HAL
open science

Modèle d'analyse locorégional des systèmes énergétiques

Khaled Ibrahim, Marie-Hélène de Sède-Marceau

To cite this version:

Khaled Ibrahim, Marie-Hélène de Sède-Marceau. Modèle d'analyse locorégional des systèmes énergétiques. Septièmes Rencontres de Théo Quant, Jan 2005, Besançon, France. http://thema.univ-fcomte.fr/theoq/pdf/2005/TQ2005%20ARTICLE%207.pdf. hal-00904074

HAL Id: hal-00904074

https://hal.science/hal-00904074

Submitted on 13 Nov 2013

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Modèle d'analyse locorégional des systèmes énergétiques

Khaled IBRAHIM, **Marie-Hélène De SÈDE** : *Laboratoire ThéMA UMR-6049 du CNRS, Université de Franche-Comté, 32, rue Mégevand, 25000 Besançon*

Email : kibrahim25@yahoo.fr
marie-helene.de.sede.marceau@univ-fcomte.fr

RÉSUMÉ : *le défi majeur qui se pose aujourd'hui à tout acteur du système énergétique est de rendre compte des rapports, à la fois contradictoires et simultanés, entre mondialisation et décentralisation, d'une part, et entre développement socio-économique et développement durable, d'autre part. Ce défis doit être abordé par une approche globale, seule capable d'appréhender toute la complexité du problème, induite par les interactions des facteurs socio-économiques, politiques, technologiques et environnementaux. Cette approche doit être menée en replaçant le système énergétique dans un cadre territorial permettant de saisir les logiques et les implications spatiales des différentes composantes du système.*
Dans ce sens, une modélisation systémique d'un système énergétique territorial est proposée. Il en découle deux niveaux de représentation et d'analyse : d'abord, un schéma d'organisation et d'évolution représentant le système énergétique comme un ensemble d'éléments en interaction (contenu) dans un référentiel spatio-temporel (contenant) ; ensuite, une grille d'analyse du système énergétique qui combine deux approches, approche territoriale locorégionale (du niveau local au niveau régional) et analyse dynamique. À partir de cette grille, un cadre méthodologique est proposé pour l'élaboration d'un système d'information et de simulation dynamique des systèmes énergétiques territoriaux à l'échelle locorégionale, dont nous avons tracé les contours en termes d'architecture et de méthodes de formalisation.

ABSTRACT: *the major challenge which arises for any actor of the energy system is to account for the contradictory and simultaneous reports, between globalization and decentralization, on the one hand, and between socio-economic development and sustainable development, on the other hand. This challenge must be approached by a global approach only able to apprehend all the complexity of the problem induced by the interactions of the socio-economic, political, technological and environmental factors. This approach must be carried out by replacing the energy system within a territorial framework, that makes possible the understanding of spatial implications of the various components of the system.*
In that way, a systemic modelling of a territorial energy system is proposed. It results two levels of representation and analysis. The first one is a diagram of organization and evolution representing the energy system like a set of elements in interaction (contained) in a reference space-time frame (container). The second level is a grid of analysis of the energy system which combines two approaches: territorial approach of the local and the regional levels and a dynamic analysis. From this grid, a methodological framework is proposed for the development of an information and dynamic simulation system of the territorial energy systems at the local and regional level scales.

MOTS CLÉS : systèmes énergétiques, modèle d'analyse, approche territoriale, analyse dynamique, analyse spatio-temporelle

KEYWORDS: energy systems, models of analysis, territorial approach, dynamics analysis, space-time analysis

L'énergie au cœur des mutations actuelles et des enjeux futurs

L'un des défis majeurs du XXIe siècle est certainement la mise à disposition d'une énergie bon marché pour maintenir l'offre dans les pays développés et la rendre accessible dans les pays en développement. Cette disponibilité devrait être en outre sans préjudices supplémentaires aux équilibres de l'écosystème terrestre afin d'assurer sa pérennité et le maintien d'un espace anthropique viable. Dans ce sens, l'enjeu énergétique aujourd'hui consiste à répondre au principe du développement durable qui, en tout domaine, préconise des objectifs à même de « répondre aux besoins des générations actuelles sans compromettre ceux des générations futures », tels que définis au Sommet de Rio de Janeiro de 1992[1].

Globalement, le bilan énergétique mondial repose, aujourd'hui, essentiellement sur les énergies fossiles primaires. L'offre est actuellement satisfaisante et même excédentaire, mais soumise à de très fortes tensions du fait de la croissance continue de la demande. Si les prévisions sur les disponibilités de ces ressources diffèrent, il reste que les réserves sont limitées et géographiquement très localisées. Ceci provoque des tensions continuelles d'ordre économique, face au spectre de la pénurie, et/ou géopolitique dans la course à la sécurité d'approvisionnement et au contrôle des gisements. De par ce constat, et devant la nécessité de concevoir une perspective pour la production d'énergie accessible et économique surtout plus soucieuse de l'environnement, une nouvelle approche se développe depuis quelques années à l'échelle mondiale ou nationale[1,2,3]. Elle est basée sur des principes tels que le développement durable, l'aménagement du territoire par des compétences territoriales homogènes et la bonne gouvernance, impliquant l'acceptabilité des projets par les populations et leur participation active à leurs élaborations[3]. Elle se manifeste notamment par les protocoles et conventions tendant à limiter ou à réduire les émissions des gaz à effet de serre (Conférence de La Haye de mars 1989, Sommet de la Terre de Rio de Janeiro en juin 1992, Convention-Cadre des Nations Unis sur le changement de climat complétée par le protocole de Kyoto en novembre 1997), à promouvoir la part des énergies renouvelables dans la production d'électricité, à améliorer le rendement et la sûreté des filières classiques (co-génération, centrales thermiques à cycle combiné, nouvelles générations de centrales nucléaires), à diminuer l'empreinte écologique due à la production et à la consommation énergétiques. Dans le domaine nucléaire, par exemple, les efforts actuels déployés en France, dans le cadre de la loi Bataille de 1999 (Bataille et Galley, 1999), visent à concevoir des cycles de combustible fermés et des technologies de gestion sûres des déchets nucléaires, afin de donner à cette filière un réel avantage, en se basant sur le fait qu'elle soit faiblement émettrice de gaz à effet de serre.

Cependant, toutes ces solutions préconisées ou mises en œuvre se caractérisent par une absence quasi totale d'interactions entre elles. En effet, chacune de ces approches est souvent mise en œuvre séparément des autres avec des données et une méthodologie propres. De plus, ce sont toutes des démarches internationales ou nationales qui n'intègrent que très peu les spécificités régionales et locales. Ceci est dû principalement à un défaut de coordination entre les acteurs du secteur énergétique, dont le poids relatif a sensiblement changé depuis les vingt dernières années. Les réponses à cette *nouvelle crise énergétique* née à la fin du siècle dernier ne peuvent se concevoir sans une *mutation organisationnelle* des systèmes énergétiques au sens d'une prise en compte objective des évolutions technologiques des filières énergétiques, du poids relatif des acteurs (classiques ou nouveaux) et de l'évolution de l'environnement économique (mondialisation…), social et politique (décentralisation, déréglementation…).

Dans ce contexte de mutations profondes de la structure énergétique, les géographes commencent à se préoccuper, outre des aspects quantitatifs ou explicatifs traditionnels, de l'analyse de la structure énergétique de systèmes géographiques (Brunet *et al.*, 1993). Cette nouvelle approche a été favorisée par l'évolution conceptuelle de la géographie, qui permet de saisir la complexité et les implications sociales, économiques, culturelles et politiques des usages de l'énergie (Claval, 2001).

Nous nous proposons de contribuer à mettre en évidence la nécessité et la possibilité d'une approche globale et territoriale qui est seule capable d'appréhender toute la complexité du système énergétique. Dans ce contexte, notre objectif premier consiste à réaliser une analyse territoriale du système énergétique sous ses différents aspects : classiques, dans un premier temps, relatifs aux modes structurels et organisationnels des systèmes énergétiques (production, distribution et consommation) ; ensuite, sous l'angle des facteurs organisant ce système dans leurs implications spatiales et temporelles (évolutions des facteurs politiques, économiques, sociaux, technologiques et environnementaux).

