

1.5. Synthèse des séances plénières. Complexité et transition énergétique

Alexis Drogoul - IRD

Production, distribution et consommation d'énergie : un ensemble de systèmes complexes

Les interventions^[6] effectuées dans le cadre des JTD 2016 ont brossé un portrait extrêmement riche des réflexions actuelles sur l'ensemble des phénomènes regroupés sous le terme de « transition énergétique ». Sous l'angle de leurs disciplines respectives, les intervenants ont su mettre en exergue les aspects économiques, sociaux, politiques mais aussi écologiques et environnementaux des nombreuses initiatives existantes ou planifiées. Il est ressorti de cet ensemble d'exposés trois grandes tendances :

- tout d'abord une assez nette séparation entre, d'une part, des travaux portant sur la description de « transitions énergétiques » déjà à l'œuvre (Sébastien Velut, Laurent Gazull, Pierre-Yves Le Meur, Javier-Gil Quijano^[7]) et, d'autre part, des travaux ayant pour vocation de prescrire et de concevoir des transitions énergétiques à venir (parce qu'inéluctables ou nécessaires : Jean-Marc Châtaignier, Michel Eddi, Gaël Giraud) ;
- une certaine difficulté, partagée par tous les intervenants, à donner une définition claire et acceptée de tous à la notion même de « transition énergétique », en particulier dans des contextes aussi différents que ceux présentés dans les exposés (parle-t-on de la même chose lorsque l'on décrit les politiques de transition énergétique à l'échelle de l'Europe et les pratiques à l'échelle d'un village ?) ;

[6] Les interventions utilisées dans ce texte concernent, d'une part, les présentations des intervenants en plénière (Gaël Giraud, Pierre-Yves Le Meur, Laurent Gazull, Sébastien Velut), dont le texte est disponible dans cet ouvrage, et, d'autre part, deux allocutions d'ouverture (Michel Eddi, pour le CIRAD, et Jean-Marc Châtaignier, pour l'IRD).

[7] La présentation de Javier-Gil Quijano est disponible sous forme de vidéo à l'adresse suivante : <http://www.tamdaoconf.com/2017/03/10/synthese-des-seances-plenieres-5/>

- une constatation commune que ces différents phénomènes ne peuvent être appréhendés, étudiés ou conçus qu'en tenant compte des multiples interactions qu'ils entretiennent avec les socioécosystèmes où ils se déploient (ou sont censés se déployer).

Ce dernier point a particulièrement retenu mon attention. Jean-Marc Châtaignier, Michel Eddi, Gaël Giraud, Sébastien Velut, Laurent Gazull et Pierre-Yves Le Meur ont tous, dans des registres différents, insisté sur le fait que parler de transition, souhaitée ou constatée, dans le seul domaine énergétique, ne capturerait qu'une infime partie de la réalité. D'un point de vue descriptif, toute évolution en termes de pratiques énergétiques ne peut se comprendre correctement que rapportée à des évolutions parallèles qui l'accompagnent ou avec lesquelles elle apparaît enchevêtrée : évolutions démographiques, économiques, écologiques, alimentaires, agricoles, sociales. Inversement, comme cela a été souligné plus particulièrement par Michel Eddi, aucune prescription ou planification de transitions énergétiques ne peut faire l'économie d'une réflexion sur la manière de faire évoluer parallèlement ces autres domaines. Sébastien Velut et Pierre-Yves Le Meur ont enfoncé le clou sur ce point en prenant une perspective historique plus large, le premier plaçant la transition énergétique actuelle dans une succession de transitions, le second s'appuyant sur les travaux de Leslie White concernant la corrélation entre complexification sociale et usage de l'énergie.

