



HAL
open science

Méthode pour une structuration territoriale des approvisionnements en bois-énergie : une approche par la modélisation.

Hélène Avocat

► **To cite this version:**

Hélène Avocat. Méthode pour une structuration territoriale des approvisionnements en bois-énergie : une approche par la modélisation.. XLVe Colloque de l'ASRDLF "Territoires et action publique territoriale: nouvelles ressources pour le développement régional", Aug 2008, Rimouski, Canada. <http://asrdlf2008.uqar.ca/papiersenligne.html>. hal-00767191

HAL Id: hal-00767191

<https://hal.science/hal-00767191>

Submitted on 15 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.

Méthode pour une structuration territoriale des approvisionnements en bois-énergie : une approche par la modélisation.

Introduction : un paysage dendroénergétique marqué par d'importantes mutations.

Les modes de consommation énergétique actuels, caractérisés par la prévalence des énergies fossiles [IEA, 2007] tendent à être remis en question, tant pour des raisons économiques, qu'environnementales ou politiques. Les politiques énergétiques réorientent leurs objectifs en favorisant l'utilisation de ressources énergétiques renouvelables (biomasse dont le bois-énergie, éolien, géothermie, hydraulique, solaire) dont l'exploitation dépend de conditions et configurations locales : ainsi la durée d'ensoleillement et l'orientation influencent sur le potentiel solaire, la pédologie détermine la nature de la biomasse et la topographie définit des contraintes d'exploitation etc. Parallèlement, les compétences en matière de planification énergétique se réorganisent, accordant une plus grande importance aux collectivités locales. Ces mutations génèrent donc une relocalisation des systèmes énergétiques vers des échelles régionales et infra-régionales [IBR, 2005]. La conjonction de ces différents facteurs a eu pour corollaire un développement très important du secteur bois-énergie, se traduisant depuis deux décennies par une forte augmentation de la demande et de la consommation de bois-énergie (+ 235 % d'augmentation entre 1980 et 2005 pour le secteur collectif/tertiaire¹). Parallèlement, nous sommes face à des filières peu organisées du point de vue de la gestion des potentiels et de l'approvisionnement en combustible (bois en provenance de destinations lointaines, brûlage de combustibles polluants etc.). De plus, nous sommes actuellement dans une optique de gestion de type « gestion de projet », consistant à déterminer de prime abord la puissance de l'installation pour ensuite déterminer des bassins d'approvisionnement. Même si chaque projet donne lieu à une étude de potentiel, le territoire n'est pratiquement pas considéré et ne transparait généralement pas en tant que cadre spatio-temporel pour une structuration globale des approvisionnements. Cette organisation de la filière, encore très sectorialisée et fragmentée, est inadaptée et conduit inéluctablement à des situations conflictuelles (conflits d'usage pour la ressource et certaines formes de combustibles, exploitation sous-optimale des ressources ligneuses notamment). Pour l'heure, ce mode de gestion n'est pas encore très problématique en France car les potentiels énérgisables sont globalement supérieurs à la demande, et il est possible de mobiliser d'importantes quantités d'énergies primaires à des coûts relativement compétitifs. Néanmoins, au vu des tendances observées et de l'accroissement des pressions sur les ressources ligneuses, nous sommes en mesure de nous interroger sur la pérennité et la pertinence d'un tel mode de fonctionnement, dépendant presque exclusivement de considérations économétriques. Selon nos hypothèses de travail et convictions de géographes, l'optimisation de l'exploitation des ressources dendroénergétiques et la valorisation des potentiels doit dépasser ce cadre économétrique², et s'inscrire dans une réflexion plus globale, au sein de laquelle le territoire aurait une place primordiale.

Le problème suivant se pose alors : comment arriver à concilier besoins et potentiels et à structurer de manière rationnelle l'approvisionnement en combustible des unités de consommation compte tenu des spécificités territoriales dans lesquelles ces structures s'inscrivent ?

¹ Taux d'évolution calculé d'après les données de l'Agence De l'Environnement et de la Maîtrise Énergétique. Rapport d'activités 2000-2005, plan national bois-énergie.

² Ainsi, au concept de « capital naturel » nous préférons celui de « ressources naturelles », dont les principes de gestion revêtent une indispensable dimension environnementale.