---

[1] Organisation des Nations Unis (ONU), Rapport sur les recommandations du Sommet de Rio de Janeiro (Brésil), www.uno.org, 1992

[2] Ministère Délégué à l'Industrie, 2003, *Livre Blanc sur les Energies*. (www.industrie.gouv.fr/energie).

[3] Loi n°99-533 du 25 juin 1999 d'orientation pour l'aménagement et le développement durable du territoire, J.O n°148 du 29 juin 1999. (www.legifrance.gouv.fr)

Une approche conceptuelle systémique de la structure énergétique, à même de refléter la complexité et de satisfaire aux enjeux d'un tel système territorial, est mise en œuvre. De ce modèle systémique de la structure énergétique territoriale découlent deux niveaux de représentation et d'analyse. D'abord, un schéma d'organisation et d'évolution représentant le système énergétique comme un ensemble d'éléments en interaction (contenu) dans un référentiel spatio-temporel, (contenant). Ensuite, une grille d'analyse du système énergétique qui combine deux approches : approche territoriale locorégionale (du niveau local au niveau régional) et analyse dynamique.

À partir de cette grille, un cadre méthodologique est proposé pour l'élaboration d'un système territorial d'information et de simulation dynamique des systèmes énergétiques à l'échelle locorégionale dont nous avons tracé les contours en termes d'architecture et de méthodes de formalisation. Cette recherche entrouvre ainsi la porte à la mise en œuvre de véritables observatoires territoriaux de l'énergie conçus comme des outils de connaissance, de suivi, d'analyse et de prospection, dans un domaine dont on mesure aujourd'hui l'importance stratégique.

1. La géographie et la thématique de l'énergie

L'énergie, un problème aux dimensions géographiques actuelles

La géographie de l'énergie a coutume d'étudier la distribution spatiale des productions, des consommations et des échanges, c'est-à-dire de son économie (Brunet, 1993). Son intérêt s'est porté sur les rapports entre l'énergie et l'espace sous l'angle des gisements et des productions : la localisation des sources d'énergie commande leur production et la discordance entre les zones de production et de consommation implique des transports. Cet intérêt découle d'une approche empirique de la géographie classique « c'est-à-dire, de s'en tenir à l'observation des faits en les considérant comme des objets qui préexistaient comme tels à toute représentation, d'être une analyse du statu quo » (Isnard *et al.,* 1981).

Avec le développement de la géographie behavioriste et de la géographie radicale, les géographes se sont penchés sur le rôle des acteurs. Ils ont mis en évidence les phénomènes de domination, de stratégie et ont inscrit l'énergie dans un contexte plus géopolitique (Bavoux, 2002). L'approche classique purement *quantitative* a évolué en une approche plus *explicative* qui se veut « étude des aspects territoriaux de l'énergie, qui donne à lire les territoires en fonction de ce bien essentiel » (Mérenne-Schoumaker, 1997).

Dans le contexte actuel, caractérisé par des mutations profondes de la structure énergétique, les géographes commencent à se préoccuper, outre des aspects quantitatifs ou explicatifs précédemment évoqués de l'analyse, de la structure énergétique d'un système géographique. Cette nouvelle approche a été favorisée par l'évolution conceptuelle de la géographie. Cette évolution, fondamentalement associée au concept d'espace géographique, a permis le passage de l'observation et l'étude de l'espace à celles de l'organisation et des pratiques spatiales (Bailly *et al.,* 1984), permettant de saisir ainsi, la complexité et les implications sociales, économiques, environnementales, culturelles et politiques des usages de l'énergie (Claval, 2001). Ainsi, la géographie de l'énergie ne peut prétendre contribuer à relever les défis scientifiques, économiques, sociaux et environnementaux posés par la problématique énergétique que si elle s'insère dans ce large débat au sein de la géographie moderne.

Cependant, la thématique de l'énergie dans ses enjeux actuels demeure un objet d'étude quasi exclusif des économistes ou écologues dans leurs approches ou préoccupations différentes sinon contradictoires. Dans le domaine de la géographie de l'énergie, très peu de géographes se sont intéressés ces vingt dernières années à inscrire l'énergie dans cette nouvelle dynamique. Les travaux les plus importants dans ce sens, (cités plus haut), se résument dans le travail précurseur de D.W. Curran en 1981 (Curran, 1981), qui a mis en lumière les enjeux économiques, politiques et surtout spatiaux de ce qu'il a appelé la nouvelle donne énergétique, et ceux de B. Mérenne-Schoumaker (1997 et 2002) qui s'inscrivent dans la même démarche que D.W. Curran, et qui met cependant en évidence les relations étroites entre les marchés, les acteurs du marché et les dynamiques territoriales.

Système énergétique comme système géographique

L'analyse d'un système énergétique dans un cadre géographique nécessite au préalable d'identifier ce système en tant que système d'un espace géographique. La conception d'un système énergétique géographique ou, en d'autres termes, d'un système énergétique d'un espace géographique, impose la définition de composantes et de facteurs d'organisation (définis par leurs modes d'interactions), ainsi que la mise en évidence de la dimension spatiale et temporelle des éléments du système.

Facteurs d'organisation et d'évolution d'un système énergétique

– **Facteur démographique** : la connaissance de la structure de la population et de son évolution est essentielle pour la compréhension de la structure énergétique. Les besoins énergétiques d'une collectivité peuvent se ramener à la somme, d'une part, des besoins hiérarchisés des individus qui la composent pour les activités non productives et, d'autre part, des besoins liés à leurs activités professionnelles. La répartition spatiale de la population (densité, structure…) influe également sur la nature de la demande énergétique, son intensité et les modes possibles de satisfaction. Un réseau de distribution de chaleur et d'eau chaude pour une utilisation domestique ne peut se concevoir qu'au-delà d'une certaine densité de population, en particulier dans les milieux urbains. Par contre, de petites installations de production se révèlent économiquement rentables dans les zones de faible densité de population et isolées.

– **Facteur économique** : le facteur économique se décline sous deux formes. La structure économique d'un territoire et les secteurs productifs (primaire, secondaire et tertiaire) en particulier impliquent une structure de consommation énergétique. Ensuite, les prix des différentes énergies commandent fortement le choix d'un mode de production et de distribution. La rentabilité économique joue un rôle déterminant dans la configuration du système énergétique.

– **Facteur social et environnemental** : le niveau de vie, c'est-à-dire la qualité de l'alimentation, du logement, de la santé, de l'éducation et des loisirs, affecte le niveau et le mode de consommation énergétique. De plus, depuis quelques décennies, on assiste à l'émergence d'une volonté sociale plus affirmée d'envisager de manière globale le développement humain, en associant au développement économique les préoccupations de préservation de l'environnement et des ressources naturelles. Cette évolution répond au concept du développement durable. L'énergie est devenue un thème central de ces préoccupations et l'on assiste à l'émergence d'une image sociale des filières énergétiques qui tend à peser de plus en plus dans le paysage énergétique.

– **Facteur technologique** : les possibilités de progrès technologiques n'ont jamais été aussi variées et aussi prometteuses. La prise de conscience de la problématique énergétique, avec toutes ses facettes, a impulsé une accélération des recherches, aussi bien fondamentales qu'appliquées, liées à la question énergétique et ce, dans tous les domaines scientifiques. Ces travaux sont relatifs à l'exploration de nouvelles sources d'énergie ou à leur mise en application, à l'amélioration des processus de transformation et d'utilisation (augmentation du rendement et de l'efficacité énergétique, diminution des effets négatifs sur l'environnement) et à l'amélioration des techniques pour atteindre la rentabilité économique en ce qui concerne les filières technologiquement matures mais économiquement non concurrentielles.