La diversité des intervenants a de plus permis de constater que les interrelations entre transition énergétique et évolution socioécosystémique sont fortement dépendantes des points de vue et des horizons envisagés. Cela est particulièrement vrai concernant la question des « échelles » : l'échelle spatiale ou sociale choisie pour décrire ou prescrire une transition en termes de distribution ou de consommation d'énergie va se traduire par des différences non seulement *quantitatives* mais aussi *qualitatives*. Javier-Gil Quijano montre ainsi que les choix de gouvernance et les choix technologiques ne peuvent pas être les mêmes à l'échelle d'une commune et à l'échelle de l'Europe, un point également souligné par Sébastien Velut, pour qui les choix faits à l'échelle mondiale ne rendent pas compte des transitions à l'œuvre aux niveaux locaux. Le passage à l'échelle impose d'inventer de nouvelles formes (de production, de distribution, de consommation), dont certaines n'ont rien à voir avec une transformation « isomorphe » des solutions locales, en particulier parce que de nouveaux acteurs interviennent et que des contraintes technologiques différentes s'appliquent. Sébastien Velut et Pierre-Yves Le Meur vont plus loin et insistent tous deux sur le caractère multiscalair de la transition énergétique, c'est-à-dire sur la nécessité de prendre en compte *simultanément* différentes échelles sociales et spatiales pour l'appréhender, parce que les mécanismes étudiés apparaissent, entre autres du fait de l'interdépendance des réseaux de distribution, *fortement liés*, et parce que les négociations font intervenir des acteurs hétérogènes représentant différents niveaux d'organisation sociale (populations, bailleurs de fonds, gouvernements, ONG, etc.).

Il est intéressant de constater, à cet égard, que l'échelle temporelle, pourtant essentielle – voire nécessaire – à la définition d'une *transition* (qui implique *a priori* un *avant* et un *après*), est celle qui, finalement, a été la moins explicitement convoquée, notamment dans les exposés à vocation « prescriptive » (Jean-Marc Châtaignier, Gaël Giraud, Michel Eddi), où seule une réflexion sur l'urgence (ou sur une *date limite* de transition, chez Gaël Giraud) a prévalu. Et pourtant, comme le souligne Laurent Gazull, une réflexion sur la transition énergétique ne peut pas faire l'économie

de cet aspect : les solutions considérées comme satisfaisantes à une échelle de temps donnée le restent-elles indéfiniment ? Au vu des interrelations qu'elles entretiennent avec d'autres évolutions, on est en droit d'en douter, ce qui implique de s'interroger sur la *durabilité* des choix énergétiques à différents horizons temporels. Inversement, comme le rappelle Javier-Gil Quijano, les choix technologiques effectués dans le passé pour mettre en œuvre des solutions impriment forcément un rythme – et une inertie – aux transitions à venir : basculer le réseau européen de distribution d'énergie vers un mode plus décentralisé en termes de production et de consommation ne se fera pas en un jour, quel que soit par ailleurs la volonté politique de le faire. La dynamique temporelle, comme les dynamiques spatiales et sociales, doit être abordée de façon multiscalaire.

À l'issue de ces interventions, la question que posent, d'une part, les interactions multiples entre dynamiques (sociales, spatiales, temporelles) et, d'autre part, la nécessité d'aborder simultanément différentes échelles (d'analyse ou de conception) est celle de la *posture* à adopter pour en rendre compte de la meilleure façon possible ou tout simplement pour la *penser*.

L'approche qualifiée de « systèmes complexes » (Banos, 2015) apporte une réponse possible à cette question. Elle permet en effet de considérer un système (ensemble *a priori* cohérent de composants en interaction) dans son intégralité, en termes de structure(s), d'interactions (possiblement non-linéaires), d'existence et d'émergence de niveaux d'organisation différents, et de comportements collectifs non-triviaux : auto-organisation, bifurcations, boucles de rétroaction entre composants. L'approche complexe propose une vision à l'opposé d'une vision réductionniste, en tentant de conserver la richesse (en termes de composants, d'interactions, etc.) du système aussi loin que possible dans l'analyse ou dans la conception.