En vue de répondre à ce problème et aux principales questions qui lui sont inhérentes (quel est le potentiel « énergisable » d'un territoire, comment appréhender la notion de renouvelabilité compte tenu des caractéristiques fortement différenciées des espaces producteurs et de la ressource, quels sont les facteurs susceptibles d'influencer la demande et comment adapter l'offre à ces fluctuations, etc.), nous proposons de développer une approche centrée sur les potentialités territoriales locales. Les réflexions n'étant pour l'heure pas suffisamment abouties pour la présentation de résultats concrets, l'objectif de cette communication est donc de présenter des pistes de réflexions et intentions de recherches. Deux concepts phare serviront donc de fil conducteur dans le cadre de cette approche : celui de localité couplé à celui de territorialité, dont nous expliciterons la pertinence une première partie intitulée « *dendroénergie, territoires et développement local* ». En second lieu nous aborderons la question des liens entre bois-énergie et territoire sous l'angle de la systémique, via le recours au concept de système énergétique territorial, que l'on peut sommairement définir comme « *l'ensemble des énergies [stocks, flux, processus, installations, usages...], des acteurs [---] et interactions à l'oeuvre sur un territoire. Le système énergétique territorial n'est pas totalement fermé, sa frontière est poreuse et il existe des échanges avec d'autres systèmes énergétiques voisins par le biais des importations et des exportations, qui équilibrent la balance entre production et consommation* » (www.opteer.org). Dans cette optique, la systémique a une visée d'intelligibilité (compréhension) [LEM, 1990] de l'inscription du bois-énergie dans un cadre territorial. La formalisation de cette intelligibilité passera par l'élaboration d'une représentation schématique de la chaîne dendroénergétique territoriale. Enfin, nous expliciterons notre démarche de modélisation des processus d'approvisionnement, qui s'organise selon trois phases principales : 1) Comprendre, 2) Modéliser, 3) Simuler ; le tout dans une optique générale d'optimisation des processus et de valorisation des potentiels territoriaux locaux.

1. Dendroénergie, territoires et développement local.

D'un point de vue sémantique, le bois-énergie (ou dendroénergie), est « *le type de bioénergie utilisant l'élément de la biomasse constitué par le bois* », et se réfère à « *toutes les applications du bois en tant que combustible* » (www.techno-sciences.net), lesquels peuvent résulter des processus de transformation du bois, ou être issus de la gestion et de la production forestière directe. De fait, le développement et la valorisation des ressources ligno-cellulosiques à des fins énergétiques doivent se penser en fonction d'un cadre plus vaste de planification et de gestion des ressources ligneuses et des espaces producteurs d'énergie primaire, à la base de la chaîne énergétique³. Or, la gestion des ressources naturelles (minérales, hydrologiques, ligneuses etc.) fait partie intégrante des préoccupations, parfois contradictoires, des politiques d'aménagement du territoire visant d'une part à l'accompagnement économique des territoires et d'autre part à la réduction des inégalités spatiales en termes économiques ou sociaux, dans un objectif général de développement équilibré et durable du territoire.

Dans un contexte de planification énergétique tendant à se décentraliser, l'exploitation rationnelle du potentiel ligneux à des fins énergétiques et la structuration de la filière passent par la nécessaire prise en compte des spécificités territoriales locales, notamment pour l'évaluation et la valorisation des potentiels et l'optimisation de la chaîne énergétique territoriale (conféré *figure 1*).

³ Le terme de chaîne énergétique territoriale désigne une succession de stocks et de processus allant du potentiel énergétique territorial à la consommation utile.