– **Facteur politique** : les politiques énergétiques nationales ou locales, du fait de leurs portées stratégiques, influent grandement sur la structure et l'évolution du système énergétique. La disponibilité ou non d'une source d'énergie sur le territoire ou à travers des liens politiques ou économiques (relations étroites avec des pays producteurs, entreprises dominantes sur le territoire), l'investissement économique ou la maîtrise technologique dans une filière particulière, le souci de sécurité d'approvisionnement, sont les éléments qui façonnent ces politiques énergétiques nationales.

Dimension spatiale du système énergétique

Une approche classique de la géographie de l'énergie se satisfait des rapports physiques espace-énergie. Ceux-ci sont d'abord *les rapports classiques de localisation et de déplacement*. La localisation de la production énergétique est dépendante de la localisation des sources d'énergie. La localisation des populations et des activités économiques commande la localisation de la consommation. Celles-ci, étant généralement concentrées dans des régions qui ne coïncident pas avec les zones de production, entraînent de fait des déplacements.

Au-delà de ces liens classiques à l'espace, la mise en évidence des interactions complexes modelant la dimension spatiale du système énergétique nous permet d'appréhender toute la problématique actuelle de l'énergie. Ainsi :

- *La structure énergétique participe à l'organisation de l'espace par le jeu des interactions spatiales des facteurs d'organisation du système énergétique décrits au paragraphe précédent*. En effet, selon la source d'énergie ou la combinaison de sources d'énergie produites ou consommées, les contraintes techniques, l'organisation économique et les conséquences sociales impliquées, modèlent l'aspect et l'organisation des territoires.

- *Les nouvelles sources d'énergie renouvelables modifient la répartition géographique des disponibilités énergétiques et conditionnent la pertinence des échelles d'analyse*. Elles ne sont plus localisées, elles sont pratiquement réparties sur tout l'espace terrestre, mais avec une disponibilité inégale dépendant fortement des caractéristiques locales. Ce différentiel de disponibilité entraîne donc une variété de modes d'exploitation. *La valorisation et l'exploitation des ressources énergétiques doivent répondre aux*

caractéristiques territoriales, caractéristiques définies par la combinaison des facteurs d'organisation et d'évolution.

- Enfin, *la consommation énergétique n'est plus appréhendée en termes de demande d'énergie finale (électricité, produits pétroliers,...) mais en termes d'utilisation finale (éclairage, chauffage, eau chaude, déplacement)*. Cette approche permet d'estimer les capacités en terme de ressources locales, de maîtrise de la consommation et d'économie de transport, et de tenir compte de l'impact de la chaîne énergétique sur l'environnement et le développement économique et social du territoire dans une vision de développement durable. *Elle nécessite des analyses au plus près des consommateurs en tenant compte des spécificités géographiques du territoire* (climat, urbanisme, densité de population, tissus économiques…).

Dimension temporelle du système énergétique

Il est évident que ces principaux *facteurs d'organisation spatiale* sont aussi des *facteurs d'évolution interdépendants*. Ainsi, les considérations environnementales poussent les recherches technologiques vers les filières d'énergie renouvelable dont les évolutions possibles jouent, à leur tour, un rôle déterminant dans les politiques énergétiques actuelles. D'un autre côté, des options politiques stratégiques peuvent orienter les efforts de recherche technologique vers le développement d'une filière énergétique donnée. Il est donc nécessaire de considérer les progrès technologiques futurs sur une même échelle temporelle permettant une mise en relation adéquate avec les facteurs politico-économiques. Ce schéma reste valable pour tous les autres facteurs ou les combinaisons de facteurs. L'exemple du nucléaire en France est à cet effet édifiant. La politique énergétique française se base sur le développement du nucléaire : elle investit dans la recherche technologique de nouvelles filières nucléaires et dans la gestion des déchets radioactifs. Les résultats attendus de ces recherches ne peuvent être appréciés indépendamment, ils doivent tenir compte des évolutions possibles des autres filières énergétiques sur une même échelle de temps. Cependant, une stratégie politique associée à des considérations économiques actuelles sans perspectives, fait que le nucléaire reste une option lourde de la politique énergétique française.

Exemple de cinq filières énergétiques

Les voies de progrès technologiques prospectées à toutes les étapes d'une filière énergétique (sources d'énergie, production, stockage, transport, transformation et utilisation) sont extrêmement variées. En ouvrant de nouvelles perspectives énergétiques et en proposant des solutions possibles, le progrès technologique pose des problèmes fondamentaux quant à l'intégration des nouvelles techniques dans des schémas énergétiques, y compris à court terme. Parmi les facteurs d'organisation et d'évolution des systèmes énergétiques, le facteur technologique paraît prendre une place de plus en plus importante, avec une influence plus grande sur les autres facteurs. D'un autre côté, un intérêt plus grand est porté de la part des acteurs politiques, économiques et sociaux quant à son évolution. Il est vrai que la variété des paramètres à prendre en compte pour l'évaluation de l'impact des progrès technologiques n'est pas simple pour les divers acteurs du monde énergétique et les décideurs en charge des politiques énergétiques.

Ainsi, les facteurs économiques, politiques, environnementaux et sociaux influent sur l'évolution technologique dans le domaine de l'énergie : l'orientation de la recherche, le développement et la mise en œuvre d'une technologie dépendent fortement, en fait, de ces facteurs d'une manière globale et non individuelle. La stratégie énergétique d'un État est fonction de paramètres économiques, sociaux et environnementaux (présence ou non d'une industrie pétrolière, importance du lobby vert…). Ces politiques influencent le positionnement économique d'une technologie (soutien financier à l'installation et à l'utilisation de systèmes de production d'énergies renouvelables, taxe de pollution…). D'un autre côté, le développement ou la mise en place d'une technologie énergétique nécessite des mutations économiques, sociales et politiques, pas toujours appréhendées par les décideurs, les acteurs et les utilisateurs.

Cette situation est bien illustrée par l'exemple de cinq filières de production électrique : la fission nucléaire, la fusion nucléaire, le photovoltaïque, l'éolien et la pile à combustible (hydrogène). Le tableau n° 1 montre que les stades technologiques de développement de ces filières sont assez différents et concernent des questions différentes. Il montre aussi que les prévisions (estimées à court, moyen et long termes) sont différentes d'une technologie à l'autre et dépendent bien sûr des problèmes à résoudre. Si l'on s'en tient au facteur de développement technologique, ce tableau montre un schéma idéal où le photovoltaïque et l'éolien sont appelés à se développer fortement, pour être rejoints puis dépassés comme source principale par l'hydrogène à moyen terme. Éventuellement à long terme, la fusion nucléaire prendrait le relais. Étant donné les caractéristiques technologiques de ces sources, les facteurs environnementaux et sociaux renforcent ce schéma. Maintenant, si on associe à ces deux facteurs (le temps de développement technologique et l'impact sur l'environnement) les facteurs économiques et politiques, la lecture n'est pas aussi facile :

- Les prix de revient comparés dépendent de l'évolution des marchés énergétiques. L'essor des nouvelles filières dépend fortement de l'évolution des prix des sources prépondérantes, notamment les hydrocarbures.
- Les choix à travers les stratégies politiques d'un pays gouvernent l'orientation de la recherche appliquée. La France mise sur le développement du nucléaire même à l'échelle de 30 à 40 ans[4]. De ce fait, la recherche en génie nucléaire est très avancée dans ce pays. Le Danemark mise sur une application immédiate des technologies éoliennes, la recherche technologique dans ce domaine y est très importante et les entreprises technologiques du domaine y sont fortement implantées.

Ainsi, même si le développement technologique reste le moteur principal de l'évolution des systèmes énergétiques, il est lui-même en forte interaction avec les autres facteurs politiques, économiques, sociaux et environnementaux.

[4] Ministère Délégué à l'Industrie ; Op. cit. en note 2.