Apports d'une approche « complexe » aux réflexions sur la transition énergétique

Adopter une approche où les « systèmes énergétiques » seraient analysés comme des « systèmes complexes » offre une possibilité de représenter avec toute la richesse nécessaire leurs évolutions, notamment par la prise en compte des boucles de rétroaction entre leurs composants à différentes échelles de temps et d'espace. Quel intérêt à cela ?

Penser « complexe » plutôt que « simple »

Tout d'abord, peut-être, une capacité immédiate à mettre à l'épreuve les solutions « simples » et « évidentes » que l'on voit fleurir dans la littérature spécialisée en les confrontant à leurs éventuelles contradictions internes, à savoir qu'une solution plébiscitée par des analyses effectuées à une échelle donnée peut ne plus l'être à une échelle différente. Prenons par exemple le cas d'une transition vers l'énergie solaire : si tout le monde s'accorde à reconnaître son intérêt, Javier-Gil Quijano a montré qu'elle ne pouvait pas être généralisée à grande échelle en raison des problèmes de « lissage » et de pics de consommation, et le problème de son stockage rejoint l'interrogation de Sébastien Velut sur la durabilité des solutions énergétiques : que deviennent par exemple les batteries et les capteurs une fois leurs dates de péremption dépassées, et la nécessité de renouveler ces dispositifs

technologiques ne risque-t-elle pas de générer des problèmes plus graves que ceux que la mise à disposition d'énergie solaire semble résoudre ?

Penser « rupture » plutôt que « permanence »

Une leçon qu'une posture « complexe » peut nous apprendre est qu'il est nécessaire, en permanence, de repenser les *a priori* et les résultats considérés comme acquis, car la caractéristique première d'un système complexe est de pouvoir changer d'état (ou « d'attracteur ») de façon parfois brutale sans forcément de signes annonciateurs. Par exemple, quelle garantie peut-on avoir que le postulat énoncé par Gaël Giraud, selon lequel existe une relation linéaire intangible entre le produit intérieur brut et la consommation d'énergie – vérifiée sur les 50 dernières années – restera vrai demain, qui plus est dans un monde supposé être *en transition* ? *A priori* aucune, car, dans un système complexe, *le passé n'est pas forcément le meilleur prédicteur du futur* (Edmonds et Gershenson, 2015).

Penser « interdépendance » plutôt que « causalité »

Un autre apport de cette approche est de considérer que les composants, ou les sous-systèmes, d'un système complexe entretiennent entre eux des interactions constantes, appelées « boucles de rétroaction », *via* lesquelles ils s'influencent mutuellement et grâce auxquelles des propriétés émergentes peuvent voir le jour à des niveaux plus élevés. Toute action individuelle, toute interaction entre composants peut donner naissance à des formes ou à des dynamiques *qualitativement* nouvelles et l'approche complexe dispose d'outils permettant de représenter et de penser cette émergence. Elle fournit ainsi un cadre analytique possible aux différents exposés qui, tous, à leur façon et dans leur domaine, ont mis en évidence la difficulté à concilier l'unicité d'une politique de transition énergétique avec l'hétérogénéité des participants devant la mettre en œuvre. Cette vision systémique fortement dynamique permet de comprendre certaines corrélations comme des interdépendances et de dépasser les approches causales, difficiles à mobiliser pour rendre compte de phénomènes aussi riches que les mécanismes « d'économie circulaire » décrits par Laurent Gazull, par exemple. Elle permet également, et cela est souvent crucial pour appréhender les évolutions possibles d'un système ou suivre sa dynamique passée, de construire des indicateurs à la confluence d'un ou plusieurs composants du système, comme ceux évoqués par Pierre-Yves Le Meur (inégalités sociales ou différences culturelles pour rendre compte de l'impact des innovations) ou Laurent Gazull (déforestation, études d'impact, pour évaluer les conséquences de l'usage de biomasse). La transition opérée en Europe, des compteurs électriques vers les « *smart meters* » présentés par Javier-Gil Quijano, en est un autre exemple : de simple outil de mesure de l'énergie consommée, ce dispositif devient un capteur opérant à la jonction des sphères sociales et énergétiques, indicateur des comportements et préférences individuels vis-à-vis de la consommation d'électricité.

