the Electricity Industry in England and Wales », *Business History*, vol. 59, n° 3, p. 408-430.
- MALM Andreas (2016), *Fossil Capital. The Rise of Steam Power and the Roots of Global Warming*, Londres, Verso.
- MARREC Anaël (2018), *Histoire des énergies renouvelables en France, 1880-1990*, Thèse de doctorat, Université de Nantes.
- MARSHALL John (1878), « The Coal Question », dans Thomas E. THORPE (éd.), *Coal: Its History and Uses*, Londres, Macmillan, p. 292-319.
- MARTINEZ-ALIER Joan (1987), *Ecological Economics - Energy, Environment and Society*, Oxford, Basil Blackwell Ltd.
- MATARASSO Pierre, VALETTE François & BRITTO Marucia (1984), « L'exploitation des ressources énergétiques renouvelables en climat méditerranéen : une méthode de prospective libre adaptée à l'aménagement rural », *Bulletin de la Société Botanique de France. Actualités Botaniques*, vol. 131, vol. 2-4, p. 559-571.
- MATHIS Charles-François (2020), « The Impossible Transition ? The Fatality of Coal in the United Kingdom », *Journal of Energy History*, vol. 4, <https://energyhistory.eu/en/special-issue/impossible-transition-fatality-coal-united-kingdom>
- MATHIS Charles-François (2021), *La civilisation du charbon en Angleterre, du règne de Victoria à la Seconde Guerre mondiale*, Paris, Vendémiaire.
- MATHIS Charles-François & MASSARD-GUILBAUD Geneviève (éds.) (2019), *Sous le soleil. Systèmes et transitions énergétiques du Moyen Âge à nos jours*, Paris, Éditions de la Sorbonne.
- MEADOWS Donella H., MEADOWS Denis L., Randers Jørgen & BEHRENS III William W. (1972), *The Limits to Growth, A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind*, Londres, Potomac Associates.
- MISSEMER Antoine (2013), *Nicholas Georgescu-Roegen, pour une révolution bioéconomique*, Lyon, ENS Éditions.
- MISSEMER Antoine (2015), « La peur du déclin économique face à l'épuisement des ressources naturelles, de W. Stanley Jevons à Herbert S. Jevons (1865-1915) », *Revue économique*, vol. 66, n° 5, p. 825-842.

- MISSEMER Antoine (2017), *Les Économistes et la fin des énergies fossiles (1865-1931)*, Paris, Classiques Garnier.
- MISSEMER Antoine (2019), « Des énergies fossiles aux actifs épuisables, une histoire de l'analyse économique (1865-1931) », dans Charles-François MATHIS & Geneviève MASSARD-GUILBAUD (éds), *Sous le soleil. Systèmes et transitions énergétiques, du Moyen-Âge à nos jours*, Paris, Éditions de la Sorbonne, p. 299-310.
- MISSEMER Antoine (2020), « L'invention des catégories énergétiques par les économistes », dans François JARRIGE & Alexis VRIGNON (éds), *Face à la puissance. Une histoire des énergies alternatives et renouvelables à l'âge industriel*, Paris, La Découverte, p. 229-237.
- MISSEMER Antoine (2021), « The History of Environmental and Energy Economics through the Lens of Political Economy », dans Éloi LAURENT & Klara ZWICKL (éds), *The Routledge Handbook of the Political Economy of the Environment*, Londres, Routledge, p. 60-71.
- MISSEMER Antoine, GASPARD Marion & FERREIRA DA CUNHA Roberto P. (2022), « From Depreciation to Exhaustible Resources: On Harold Hotelling's First Steps in Economics », *History of Political Economy*, vol. 54, n° 1, p. 109-135.
- MISSEMER Antoine & NADAUD Franck (2020), « Energy as a Factor of Production: Historical Roots in the American Institutional Context », *Energy Economics*, vol. 86, 104706.
- MITCHELL Timothy (2011), *Carbon Democracy. Political Power in the Age of Oil*, Londres/New York, Verso.
- MOULTON Harold G., MORGAN Charles S. & LEE Adah L. (1929), *The St. Lawrence Navigation and Power Project*, Washington, Brookings Institution.
- MTES (2020), *Stratégie nationale bas-carbone. Révisée et complète*, Ministère de la transition écologique et solidaire, https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/2020-03-25_MTES_SNBC2.pdf
- NORDHAUS William D. (1973), « The Allocation of Energy Resources », *Brookings Papers on Economic Activity*, vol. 1973, n° 3, p. 529-576.
- OSBORNE Grover Pease (1893), *Principles of Economics. The Satisfaction of Human Wants*, Cincinnati, Robert Clarke and Company.
- PESTRE Dominique (2020), « Comment l'environnement a été géré depuis 50 ans. Anatomie d'un échec », dans Ève CHIAPPELLO, Antoine MISSEMER & Antonin POTTIER (éds), *Faire l'économie de l'environnement*, Paris, Presses des Mines, p. 17-36.
- PEYRON Jean-Luc (2012), « À quel âge exploiter les arbres ? La réponse de quelques membres éminents de l'Académie d'agriculture de France : Buffon, Duhamel du Monceau et Varenne de Fenille », *Comptes rendus de l'Académie d'agriculture de France*, vol. 97, n° 4, p. 147-154.