			Fission nucléaire	Fusion nucléaire	Solaire photovoltaïque	Éolien	Hydrogène
Développement technologique	Stade de développement technologique		Industriel	Recherche fondamentale	Industriel	Industriel	Préindustriel
	Objectifs des principales recherches en cours		Augmentation du rendement Cycle fermé Gestion des déchets produits Sûreté	Atteindre l'Ignition (réaction de fusion auto-entretenues)	Augmentation du rendement Nouveaux matériaux semi-conducteurs (remplacement de silicium) Baisse des coûts de production Technologie moins polluante pour la production des cellules	Augmentation de la puissance des installations Augmentation du rendement	Baisse des coûts de production Transport et stockage de l'hydrogène Amélioration de la technique du reformage (production d'hydrogène in situ à partir des composés carbonés)
	Prévisions	court terme (5 à 10 ans)			Baisse des coûts de production	Augmentation de la puissance par unité installée	
		moyen terme : (10 à 20 ans)	Prototype d'incinérateur de déchets. Stockage en profondeur	Réacteur expérimental à 75 % de l'ignition	Remplacement du silicium par de nouveaux matériaux Augmentation du rendement		Commercialisation de systèmes piles à combustible + production de l'hydrogène par reformatage
		long terme : (20 à 50 ans)	Réacteurs à cycle fermé				Commercialisation de pile à combustible avec utilisation d'hydrogène directement
Exploitation	Mode de production		Unités de grande puissance	Unités de très grande puissance	Unités de faible puissance	Unités de faible à moyenne puissance	De faible à grande puissance
	Utilisation		Centralisé	Centralisé	Individuel ou petite collectivité	Individuel à grande collectivité	Individuel à grande collectivité + transport
	Mise en exploitation		En cours à grande échelle. Ralentissement du développement	À long terme	En cours à petite échelle. Développement moyen	En cours à petite échelle Fort développement	À moyen terme

Tableau n° 1 : situation technologique de cinq filières de production électrique

2. Une approche globale et territoriale du système énergétique

Une approche globale

Les outils de la géographie nous permettent de conceptualiser le système énergétique en tant que système géographique. Mais comment rendre compte des rapports, à la fois contradictoires et simultanés, entre mondialisation, décentralisation, développement durable, d'une part et le développement économique et social et la diminution de l'empreinte énergétique, d'autre part ? Nous pensons qu'il est nécessaire de considérer, d'abord, le système énergétique dans un cadre territorial, au sens de territorialité, c'est-à-dire, de prendre en compte les liens d'identité et d'appropriation sociale caractérisant le territoire, pour saisir les implications des facteurs sociaux et environnementaux sur le système énergétique, dans le cadre d'une approche globale (socio-économique, environnementale et géographique) seule capable d'appréhender toute la complexité du problème.

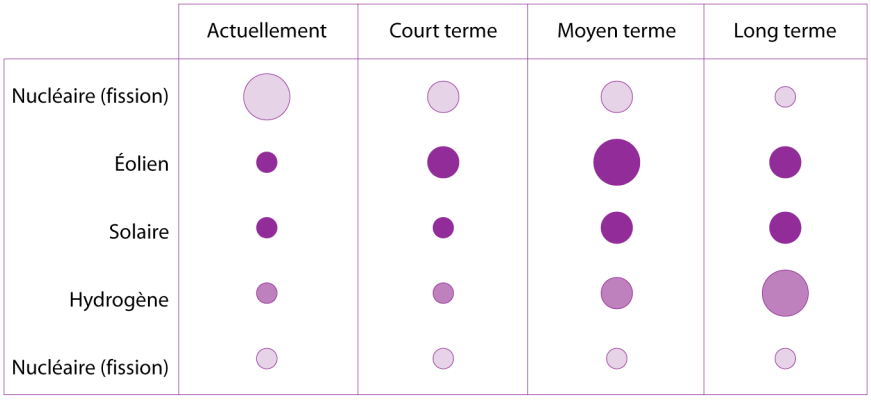
La pertinence de cette approche s'impose à travers la nécessité d'appréhender la question de l'énergie sous l'angle de ces profondes mutations. Ces mutations sont en fait des évolutions *des facteurs d'organisation spatiale* d'ordre politique, économique, technologique, social et environnemental (libéralisation des marchés de l'énergie, politique de décentralisation, gouvernance, aménagement du territoire, émergence de nouvelles filières de production à faibles intensités énergétiques, maîtrise de l'énergie, surveillance et protection de l'environnement, démographie, systèmes sociaux, modes de consommation, modes de déplacement et préoccupation écologique).

D'autre part, quelle que soit l'importance des phénomènes d'inertie, il est évident que les rapports entre l'espace géographique et le système énergétique ne sont pas fixés. Ceci est d'autant plus vrai que les principaux *facteurs d'évolution*, décrits plus haut, (d'ordre technologique, politique, économique, social et environnemental) varient de plus en plus rapidement. Il y a un siècle, l'humanité est passée graduellement de l'économie mono énergétique du charbon à celle du pétrole. Les prix connaissaient une longue stabilité, les évolutions technologiques, même si elles étaient nombreuses et importantes, n'induisaient pas un bouleversement à l'échelle mondiale et connaissaient une industrialisation progressive. Aujourd'hui, ces mutations se font d'une manière beaucoup plus brutale (variations brusques des prix des combustibles, stratégies énergétiques conflictuelles et changeantes, développement technologique varié et accéléré, diffusion des mutations technologiques et économiques simultanée à l'échelle mondiale).

Pour un système énergétique locorégional

Ces facteurs d'organisation et d'évolution interpellent fortement la dimension locorégionale. En effet, les nouvelles sources d'énergie, notamment renouvelables, modifient la répartition géographique des disponibilités énergétiques. Au niveau local, le différentiel de disponibilité entraîne donc une variété de modes d'exploitation. Le remplacement de la production centralisée des centrales nucléaires ou thermiques par une production répartie des panneaux photovoltaïques ou par des éoliennes nécessite la révision totale du schéma de distribution. Un mode de production d'électricité dominé par l'hydrogène modifie d'une manière encore plus radicale la structure énergétique par la mise en place d'un nouveau réseau de production et de distribution. Ceci est d'autant plus vrai si les modes d'utilisation de l'hydrogène dans le transport sont inclus. La valorisation et l'exploitation des ressources énergétiques doivent répondre aux caractéristiques locorégionales, caractéristiques définies par la combinaison des facteurs d'organisation et d'évolution. En termes de production, les caractéristiques technologiques des nouvelles filières renouvelables à faible intensité énergétique exigent l'émergence de modes de production et de distribution locorégionaux (solaire, éolien, biomasse, bois

Nous avons représenté sur le tableau n° 2, les degrés de dépendance spatiale des cinq filières énergétiques abordées au paragraphe précédent, en fonction de leurs échéances de mise en exploitation. La taille des disques représente l'importance estimée de la filière dans le système énergétique. Nous remarquons que les filières des énergies renouvelables les plus avancées (solaire et éolien) ainsi que la filière la plus prometteuse (hydrogène) ont un lien étroit avec la dimension spatiale. Ces modes impliquent une organisation spatiale du système énergétique avec une nouvelle structure de production et de distribution au niveau locorégional.



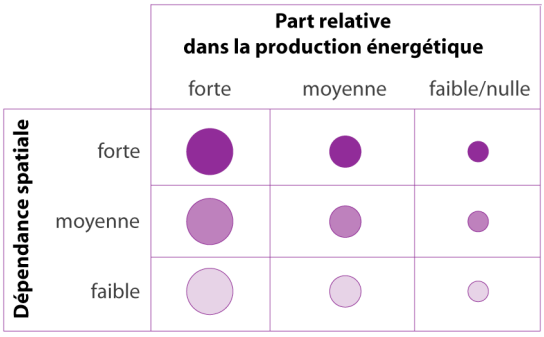


Tableau n°2 : dépendance spatiale de la mise en exploitation de cinq filières énergétiques

Jusqu'à la fin des années 1980, l'énergie était un enjeu stratégique national dans la quasi-totalité des pays. Les pouvoirs publics se dotaient de politiques énergétiques nationales exclusives, dont les objectifs étaient d'assurer l'approvisionnement énergétique et la régulation de son marché pour maintenir une stabilité économique et sociale. L'évolution de l'économie mondiale vers une libéralisation mondiale des marchés fait qu'aujourd'hui l'enjeu énergétique n'est plus national mais inscrit dans des entités économiques plus vastes, à l'échelle mondiale ou régionale (internationale). Cette remise en cause économique des politiques dirigistes nationales par la levée des monopoles a montré toute la difficulté à basculer vers un autre mode de gestion (les black-out en Californie et en Italie en sont des exemples types).