Penser systèmes en interaction

Si l'approche complexe invite à penser les systèmes énergétiques comme des « tous » composites, elle invite également à les appréhender comme des composants possibles d'autres systèmes plus vastes, dans lesquels de multiples boucles de rétroaction les incluant sont susceptibles d'exister. Ainsi, Pierre-Yves Le Meur, Sébastien Velut ou Gaël Giraud ont bien montré les innombrables interactions existant entre, d'une part, le « système énergie » et la construction du pouvoir politique et, d'autre part, le mode de gouvernement et la production et distribution de cette énergie.

Acteurs et jeux d'acteurs

Ce qui découle de la plupart de ces points – et en particulier du dernier – est que le principal apport d'une approche complexe, d'un point de vue méthodologique, réside dans la possibilité de rendre compte des acteurs dans leur hétérogénéité, aux multiples échelles auxquels ils opèrent, avec leur stratégie et leurs interactions décrites de façon explicite. Sébastien Velut, dans son exposé, montre bien, en effet, que la difficulté de gérer correctement certaines formes de transition énergétique réside dans la contradiction entre l'inscription locale de la grande majorité des acteurs concernés et l'inscription globale des choix ou stratégies énergétiques envisagés. Cette contradiction rend malaisée toute démarche qui ne pourrait pas prendre en compte les deux échelles simultanément, notamment quand la transition en termes d'énergie nécessite une évolution équivalente du point de vue social, politique ou économique. Pierre-Yves Le Meur montre ainsi l'interdépendance étroite entre modes de vie et consommation d'énergie ; Laurent Gazull insiste lui sur l'acceptabilité sociale des artefacts ou des technologies sous-jacentes, dans son cas la transformation de la biomasse en biocarburant, comme préalable à une transition large ; et Gaël Giraud ouvre une perspective plus large en montrant comment le prix de l'énergie peut dépendre d'acteurs tout à fait extérieurs (compagnies d'assurance, banques, marchés dérivés, etc.). En dépit de la différence entre leurs domaines d'étude, tous disent la même chose : aucune politique de transition énergétique ne peut faire l'économie d'un accompagnement social élargi aux acteurs avec qui des boucles de rétroaction potentielles existent.

Contraintes d'une approche « systèmes complexes »

Les exposés précédents semblent prendre en compte la dimension de complexité nécessaire à l'appréhension des cas d'études présentés, mais l'expérience montre qu'il y a loin du discours à la méthodologie dès lors que cette complexité dépasse un certain seuil ou que les boucles de rétroaction sont trop nombreuses. Les caractéristiques d'un système complexe d'un point de vue méthodologique apparaissent en effet souvent déroutantes et peu adaptées à des approches de recherche « classiques ». Elles peuvent en effet se révéler :

- contre-intuitives : les résultats peuvent aller à l'encontre de toutes les attentes basées sur le « bon sens » ;
- confuses : les processus à l'œuvre sont individuellement compliqués et interagissent de façon trop enchevêtrée pour pouvoir être suivis en détail ;

- non linéaires : des changements apparemment insignifiants dans les conditions initiales peuvent entraîner une différence significative dans les résultats ;
- qualitativement différentes : les résultats de l'évolution du système peuvent faire émerger des processus d'un *type* différent de ceux à l'œuvre initialement ;
- spécifiques : les principes et les schémas particuliers qui s'appliquent à un système peuvent ne pas fonctionner pour un système apparemment semblable ;
- causalement ouvertes : l'arrivée de nouveaux facteurs peut radicalement changer les « règles du jeu ».