- POGUE Joseph E. (1921), *The Economics of Petroleum*, New York, Wiley & Sons.
- POTTIER Antonin (2016), *Comment les économistes réchauffent la planète*, Paris, Seuil.
- POTTIER Antonin (2019), « The Fragile Cornerstone of Resource Economists: Is Hotelling's Model Relevant? », communication présentée à *Economics and the Environment since the 1950s - History, Methodology and Philosophy, International Workshop*, Université de Reims Champagne-Ardenne (France).
- PRICE-WILLIAMS Richard (1889), « The Coal Question », *Journal of the Royal Statistical Society*, vol. 52, n° 1, p. 1-46.
- RTE (2021), *Futurs énergétiques 2050. Bilan de la Phase I*, Réseau de transport d'électricité, <https://www.rte-france.com/actualites/bilan-de-la-phase-6-scenarios-pour-letude-futurs-energetiques-2050-6-scenarios-neutralite-carbone>
- RUTHERFORD Malcom (2011), *The Institutional Movement in American Economics, 1918-1947*, New York, Cambridge University Press.
- SIEFERLE Rolf Peter (2001), *The Subterranean Forest. Energy Systems and the Industrial Revolution*, Cambridge (UK), The White Horse Press.
- SLADE Margaret E. & THILLE Henry (2009), « Whither Hotelling: Test of the Theory of Exhaustible Resources », *Annual Review of Resource Economics*, vol. 1, p. 239-260.
- SOLOW Robert M. (1974a), « Intergenerational Equity and Exhaustible Resources », *Review of Economic Studies*, vol. 41, n° 5, p. 29-45.
- SOLOW Robert M. (1974b), « The Economics of Resources or the Resources of Economics », *American Economic Review*, vol. 64, n° 2, p. 1-14.
- STIGLITZ Joseph E. (1974), « Growth with Exhaustible Natural Resources: Efficient and Optimal Growth Paths », *Review of Economic Studies*, vol. 41, n° 5, p. 123-137.
- STOCKING George Ward (1925), *The Oil Industry and the Competitive System*, Clifton, Augustus M. Kelley.
- TRYON Frederick G. (1927), « An Index of Consumption of Fuels and Water Power », *Journal of the American Statistical Association*, vol. 22, n° 159, p. 271-282.
- TRYON Frederick G. & ROGERS H. O. (1930), « Statistical Studies of Progress in Fuel Efficiency », dans F. zur NEDDEN & C. T. KROMER (éds), *Transactions Second World Power Conference (Berlin)*, Berlin, Vdi-Verlag Gmbh, p. 343-365.

- TURNBULL Thomas (2017), *From Paradox to Policy: The Problem of Energy Resource Conservation in Britain and America, 1865-1981*, Ph.D. Thesis, University of Oxford.
- VICTOR Peter A. (2019), *Managing without Growth. Slower by Design, not Disaster* Cheltenham/Northampton, Edward Elgar Publishing (2^e édition).
- VIEILLE BLANCHARD Élodie (2011), *Les limites à la croissance dans un monde global - Modélisations, perspectives, réfutations*, Thèse de doctorat, École des hautes études en sciences sociales.
- WARDE Paul (2018), *The Invention of Sustainability. Nature and Destiny, c. 1500-1870*, Cambridge (UK), Cambridge University Press.
- WEINTRAUB E. Roy (2002), *How Economics Became a Mathematical Science*, Durham/Londres, Duke University Press.
- WRIGLEY E. Anthony (1988), *Continuity, Chance and Change. The Character of the Industrial Revolution in England*, Cambridge (UK), Cambridge University Press.
- YAGER Joseph A. (1981), « Energy in America's Future: The Difficult Transition », dans Craufurd D. GOODWIN (éd.), *Energy Policy in Perspective: Today's Problems, Yesterday's Solutions*, Washington, Brookings Institution, p. 637-663.
- ZIMMERMANN Erich W. (1957), *Conservation in the Production of Petroleum. A Study in Industrial Control*, New Haven, Yale University Press.