Dans le cadre de l'Union Européenne, un marché unique européen de l'énergie est en train de se mettre en place. Ainsi en France, les activités énergétiques reposaient sur des monopoles nationaux jusqu'au début des années 1990 ; monopoles délégués pour le pétrole et les produits pétroliers ou monopoles directs pour l'électricité et le gaz. La libéralisation des marchés énergétiques tant au niveau mondial qu'au niveau européen a conduit à la disparition de ces monopoles (effective pour le pétrole et en cours pour l'électricité et le gaz). Le levier économique de la politique nationale de l'énergie ayant disparu, le rôle de l'Etat-Nation prend une dimension de politique d'évaluation et d'orientation. Ainsi, le désengagement économique de l'État a été instauré par la loi n° 92-1443 du 31-12-1992 portant réforme du régime pétrolier et la loi n° 2000-108 du 10-02- 2000 relative à la modernisation et au développement du service public de l'électricité. D'autre part, la loi n° 99-533 du 25-06-1999 d'orientation pour l'Aménagement et le Développement Durable du Territoire[5] inaugure une politique de décentralisation dans ce domaine à travers les « schémas collectifs régionaux de l'énergie dans le cadre d'une politique nationale d'aménagement et de développement durable du territoire » qui définissent les objectifs de la politique énergétique et ses perspectives, ainsi que le rôle des acteurs publics nationaux et locaux dans cette politique énergétique. Cette décentralisation de la politique énergétique vers les échelons régionaux et locaux répond au souci d'adaptation à la libéralisation des marchés de l'énergie, d'une part et aux objectifs de développement durable et de la protection de l'environnement, d'autre part. En effet, afin de concilier ces deux exigences, il importe, au niveau local, de promouvoir la valorisation des ressources énergétiques, notamment les énergies renouvelables et la production décentralisée, la sécurité d'approvisionnement et d'économie de transport d'énergie, la maîtrise de la consommation énergétique et la protection de l'environnement.

Il est donc évident que l'on assiste, depuis la fin du siècle dernier, à une mutation organisationnelle du système énergétique qui est le fait d'une conjonction d'évolutions politiques, économiques et sociales. Ces mutations entraînent une redistribution des rôles entre les niveaux internationaux, nationaux et locaux (figure 1). Ces derniers sont appelés à jouer un rôle de plus en plus important en tant qu'unité territoriale socio-économique du

[5] Loi n°99-533 du 25 juin 1999 ; Op. cit. en note 3.

système énergétique, alors que les groupements politico-économiques internationaux prennent le relais dans le domaine de la régulation et de l'orientation stratégique.

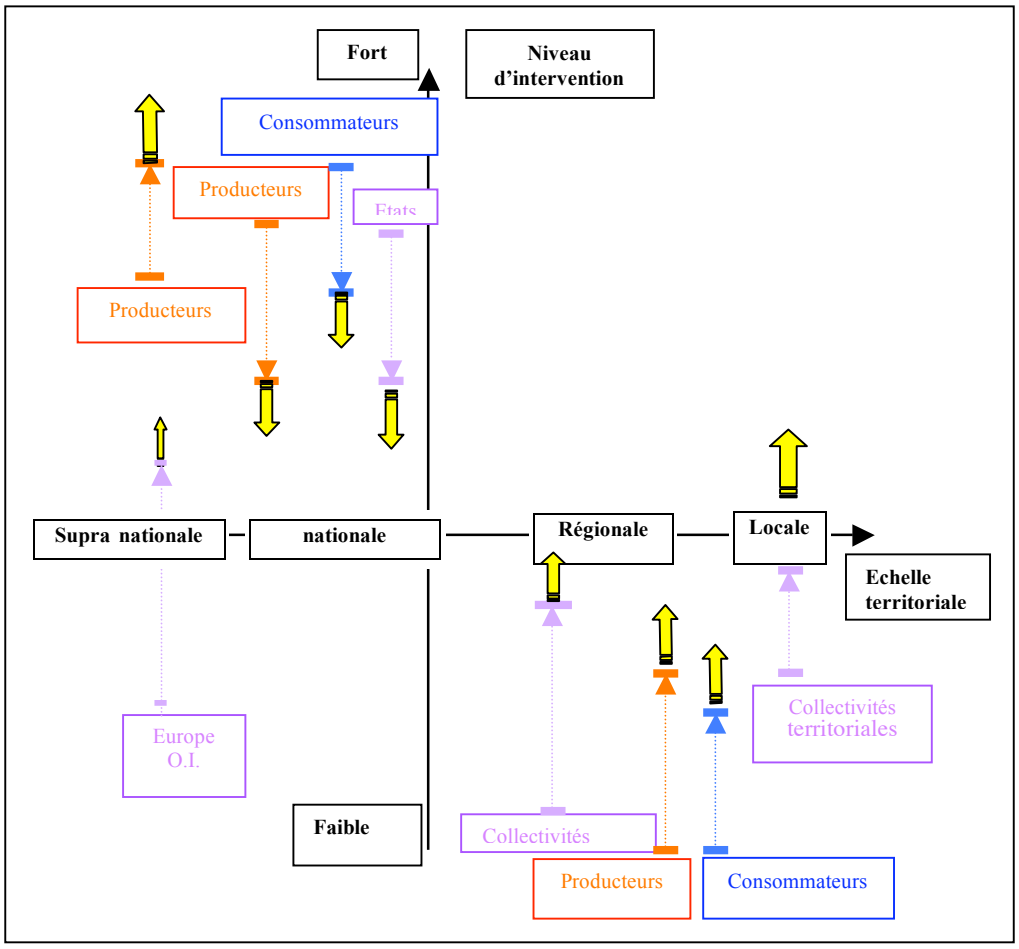


Figure 1 : évolution du poids relatif des différents acteurs du système énergétique

3. Modélisation systémique d'un système énergétique

Les systèmes énergétiques sont complexes. Ils sont constitués de multiples chaînes et processus qui englobent les matières premières/gisements, les centres de production et les réseaux de distribution, avec des modes de régulation, de gestion, de localisation, de production, de distribution et de consommation spécifiques, à des échelles multiples. Nous pouvons distinguer quatre familles de mécanismes généraux régissant la dynamique d'un système énergétique. Les mécanismes structurels caractérisent les filières énergétiques avec leurs modes d'exploration/exploitation, de production/transformation et de transport/distribution. Les mécanismes fonctionnels représentent les mutations structurelles et fonctionnelles régies par les facteurs d'organisation et d'évolution. Enfin, les mécanismes spatiaux et temporels décrivent, respectivement, les fortes interactions territoriales et la dépendance temporelle du système.

Tant au niveau de son mode d'existence, de son fonctionnement, que de son développement, un système énergétique territorial est modelé par la dynamique simultanée et interdépendante de ces quatre mécanismes. Ainsi, il se conforme aux caractéristiques d'un système complexe : il est à la fois ouvert et fermé (sa limite ou frontière est poreuse). Il est défini par ses relations, il est arborescent, finalisé, il présente une grande variété et enfin il est auto-organisateur (Donnadieu et Karsky, 2002).