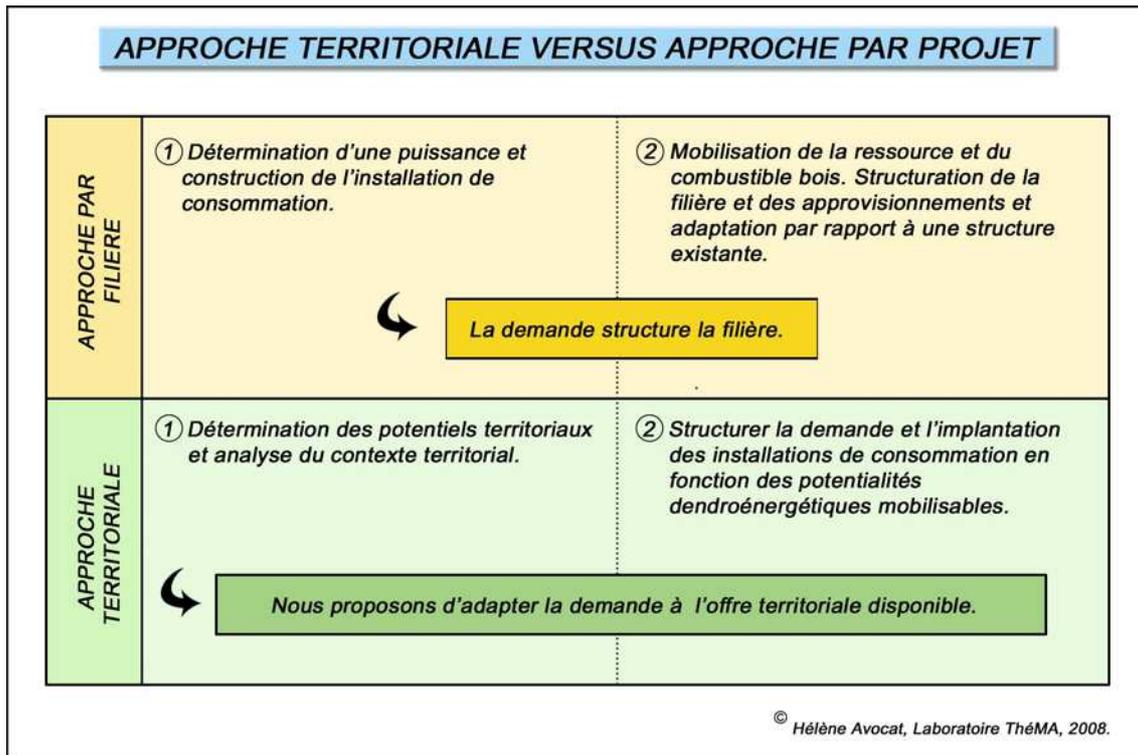


Figure 1 : deux visions différentes de la structuration de la filière dendroénergétique.

1.1. La valorisation dendroénergétique : une problématique d'aménagement du territoire éminemment géographique.

Structurer à l'échelle d'un territoire l'approvisionnement d'installations de consommation très hétérogènes tant en matière de puissance installée que de la nature des combustibles consommés soulève de multiples enjeux, notamment en matière d'aménagement du territoire et de gestion intégrée des ressources ligno-cellulosiques, ce que nous pouvons voir sur la *figure 2*. Ainsi, la structuration de l'approvisionnement, que l'on peut considérer comme le processus à l'interface des stocks « potentiel » et « installations de consommation » soulève des enjeux d'ordre :

- *Environnemental* : la dendroénergie comme opportunité pour le développement durable des territoires. Si la mobilisation des ressources ligneuses à des fins énergétiques contribue à satisfaire les exigences en matière de réduction des gaz à effet de serre, il convient néanmoins de s'assurer que les prélèvements sur les espaces producteurs et/ou que les pratiques sylvicoles et gestionnaires éventuellement modifiées dans une optique d'adaptation d'offre à une demande en constante augmentation n'engendre pas de diminution quantitative et qualitative des gisements et de dégradation des espaces producteurs. Ainsi, bien que les ressources ligneuses soient pour l'heure abondantes en France, il convient de réfléchir, sur la base d'expériences passées ou étrangères aux dangers que présente le raisonnement selon lequel la ressource est pléthorique donc inépuisable. Pensons notamment aux problèmes de déforestation engendrés par l'augmentation des besoins dendroénergétiques dans la région de Salins-les Bains au XIX^{ème} siècle, alors que la ressource était considérée comme inépuisable [GRE, 1990]. La recherche d'une solution optimale, à l'interface de la satisfaction entre besoins anthropiques et limites environnementales est tâche difficile et complexe à mettre en

œuvre ; spécialement dans le contexte français où la filière est encore peu organisée et dont les modes de fonctionnement sont assez mal connus.

- *  conomique et social* : bien que cet aspect soit primordial (les questions de l'exploitation et de l'approvisionnement en bois-énergie étant presque exclusivement abordée selon des logiques de marchés et dans une optique de diminution des coûts des combustibles « entrée chaufferie »), il convient néanmoins de dépasser cette vision purement économétrique et d'intégrer des considérations d'ordre environnemental et social dans la structuration d'approvisionnements en combustibles ligneux. Ainsi, dans une optique de structuration locale des approvisionnements, la dendroénergie contribuerait à créer ou à maintenir cinq fois plus d'emplois qu'un système énergétique uniquement basé sur des énergies fossiles [ADE, 2006].
- *Géographique* : contrairement avec l'approche qui prévaut avec le « tout pétrole » ou l'électricité, où l'espace géographique local peut finalement être considéré comme relativement isotrope d'un point de vue énergétique; la considération de systèmes énergétiques basés sur des ressources renouvelables induit une dimension géographique prégnante. Et si les approches classiques en géographie de l'énergie se satisfaisaient de l'étude des rapports physiques espace-énergie (rapports de localisation et de déplacement essentiellement), *via* l'analyse de la distribution spatiale des productions, des consommations et des échanges ; nous nous situons actuellement dans une approche plus explicative, qui se veut « *  tude des aspects territoriaux de l'énergie, qui donne à lire les territoires en fonction de ce bien essentiel* » [MER, 1997]. Cette approche géographique de la problématique énergétique se justifie d'autant plus que « *fondamentalement, la production, la transformation et la consommation sont des phénomènes inhérents à toute vie, et a fortiori à toute activité humaine. Or l'action de l'homme se déploie nécessairement dans l'espace comme dans le temps, et possède donc une dimension géographique. Ces constatations d'évidence permettent d'affirmer qu'il n'y a aucune sollicitation abusive dans le fait de chercher la signification géographique des   v  nements économiques et politiques qui, dans le domaine de l'énergie se sont multipliés spectaculairement depuis quelques années.* » [BAV, 2002]. Ainsi, la question de l'approvisionnement considérée comme processus permettant l'adéquation entre des potentiels (géolocalisés et dépendant d'un environnement spécifique) et des unités de consommation (induisant de fait des prélèvements dans ce milieu) est une problématique éminemment géographique ; l'un des deux grands objets de la géographie étant selon A. Dauphiné [DAU, 2003] l'étude des relations entre la « nature » et les sociétés humaines. Mais la structuration des approvisionnements induit également des enjeux liés à l'organisation et à l'optimisation de l'espace géographique (la découverte et la compréhension des lois d'organisation de l'espace étant l'autre grand objet d'étude des sciences géographiques), enjeux étroitement dépendants des acteurs intervenant aux différents niveaux de la chaîne énergétique.