Ces caractéristiques exigent de nouveaux outils pour pouvoir être prises en compte correctement. Au-delà des outils conceptuels (autour des approches popularisées par Morin (2007) ou Le Moigne (1999), une approche « complexe » doit pouvoir s'appuyer sur des outils opérationnels, permettant à la fois de capturer les systèmes dans toute leur richesse et de généraliser les résultats au-delà des cas d'études spécifiques étudiés. Au rang de ces outils figurent les modèles (comme l'indique Gaël Giraud, qui y voit la seule façon rationnelle de pouvoir penser, comprendre, proposer et évaluer des solutions de transition énergétiques) et en particulier les modèles informatiques, comme les modèles à base d'agents (Drogoul *et al.* 2002), développés à partir de la fin des années 1980 pour répondre en partie à cette problématique.

Utiliser des modèles informatiques comme base des réflexions ne va évidemment pas de soi pour de nombreux domaines de recherche, en particulier dans les sciences sociales. Mais il apparaît de plus en plus clairement que cette évolution est inéluctable, notamment parce que :

- les domaines plus proches des sciences de l'ingénieur ont déjà recours à des modèles pour évaluer la faisabilité de leurs propositions technologiques et que la seule façon d'y introduire des aspects liés aux acteurs sociaux est de participer, le plus en amont possible, à leur conception. Cette co-construction interdisciplinaire est actuellement au cœur de nombreuses approches dans l'étude des socioécosystèmes *via* l'hybridation de modèles (Drogoul *et al.* 2016) et permet de prendre en compte à la fois les contraintes et les souhaits de chacune des parties prenantes de façon méthodologiquement fondée ;
- au-delà de l'effort même de modélisation, les méthodes modernes de simulation informatique de ces modèles permettent aux chercheurs d'explorer les scénarios d'évolution ou de transition possibles en tenant compte de très nombreuses variables et de l'évolution parallèle d'autres systèmes ;
- enfin, il est important de souligner, comme le fait Gaël Giraud, que les évolutions des « forçages » à grande échelle (comme ceux liés aux facteurs climatiques, économiques ou démographiques) sont elles-mêmes, maintenant, issues de modèles proposant différents scénarios. Toute étude sérieuse de la transition énergétique doit pouvoir s'appuyer dessus.

La difficulté, dans cet exercice nouveau pour beaucoup de scientifiques, est essentiellement due au décalage entre les attentes (parfois naïves) qu'ils peuvent avoir vis-à-vis de la modélisation et la réalité de ce que sont les approches modernes de la modélisation des systèmes complexes. En effet, des outils de modélisation et de simulation comme la plateforme GAMA offrent une beaucoup

plus grande liberté que les outils classiques (essentiellement mathématiques, encore utilisés dans de nombreux domaines comme l'économie), en permettant, par exemple, de ne pas avoir à simplifier outre mesure les données qualitatives disponibles (comportements des acteurs), mais elle se fait au prix, néanmoins, d'une plus grande difficulté d'interprétation, par les modélisateurs, des « résultats » obtenus (Grignard *et al.* 2013). À cela, plusieurs raisons, dont la principale est que ces nouveaux types de modèles ne peuvent plus être utilisés à des fins prédictives : ils permettent, souvent, d'explorer différents scénarios, mais sans pouvoir leur attribuer de probabilité d'occurrence. Une éducation à la conception et à l'interprétation de ces nouveaux types de modèles est donc nécessaire avant d'envisager qu'ils ne deviennent la norme.