À partir des acquis conceptuels et méthodologiques de la systémique et des apports de l'approche géographique, nous nous proposons de concevoir un modèle d'analyse d'un système énergétique territorial. Ce modèle est basé sur la description et l'analyse des mécanismes régissant la dynamique d'un système énergétique territorial : structurels, fonctionnels, spatiaux et temporels, tels que décrits au paragraphe précédent. Une approche conceptuelle systémique de la structure énergétique en tant que système complexe (figure 2), sera donc mise en œuvre. Cette représentation, inspirée en partie du modèle de représentation systémique d'un territoire élaboré par

R. Prélaz-Droux (1995), rend compte explicitement des quatre mécanismes interdépendants constituant l'organisation globale du système énergétique. Elle permet néanmoins une distinction claire de ces quatre entités en vue de les représenter en identifiant leurs composants, leurs rôles et les processus d'interaction. Ensuite, elle présente une certaine simplicité dans sa formulation (non simpliste cependant) à même de distinguer des sous-ensembles plus larges et des processus globaux qui peuvent fournir une lecture pour la démarche modélisatrice. Ainsi, parmi toutes les représentations possibles du système, allant de chaque mécanisme individuel à l'association des quatre mécanismes, nous avons représenté quatre ensembles, qui nous semblent rendre compte au mieux de la structure et du fonctionnement du système (figure 2). Ils mettent en évidence les mécanismes d'organisation et d'évolution du système et suggèrent ainsi une double démarche méthodologique de structuration et de modélisation.

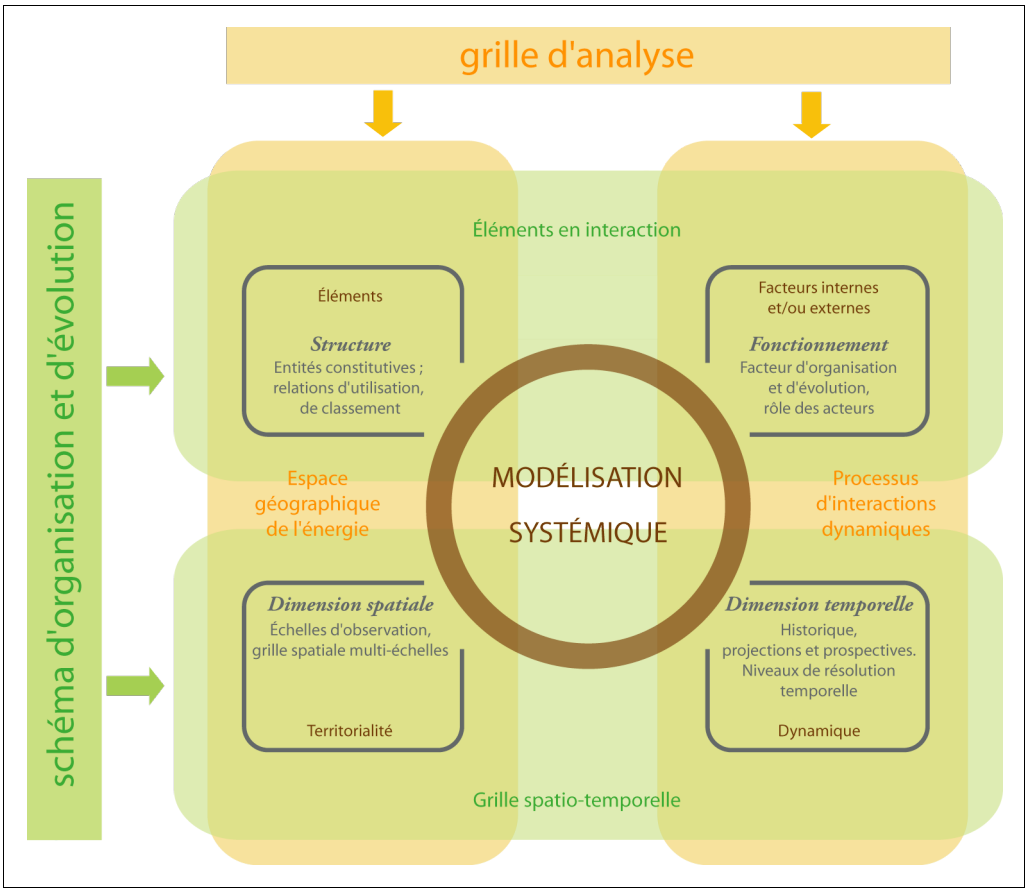


Figure 2 : système énergétique territorial

Nous distinguons deux niveaux de représentation et d'analyse du système :

Premier niveau – *Schéma d'organisation et d'évolution d'un système énergétique* :
la structure globale d'un système énergétique est représentée par les deux sous-ensembles horizontaux sur la figure 2. Ils identifient :

- ***Les éléments en interaction du système énergétique,*** ce qui peut être vu comme le contenu de ce système au sens d'entités physiques ou factorielles pouvant être associées au territoire.
- ***La grille spatio-temporelle***, qui peut être vue comme le contenant, c'est la grille de lecture et de représentation du système énergétique dans son organisation et son évolution. Le choix des échelles de lecture est primordial et doit refléter la complexité de ce système.

Deuxième niveau - Grille d'analyse de la structure énergétique territoriale :
les mécanismes régissant l'organisation et l'évolution d'un système énergétique sont définis par les deux sous-ensembles verticaux de la figure 2. Ils représentent l'espace géographique de l'énergie et les processus d'interactions dynamiques induits par les facteurs d'organisation et d'évolution (définis et discutés au paragraphe 2). Ces deux sous-ensembles représentent le cadre méthodologique de formalisation d'un modèle d'analyse.

- ***Espace géographique de l'énergie :*** représentation territoriale de la structure énergétique, il peut être considéré comme un modèle stationnaire du système énergétique.
- ***Processus dynamiques :*** ils représentent la dynamique du système énergétique induite par l'évolution temporelle des facteurs d'organisation et d'évolution.

Ces deux sous-ensembles permettent de simplifier la formalisation d'un modèle d'analyse en identifiant et en découplant les aspects stationnaires des aspects dynamiques. Cependant, le modèle global est spatio-temporel, il intègre les deux approches. Séparément, chaque approche est forcément réductrice. Ainsi, si l'on considère l'évolution temporelle d'un facteur (économique, politique, technologique,…), cela doit être élaboré nécessairement en considérant le niveau territorial pertinent. D'un autre côté, les résultats de cette étude doivent servir à mettre à jour la représentation spatiale du système énergétique.

4. Modèle d'organisation et d'évolution d'un système énergétique

Par ce niveau de lecture, les quatre entités représentant les composants du système sont regroupées en deux sous-ensembles permettant de construire un modèle de représentation du système. Ce modèle est basé sur l'identification de ses composants élémentaires structurels et factuels, et leurs interactions internes ainsi qu'avec l'environnement. Cette identification est effectuée par rapport à une grille d'analyse spatio-temporelle définie de manière à répondre aux spécificités de chaque composant ou interaction.

Éléments en interactions

À la structure d'un système énergétique sont associés les différentes sources énergétiques, les différents modes de productions, de distribution et de consommation, qui constituent les attributs de cette structure. L'organisation et l'évolution de cette structure sont régies par les entités factuelles (facteurs d'organisation et d'évolution) à travers des relations causales notamment par le jeu des acteurs institutionnels, économiques, associatifs et sociaux.

Composants structurels

La structure physique d'un système énergétique peut être subdivisée en deux parties, sur la base du rapport offre et demande énergétiques. Celles-ci sont régies par les modes de production et de distribution, d'une part, et les modes de consommation, d'autre part.

- Structure de la demande énergétique : les composants de la structure de consommation sont définis comme les consommateurs appartenant au système qui présente un comportement énergétique similaire. Ce comportement énergétique peut être analysé sur la base des critères d'homogénéité suivants (Sargos *et al.*, 2003) : utilisations finales de l'énergie et les activités associées ; modes de consommation incluant les formes et les quantités relatives d'énergies consommées prépondérantes ; contextes et contraintes physiques, technologiques, économiques, sociales et territoriales.
- **Structure de l'offre énergétique** : l'ensemble des chaînes (gisements, production, transport et distribution) qui constituent la structure de l'offre d'un système énergétique territorial peut être représenté

par un réseau partant des différentes formes d'énergies primaires et aboutissant aux diverses formes d'énergies utiles. Le réseau précise les liaisons et les branchements qui existent dans un tel système, soit pour la production de mêmes formes d'énergies intermédiaires (par exemple l'électricité), soit pour la fourniture de prestations en énergies utiles données (travail mécanique, chaleur,…). Chaque filière énergétique est caractérisée par des modes de transformation (extraction, transformation centralisée ou décentralisée), de transport et de stockage. Un réseau énergétique comprend toutes les combinaisons possibles de filières à partir de ressources disponibles en énergie primaire. Ces combinaisons possibles sont dépendantes du niveau territorial considéré et des interactions spatio-temporelles des facteurs d'organisation et d'évolution.