Considérant la *figure 2*, nous voyons donc bien que la question de l'approvisionnement est une problématique transversale qui soulève quantité d'enjeux de nature diverse (  conomie, appropriation et gestion des ressources et des espaces producteurs, développement local) en adéquation avec les questionnements généraux posés dans le cadre de politiques d'aménagement du territoire. Si l'on se réfère aux interrogations de J.-P. Prud'homme⁴, nous voyons bien que la valorisation et l'approvisionnement en combustibles

⁴ Cité dans [MON], p.4.

dendroénergétiques s'inscrivent parfaitement dans des préoccupations d'aménagement du territoire.

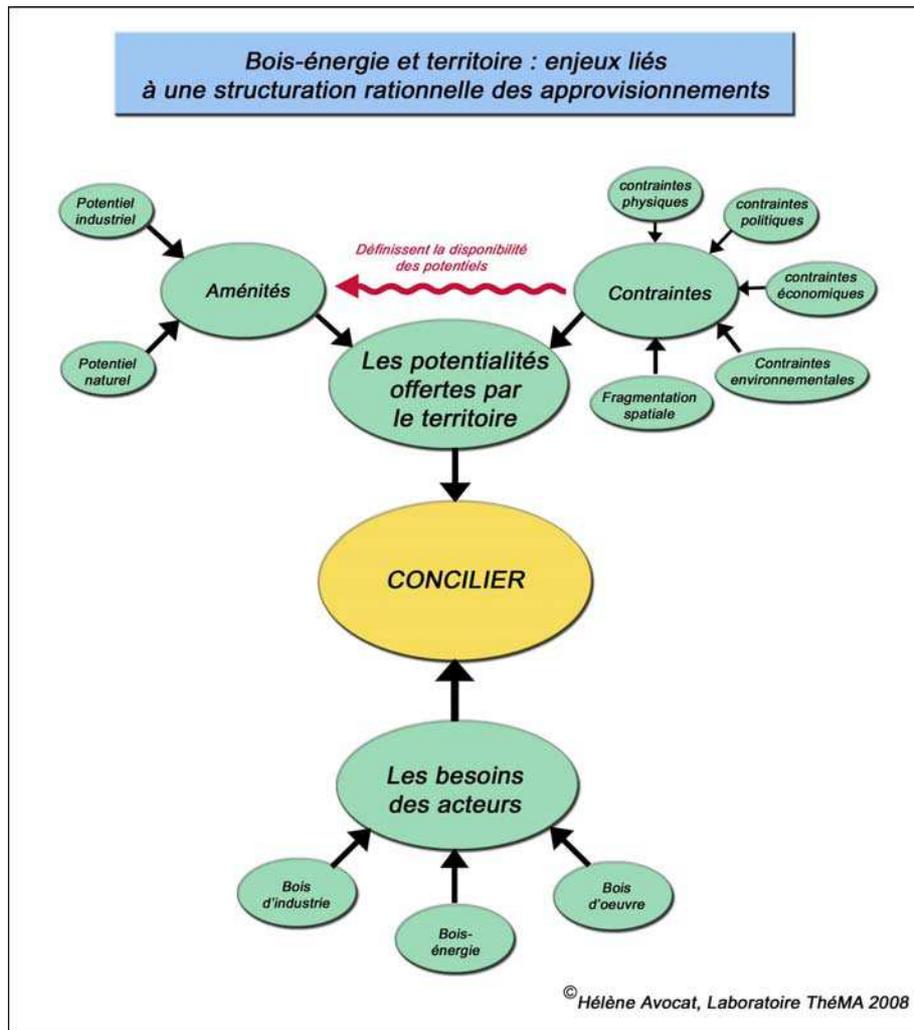


Figure 2 : les enjeux liés à une structuration rationnelle des approvisionnements.