Conclusion

Ce que révèlent (et ce que partagent) les précédentes interventions est que nous rentrons pleinement dans un monde fait d'incertitudes, comme le précise Pierre-Yves Le Meur, concernant à la fois l'évolution des systèmes énergétiques (quelles technologies, quels choix ?) et l'évolution des interactions entre les acteurs de ces systèmes (populations, opérateurs, États). Si, pour les citoyens, elles signifient devoir s'adapter et accepter de vivre dans un environnement moins sûr et moins prévisible, ces incertitudes posent aussi de considérables défis aux scientifiques, aussi bien en termes d'analyse que de conception de nouveaux systèmes. Le panorama fourni par les intervenants est à ce titre passionnant et a pleinement relevé la gageure de parler de façon didactique et riche de « transition énergétique » dans une école dédiée aux sciences sociales, ce qui n'allait pas forcément de soi sur le papier.

Parce qu'elles n'ont pas encore investi massivement ce nouveau champ de recherches, les sciences sociales ont été en toute logique fortement interpellées, et à plus d'un titre, par les exposés. Tous, y compris le plus technique (celui de Javier-Gil Quijano) ont finalement posé en filigrane la même question : quelle(s) société(s) la (les) transition(s) énergétique(s) à venir dessinent-elles et comment faire en sorte qu'elle(s) soi(en)t la (les) plus harmonieuse(s) possible(s) ? Que les équilibres parfois précaires construits sur une politique énergétique existante ne soient pas brutalement rompus ? Que les acteurs sociaux soient tous impliqués dans la conception et le devenir des systèmes énergétiques sur lesquels leurs sociétés reposeront ? Que la transition énergétique ne soit pas que le résultat d'une contrainte « physique » ou « environnementale » (changement climatique, raréfaction des énergies fossiles, pollution) mais qu'elle devienne une opportunité de réduire les fractures sociales et de faire accéder les plus défavorisés à une énergie propre et bon marché ?

Le message à destination des chercheurs est en tout cas clair : il est nécessaire que les sciences sociales investissent ce champ de recherches et y prennent toute leur place, mais il faut pour cela qu'elles se dotent d'outils nouveaux, en premier lieu d'outils de modélisation, afin de pouvoir pleinement construire de nouveaux mariages entre les sciences de l'homme, de l'environnement et de l'ingénieur.

Bibliographie

Banos, A. (2015), « La ville, un système complexe ? Les nouveaux enjeux de la modélisation urbaine », in Lagrée St. (dir), « Regards sur le développement urbain durable. Approches méthodologiques, transversales et opérationnelles », *Conférences et Séminaires*, n° 13, AFD-EFÉO.

Drogoul, A., Q. Huynh Nghi et C. Truong Quang (2016), *Coupling Environmental, Social and Economic Models to Understand Land-Use Change Dynamics in the Mekong Delta*, *Frontiers in Environmental Science*, vol. 4, 2016, <http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fenvs.2016.00019>

Drogoul, A., D. Vanbergue et T. Meurisse (2002), "Multi-Agent Based Simulation: Where are the Agents?" In: Simão Sichman J., F. Bousquet et P. Davidsson (dir) *Multi-Agent-Based Simulation II*. MABS 2002. *Lecture Notes in Computer Science*, vol 2581, Springer, Berlin, Heidelberg.

Edmonds, B. et C. Gershenson (2015), "Modelling Complexity for Policy: opportunities and challenges". In: Geyer, R. & Cairney, P. (dir) *Handbook on Complexity and Public Policy*. Cheltenham: Edward Elgar, pp. 205-220.

Grignard, A., P. Taillandier, B. Gaudou, D. An Vo, N. Huynh et A. Drogoul (2013), "GAMA 1.6: Advancing the Art of Complex Agent-Based Modeling and Simulation", *In the 16th International Conference on Principles and Practices in Multi-Agent Systems (PRIMA)*, 8291, pp. 242–258.

Le Moigne, J-L. (1999), *La modélisation des systèmes complexes*, Dunod.

Morin, E (2007), "Restricted Complexity, General Complexity", in: *Worldviews, Science and Us: Philosophy and Complexity*. Gershenson et al. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., pp. 5-29.