Facteurs d'organisation et d'évolution

La dynamique spatio-temporelle d'une structure énergétique est régie par des facteurs d'organisation et d'évolution politiques, économiques, sociaux, technologiques et environnementaux, à travers leurs interactions spatio-temporelles à tous les niveaux d'organisation territoriale. Ces facteurs impulsent et agissent sur la structure énergétique territoriale. Toute analyse doit prendre en compte non pas un facteur ou un élément isolé mais tous les facteurs et éléments pour pouvoir appréhender les mutations combinées induites par les interrelations ou interactions entre ces facteurs et la structure énergétique. Cette analyse implique une approche territoriale dont l'échelle de pertinence dépend des facteurs à prendre en compte et de la nature du territoire et de son environnement.

Le rôle des acteurs

Le rôle des acteurs dans l'organisation et l'évolution de la structure énergétique s'exprime à travers leur comportement vis-à-vis des facteurs technologiques, économiques, politiques, sociaux et environnementaux : ces comportements dépendent des décideurs ou acteurs dans le cadre des possibilités ou prérogatives de chacun par rapport aux autres. Par exemple, le choix d'un mode de chauffage par un particulier dépend de la décision de la collectivité de ne pas imposer un autre mode ou interdire ce mode. Même si les structures d'offre et de demande du système énergétique ont quelques acteurs spécifiques directs (entreprises, collectivités), la majorité des acteurs interviennent dans ces deux structures par des processus différents faisant intervenir un ou plusieurs facteurs d'organisation. Ainsi, une mauvaise image sociale du nucléaire a favorisé l'essor d'un mouvement associatif en défaveur du nucléaire dans la majorité des pays européens. Ceci a poussé les pouvoirs publics à abandonner cette filière et ce, malgré les contraintes économiques très fortes.

Grille spatio-temporelle

Dimension spatiale : une grille d'analyse multi-échelles

Le choix du niveau d'observation doit tenir compte des aspects variés et souvent imbriqués des systèmes énergétiques territoriaux. Ceci nous amène, en premier lieu, à établir une échelle de représentation pertinente pour notre thématique et à définir une échelle d'analyse. La notion d'échelle, dans ce cas, se rapporte au niveau d'observation et d'analyse plus qu'au niveau de résolution spatiale. À cette notion il faut adjoindre, le cas échéant, le concept de « milieu » au sens géographique du terme. Par exemple, concernant l'implantation de modes de production, dans un espace urbain, on peut s'attendre à la valorisation de la cogénération, à l'utilisation de la chaleur comme énergie finale et à l'utilisation du solaire (photovoltaïque et thermique) comme mode de production, alors qu'un espace rural est plutôt favorable à l'implantation de systèmes de production d'énergies éolienne et solaire mais non de la cogénération. De plus, un mode de production peut être envisagé à une échelle communale, intercommunale ou régionale de par sa nature de grande proximité (chaleur) ou à diffusion plus large (électricité) et de par sa capacité de production optimale (puissance optimale par unité de production).

En France, la région nous apparaît comme un espace géographique signifiant d'un point de vue énergétique. Ce choix est renforcé d'une part, par l'attribution à la région de compétences dans le domaine de l'énergie (schéma collectif des services de l'énergie) et qui devrait être renforcé par la nouvelle loi de décentralisation qui accroît le rôle de la région dans la sphère économique. D'autre part, les politiques et les programmes européens identifient les régions comme des acteurs principaux y compris dans le domaine énergétique. Évidemment, ce niveau de représentation sera pris comme niveau de référence mais non comme niveau unique. À cet espace de référence qu'est la région, différents niveaux s'imposent, suivant l'élément ou l'interaction considéré (une source d'énergie, un mode de production, un mode de distribution, un mode de consommation). La grille d'analyse est en fait multi-échelles, au sens multi-niveaux d'observation.

Dimension temporelle, niveaux multiples de résolution temporelle

Toutes les énergies sont « renouvelables » par cycle. La différence essentielle réside dans la durée du cycle de renouvellement. Les sources d'énergie « renouvelables » participent à des cycles courts par rapport à la durée moyenne de la vie humaine. Appartiennent à cette catégorie le vent (un jour) et la biomasse (un an pour les récoltes, quelques années pour élever des animaux, trente ans pour la reconstitution d'une forêt). En raison de la durée extrêmement longue des cycles qui les concernent (des centaines de millions d'années pour transformer les résidus de biomasse en charbon, pétrole ou gaz), les combustibles fossiles, sans tenir compte du rythme de consommation par rapport à leur formation, ne sont pas « renouvelables ». Enfin, on peut aussi noter le caractère cyclique quotidien, hebdomadaire ou saisonnier de la consommation énergétique. À chaque phénomène, il y a lieu de définir une résolution temporelle adéquate permettant de mettre en évidence la dynamique étudiée.

Ainsi, une analyse globale de la dynamique du système énergétique, sur une durée donnée, amène nécessairement à occulter celle des phénomènes à cycle court relativement au premier ou à négliger celle des phénomènes à cycle long qui paraîtront statiques. La définition au préalable des niveaux de résolution temporelle des dynamiques au sein du système énergétique permet d'abord d'identifier les facteurs ou éléments agissant ou évoluant sur une même échelle temporelle et ensuite d'éviter les aberrations lors de la formulation du modèle (suivre par exemple l'évolution quotidienne sur le nombre total d'habitants).

5. Grille d'analyse du système énergétique territorial

Fondements méthodologiques

La modélisation systémique du système énergétique territorial et le modèle d'organisation et d'évolution, établis précédemment, nous permettent de formaliser une grille d'analyse d'un système énergétique. Cette grille permettra la mise en œuvre d'un ensemble d'outils d'observation, d'analyse et de simulation, couplés et intégrés, constituant un **système territorial d'information et de simulation dynamique des systèmes énergétiques,** véritable outil de gestion, d'analyse et d'aide à la décision pour les acteurs du domaine. Le schéma de modélisation et de conception est représenté par la figure 3. Ainsi, les deux sous-ensembles verticaux de la figure 2 représentant **l'espace géographique de l'énergie** et les **processus d'interaction dynamiques** induits par les facteurs d'organisation et d'évolution, forment le cadre de formalisation d'une grille d'analyse. Cette approche permet de simplifier la formalisation d'un modèle d'analyse en identifiant et en découplant les aspects stationnaires des aspects dynamiques. Les aspects fondamentaux suivants sous-tendent cette approche :

- La dynamique temporelle n'est considérée explicitement que pour les relations entre les entités fonctionnelles et les composants structurels et ce, par l'élaboration de modèles thématiques. Dans ces modèles, la dimension spatiale est implicite, elle est prise en compte par les données d'entrée ou de contrôle du modèle.
- Toute évolution de l'organisation, ou de la nature des éléments structurels et factuels ou de leurs relations, est considérée comme un changement d'état discret qui peut être représenté par des modèles de données.
- Cependant, le modèle global est spatio-temporel, il intègre les deux approches. Séparément, chaque approche est forcément réductrice. Ainsi, si l'on considère l'évolution temporelle d'un facteur (économique, politique, technologique,…), cela doit être élaboré nécessairement en considérant le niveau territorial pertinent. D'un autre côté, les résultats de cette étude doivent servir à mettre à jour la représentation spatiale du système énergétique. Ainsi, les modèles issus des deux approches sont fortement liés par des modèles de couplages qui transfèrent et structurent les données nécessaires à un modèle à partir des autres modèles.