Ainsi « *peut-on penser l'aménagement du territoire en dissociant l'aménagement des villes [principaux lieux d'implantation d'unités de consommation pour les secteurs collectif/tertiaire et industriel] et celui des espaces ruraux [au sein desquels sont localisés la majorité des espaces producteurs de dendroénergie primaire] ou bien au contraire le développement est-il global* » (ce qui pose le problème de l'inscription territoriale des filières et des chaînes énergétiques) ? « *Quelle place accorder à la conservation et à la mise en valeur du milieu naturel ?* ». Autrement dit comment, dans le cadre de notre problématique arriver à concilier les fonctions productives (en lien direct avec les marchés et la sphère économique de la filière bois) et les autres fonctions de la forêt (faisant explicitement références à d'autres contraintes de type environnemental, ou en relation avec la multiplicité des usages inhérente aux espaces producteurs et aux ressources) ? Comment doit s'organiser l'articulation entre les objectifs mis en place au niveau national (objectifs de réduction des émissions de CO₂ par exemple) et la structuration locale de la filière ? Autant de questions auxquelles un raisonnement géographique permettrait d'apporter des éléments de réponse.

Ainsi, si le territoire nous apparaît en tant que géographe comme une entrée pertinente pour la structuration des approvisionnements en combustibles dendroénergétiques, il est un autre concept que nous souhaitons développer en complémentarité, celui de localité.

1.2. Argumentaire pour une structuration locale de la filie  re.

La filie  re dendroénergétique a, nous l'avons vu, une forte inscription territoriale. Cependant les politiques incitatives au développement du bois-énergie mises en place par le gouvernement ou par des autorités administratives indépendantes (pensons notamment à la Commission de Régulation de l'énergie), ne tiennent non seulement pas compte des disparités du territoire national par rapport à l'accessibilité à la disponibilité et des potentiels ; mais promeuvent également via la publication d'appels d'offre l'émergence de structures de consommation de puissance (très) importante, qui vont générer une structuration industrielle⁵ à petite échelle de la filie  re. Ainsi la réalisation de trois centrales de cogénération biomasse en Franche-Comté (résultats publiés le 13 juin 2008) va considérablement modifier les paysages dendroénergétiques régionaux et locaux. La récence des mutations ne nous permet cependant pas d'appréhender l'ampleur des changements. Néanmoins, au vu des entretiens avec différents acteurs de la filie  re, de nouvelles logiques semblent transparaître, comme la structuration « industrielle » à petite échelle de ces méga-projets. L'affirmation et la multiplication des grosses sociétés d'approvisionnement (Suez, Véolia etc.) sur les marchés du bois-énergie français qui y voient une manne, est un corollaire direct de cette évolution. Si la mise en place de ces projets est susceptible d'avoir un effet structurant positif sur le territoire et la structure dendroénergétique existante (là encore la récence des   v  nements ne nous permet pas d'avoir le recul nécessaire pour en juger, ce qui nous appelle à une extrême prudence), il est tout de même deux points qui doivent nous interpeller.

Le premier est relatif à la volonté de se procurer des combustibles dendroénergétiques à des prix toujours plus bas, au détriment parfois de leur qualité et des conditions environnementales dans lesquelles ces produits ont été conçus et acheminés. Il n'est pas rare en effet, que des unités de consommation fassent venir des combustibles d'origine lointaine, mais dont le coût de production est très nettement inférieur et qui du coup compense les frais inhérents à l'importance de la distance. Dans ces conditions, le critère de seule rentabilité économique est critiquable car, d'une part il n'y a en général pas de traçabilité du combustible et que, d'autre part les unités de consommation ne sont plus dans une optique de valorisation des ressources locales, argument que l'on retrouve dans pratiquement tous les documents et argumentaires en faveur du bois-énergie.

Le second émane d'une réflexion sur la pertinence même des très grosses unités de consommation, qui de fait mobilisent des quantités très importantes de combustibles pour un rendement qui est nettement moins important qu'avec d'autres formes d'énergies (le bois-énergie ayant une intensité énergétique spatiale moindre du fait de ses caractéristiques physiques et de sa dissémination sur le territoire). Or, les rayons d'approvisionnement étant fonction de la puissance et *a fortiori* des quantités de bois-énergie à mobiliser [ONF, 2007], il est nécessaire de s'interroger sur le concept de localité : en effet, si l'on achemine du bois depuis plus de 300 kilomètres, est-il encore pertinent de parler de structuration locale de la filie  re ? De même, y a-t-il un seuil de distance (euclidienne ou autre) en de    duquel on ne parlerait plus de localité ? Bien que les experts divergent quelque peu sur la question, il semble qu'au delà d'une distance de 150 kilomètres, l'utilisation du bois comme combustible

⁵ Le terme industriel est utilisé ici dans son acceptation la plus large et qui par analogie fait référence aux quantités importantes de biomasse ligneuse mobilisées dans le cadre de grosses unités de consommation. Le terme industriel s'oppose donc ici au concept de localité ou de structuration locale, que l'on peut définir par rapport à des pratiques de développement local, et faisant référence à des territoires de taille réduite.

deviendrait inintéressante : selon F. Hug,⁶ et P. Nunes, ingénieur thermicien « *l'énergie thermique est une énergie par nature locale, décentralisée, à la différence de l'énergie électrique qui est une énergie qui se transporte aisément dans un réseau. La rentabilité des réseaux de chaleur d'origine renouvelable est donc fonction de la proximité des ressources. C'est pourquoi par exemple, l'utilisation du bois n'est économiquement viable que s'il provient d'une filière locale, située au plus dans un rayon de 150 kilomètres* ». Bien que la question de la pertinence de la localité soit ici abordée sous l'angle économique et qu'aucune démonstration scientifique ne vienne appuyer cette affirmation, il serait pertinent de corroborer l'intérêt de la valorisation des ressources locales par des considérations d'ordre social et environnemental. Cependant, les notions mêmes de distance et de rayons d'approvisionnement aussi intéressantes soient-elles, ne sont-elles pas néanmoins insuffisantes (d'où la pertinence de les considérer comme complémentaire d'un cadre territorial énergétiquement pertinent dans une optique de structuration locale) ?

En guise de bilan, nous constatons que l'augmentation de la demande engendre un **accroissement des pressions sur les systèmes producteurs de ressources ligneuses et un bouleversement de la structure de l'offre** : les sources d'approvisionnement se diversifient, les consommateurs privilégient des combustibles économiquement plus avantageux, mais qui n'émanent pas toujours de ressources locales. Or, dans un contexte où le développement local est de plus en plus invoqué, il importe à notre avis **de repenser le développement de la filière dans un cadre territorial local** (ou du moins infra-régional). Cependant cela doit passer par une réflexion globale sur la filière et son inscription territoriale. Dans cette optique, nous développons des réflexions et méthodes permettant l'élaboration d'un modèle dont le but est la valorisation des potentiels et l'optimisation des processus d'approvisionnement à un échelon territorial infra-régional.

2. Le bois-énergie, une organisation et des dynamiques complexes : une approche par la systémique.

La considération du bois-énergie comme un système dynamique et complexe faisant partie intégrante d'un système plus vaste (le système territorial) est l'étape préliminaire de notre démarche de modélisation, et répond à une logique de compréhension du fonctionnement global de la filière au sein d'un territoire (conféré tableau 1)

ETAPES DE LA MODÉLISATION	OBJECTIFS GÉNÉRAUX
Approche descriptive et analytique	Compréhension globale de la structure et du fonctionnement du système
Modélisation conceptuelle : formalisation	Construire une représentation
Développement du modèle	Optimisation et simulation

Tableau 1 : démarche de modélisation et objectifs généraux.

Déclinaison systémique et territorialisée du concept de système énergétique (ordinairement défini sous l'angle technologique), le concept de système énergétique territorial (SET) fournit un cadre théorique pour l'analyse de notre problématique introduisant une indispensable dimension spatiale et territoriale. Après avoir analysé le système énergétique bois-énergie lui-même ; ses composantes structurelles et ses dynamiques

⁶ Frédéric Hug est directeur de l'environnement chez Suez Énergie Services. Cité dans le rapport du Sénat *énergie et développement local : l'intelligence territoriale en action*, lors de l'audition de Suez.

fonctionnelles, nous le replacerons dans un cadre territorial (par territoire nous entendons espace géographique + acteurs [MOI, 2003]) et étudierons les interrelations entre les deux systèmes. Nous nous intéresserons notamment aux possibilités issues de la dynamique des systèmes, en matière de modélisation (prospective). Néanmoins, une attention particulière sera apportée à la spatialisation des phénomènes, car si la dynamique de systèmes nous est extrêmement utile à des fins de compréhension et de représentation des (inter)relations entre le sous-système « bois-énergie » et le système global « territoire », c'est également une méthode qui montre assez vite ses limites en matière de spatialisation des phénomènes et processus modélisés.