Méthode de modélisation et de conception

Cette approche impose le recours à deux méthodes de modélisation (figure 3) :

- **Modèles conceptuels de données** : la maîtrise de l'information multi-thématiques et territoriale, relative à un système énergétique, nécessite le développement de modèles conceptuels permettant de définir une vision globale du système à travers l'identification d'indicateurs pertinents, l'organisation, la structuration et la mise en relation des données du système. Ces modèles visent à maîtriser la complexité structurelle de ces données, à faciliter la communication avec les utilisateurs finaux et enfin à faciliter le processus de mise en œuvre de structures d'accueil et de représentation de données (bases de données, système d'information territoriale) ainsi que leur couplage avec des modèles de dynamique spatio-temporelle. C'est une approche classique de mise en œuvre de structures complexes de données.

– **Modèles conceptuels de dynamiques spatio-temporelles** : ce sont des modèles construits pour la représentation et la simulation de phénomènes thématiques dans leurs dynamiques spatio-temporelles. Par exemple, des modèles basés sur le concept de la synergétique peuvent rendre compte des interactions socio-économiques dans un système énergétique. Ainsi, un modèle de simulation des relations entre la structure des temps sociaux et la consommation d'énergie électrique est en cours d'élaboration. D'autre part, les modèles économétriques de localisation industrielle sont envisagés pour la modélisation des modes d'implantations des filières énergétiques. Thématiques par nature, leur nombre et leur type sont arrêtés en fonction des objectifs d'analyse requis et,de la nécessaire articulation avec les modèles conceptuels de données.

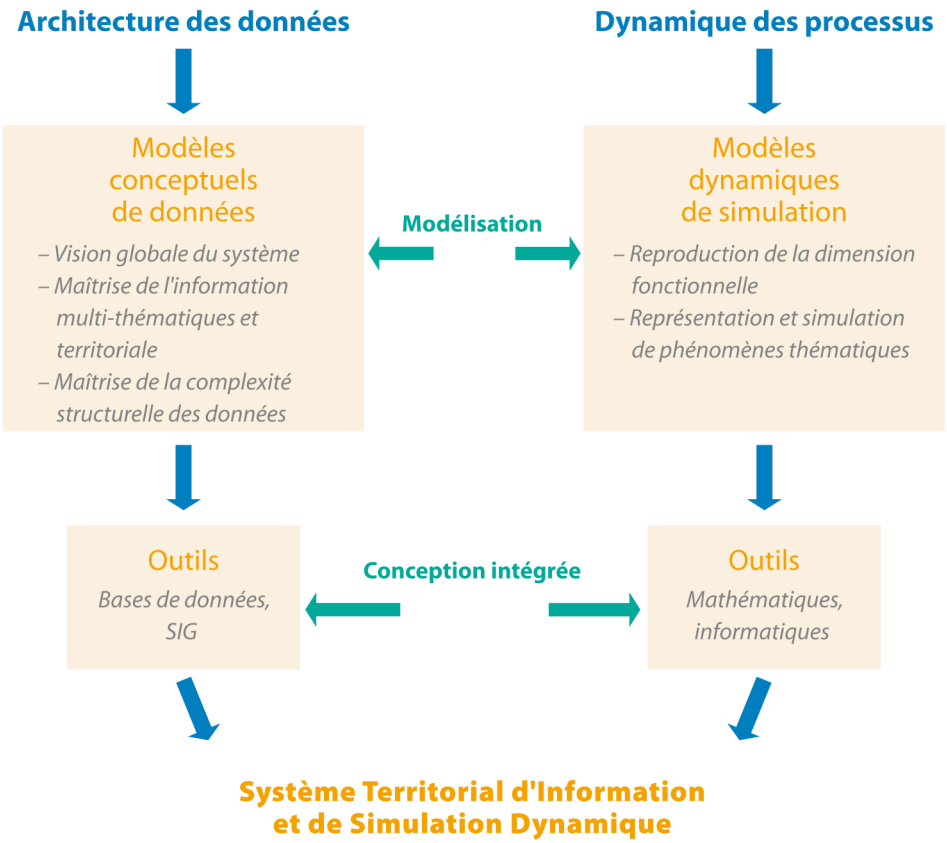


Figure 3 : modélisation et conception :
approche méthodologique d'un Observatoire Dynamique de la Structure Energétique Territoriale

Conclusion

C'est d'une nouvelle vision de l'énergie, de sa nature, de son développement, de son rôle et de ses interactions, que découle ce nouveau regard porté sur les territoires de l'énergie. L'évolution politique, économique et technologique du système énergétique fait qu'il n'est pas seulement un instrument d'organisation de l'espace, mais également un instrument d'auto-organisation du territoire dans la perspective d'un développement durable (De Rosnay, 1996).

Cet article est une contribution à la mise en évidence d'une nécessaire approche globale, territoriale et temporelle du fait énergétique en tant que système géographique. Elle devrait mettre en lumière et prendre en charge toute la complexité d'un système énergétique dans ses enjeux contradictoires socio-économiques, politiques, technologiques et écologiques, et permettre la mise en place d'une dynamique prenant en compte explicitement les dimensions territoriales et temporelles. Ainsi, à partir d'une approche conceptuelle systémique, une grille d'analyse a été proposée. Elle est axée sur l'articulation entre la modélisation d'un espace géographique de l'énergie stationnaire, d'une part, et des processus dynamiques thématiques induits par les facteurs d'organisation et d'évolution, d'autre part. Sur cette base, une approche méthodologique a été établie pour la modélisation et la conception d'un observatoire dynamique de la structure énergétique territoriale.

L'élaboration d'un tel outil, qui constitue la suite envisagée à ce travail, contribuera à répondre aux attentes des décideurs, des professionnels du secteur et des citoyens face à la nécessité d'une approche éclairée des systèmes énergétiques, de leur structure, de leur fonctionnement et de leur évolution ainsi que de leur impact sur l'environnement.

Bibliographie

BAILLY A. *et al.*, 1984, *Les concepts de la géographie humaine*, éditions Masson, 333 p.

BATAILLE C. et GALLEY R., 1999, *L'aval du cycle nucléaire*, Office parlementaire des choix scientifiques et technologiques. Rapport de l'Assemblée Nationale n°1359, France.

BAVOUX J.-J., 2002, *La géographie. Objet, méthodes, débats*, Armand Colin/VUEF, 240 p.

BRUNET R, FERRAS R. et THÉRY H, 1993, *Les Mots de la Géographie, Dictionnaire Critique* ; Reclus-La Documentation Française, 520 p.

CLAVAL P., 2001, *Épistémologie de la géographie,* Nathan/VUEF, 265 p.

CURRAN D.W., 1981, *La Nouvelle Donne Energétique*, Éditions Masson, 206 p.

DE ROSNAY J., 12/11/1996, *Une approche systémique de l'énergie*, Conférence FIFEL, Lausanne.

DONNADIEU G. et KARSKY M., 2002, *La systémique, penser et agir dans la complexité,* Ed. LIAISONS, 272 p.

ISNARD H., RACINE J.B., REYMOND H., 1981, *Problématiques de la Géographie*, PUF, 264 p.

MÉRENNE-SCHOUMAKER B., 1997, *Géographie de l'Energie*, Éditions Nathan, 192 p. + compl. stat. 50 p.

MÉRENNE-SCHOUMAKER B., 2002, *Analyser les territoires*, PUR, 166 p.

PRÉLAZ-DROUX R., 1995, *Systèmes d'information et gestion du territoire*, PPUR, 232 p.

SARLOS G., HALDI P. A. et VERSTRAETE P., 2003, *Systèmes Energétiques, offre et demande d'énergie: méthodes d'analyse*, PPUR, 894 p.

Loi n°99-533 du 25 juin 1999 d'orientation pour l'aménagement et le développement durable du territoire, J.O n°148 du 29 juin 1999. (www.legifrance.gouv.fr).

Ministère Délégué à l'Industrie, 2003, *Livre Blanc sur les Energies*. (www.industrie.gouv.fr/energie).

ONU, *Rapport sur les recommandations du sommet de Rio de Janeiro* (Brésil), www.uno.org, 1992.