2.1. Le système dendroénergétique : un système complexe.

D'un point de vue conceptuel l'approche systémique se justifie par le constat que le bois-énergie, dans son organisation et son comportement possède toutes les caractéristiques d'un système complexe [LEM, 1990] ; c'est-à-dire un ensemble d'éléments en interaction locale et simultanée (en l'occurrence des infrastructures de production, transformation, consommation organisées et reliées entre elles par des processus de production, de transformation, d'acheminement etc.) dont le comportement est imprévisible autrement que par l'expérience ou la simulation . De plus, si l'on considère que le système bois-énergie est une composante du système territorial, cela corrobore le fait que « *le système [soit] ouvert et soumis à un extérieur* » (conféré figure 2), les facteurs territoriaux constituant les facteurs d'organisation et d'évolution de ce système énergétique [IBR, 2005].

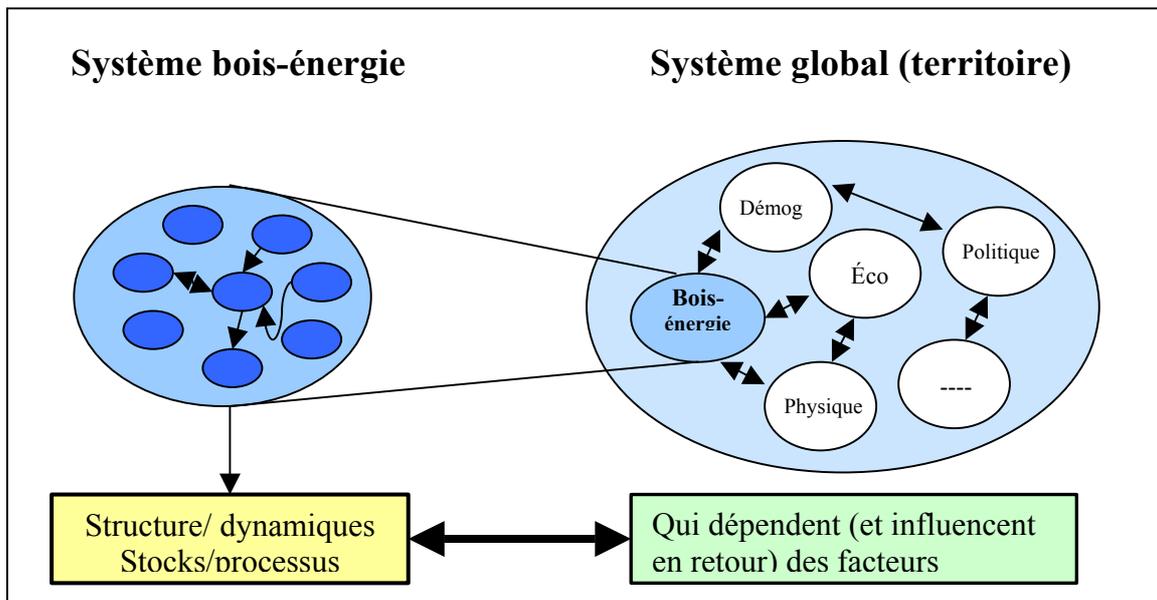


Figure 3 : le système bois-énergie, une composante du système territorial.

Ainsi, si l'on se base sur les travaux de J.L LeMoigne (LEM , 1990) et A. Dauphiné (DAU, 2003), nous voyons bien que le système territorial bois-énergie possède les caractéristiques intrinsèques d'un système complexe :

- Ainsi l'analyse de la structure dendroénergétique territoriale fait apparaître une grande **complexité structurelle due à un nombre important de composantes** (que ce soit des unités de consommation, de production, ou de transformation) aux caractéristiques parfois fortement différenciées. Ainsi, si l'on prend l'exemple des structures de consommation, nous constatons une hétérogénéité au niveau de la puissance, à mettre en corrélation avec

la qualité des combustibles : en effet, plus la puissance de l'installation est importante est moins celle-ci sera exigeante sur la qualité du combustible (granulométrie, humidité etc.). De même, la composante « potentiel », qui regroupe aussi bien les potentiels et combustibles issus de la production forestière directe que ceux issus des industries de transformation du bois (que nous appellerons « potentiel industriel ») est extrêmement hétérogène du fait de la quantité mobilisable à des fins énergétiques et de la multiplicité des formes de combustibles (bûche, plaquette forestières, granulés, déchets de l'industrie du bois etc.). Cette hétérogénéité, corrélée à des considérations d'autres ordres (politique, environnemental ou économique par exemple) complexifie notablement les logiques d'approvisionnement et par là même la modélisation de ces processus. La nature des espaces producteurs, hétérogènes de part leurs caractéristiques physico-biologiques et leur configuration spatiale, complexifie également la complexité structurelle du système et intervient dès lors comme une contrainte territoriale.

- Il y a également une **complexité fonctionnelle** très difficile à appréhender, car l'évolution du système dépend de la conjonction de paramètres parfois difficilement palpables. Ainsi, le stock « potentiel » ne peut se définir seulement par rapport à un système physique. Il faut intégrer d'autres paramètres comme le politique, l'économie, la faisabilité technique etc. Il en va de même pour la compréhension et la définition des processus (production, approvisionnement, consommation etc.). La complexité fonctionnelle, intimement liée au comportement (difficilement prévisible) du système est également le fruit du comportement et décisions des acteurs intervenant de façons très diverses sur différents processus du système.
- La **complexité due à l'imbrication de niveaux spatiaux** fait quant à elle référence à la nécessité de penser l'analyse du système à diverses échelles spatiales et de réfléchir à des territoires de pertinence concernant l'approvisionnement des structures de consommation. Ainsi, les réflexions sur les espaces producteurs peuvent se faire à l'échelle de la parcelle forestière, du massif, d'un arbre, d'un territoire administratif etc. alors que l'approvisionnement se pense en termes de rayons d'approvisionnement ou de structuration territoriale regroupant plusieurs de ces entités naturelles.
- Nous pourrions également compléter cet aspect par une complexité supplémentaire induite par l'**imbrication de niveaux temporels**. Dans une optique de durabilité, la structuration des approvisionnements devra se penser sur le moyen, voire long terme ; le temps de vie moyen d'une unité de consommation étant d'environ deux à trois décennies Cette structuration devra notamment tenir compte des rythmes de croissance et des conditions de renouvelabilité des gisements. Autant de temporalités différenciées à mettre en adéquation avec les rythmes d'exploitation et de production des espaces producteurs puis avec les rythmes de consommation (saisonnier et parfois journalier) des unités de consommation.
- L'**imbrication des niveaux d'organisation** est également un facteur de complexité pour notre système, et fait notamment référence aux contraintes induites par le fait que le bois-énergie n'est pas une filière énergétique autonome, mais qu'elle doit se penser et s'organiser en fonction de la filière bois notamment en ce qui concerne le partage des ressources au moment de la production d'énergie primaire, puis du partage des résidus industriels (potentiel secondaire) valorisable sous diverses formes.

- **L'imprévisibilité du comportement du système**, que certains auteurs qualifieront parfois de chaotique (bien que la référence implicite à la théorie du chaos soit discutable) du fait de la non-linéarité et de la multiplicité des relations et interrelations entre les différentes composantes du système accentue également la complexité du système et rend l'exercice prospectif difficile. Ainsi des événements comme la tempête de 1999, dont la probabilité d'occurrence est infime en regard des statistiques météorologiques a eu pour conséquence une modification de l'état initial de notre système (déstructuration de l'offre), en augmentant le potentiel disponible, baissant les prix etc.

En regard de ces différents éléments nous pouvons donc affirmer que le bois-énergie peut s'identifier à un système complexe territorialisé (inscrit dans l'espace, le temps et faisant intervenir des jeux d'acteurs), et dont l'évolution obéit à une conjonction de facteurs nombreux et interdépendants (conféré figure 2). Néanmoins, dans une optique de compréhension et de formalisation, il nous semble pertinent de traduire cette vision systémique globale par le recours au concept de chaîne énergétique territoriale.

2.2. Un autre moyen de représentation : la chaîne énergétique territoriale.

La chaîne énergétique territoriale (figures 3 et 4) peut se définir comme une « succession de stocks et de processus allant du potentiel énergétique territorial à la consommation utile » [IBR, 2005] (dans le cas du bois-énergie, il s'agit essentiellement d'énergie thermique, les centrales de co-génération n'étant pas encore fonctionnelles).

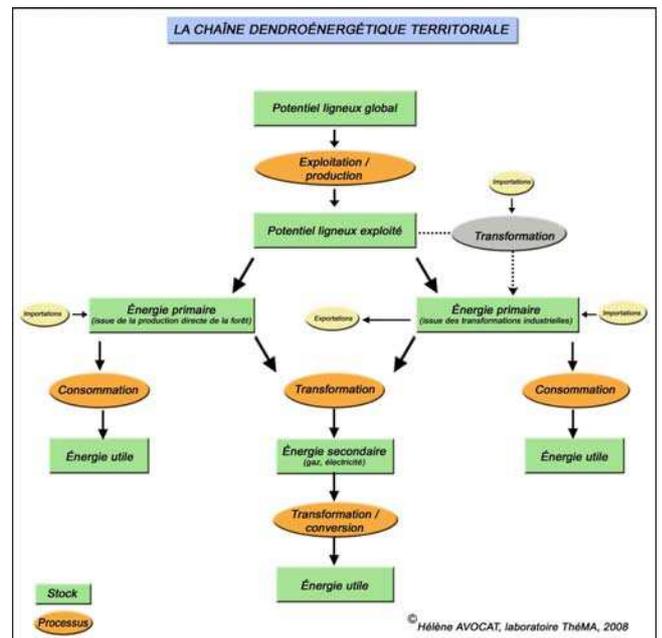
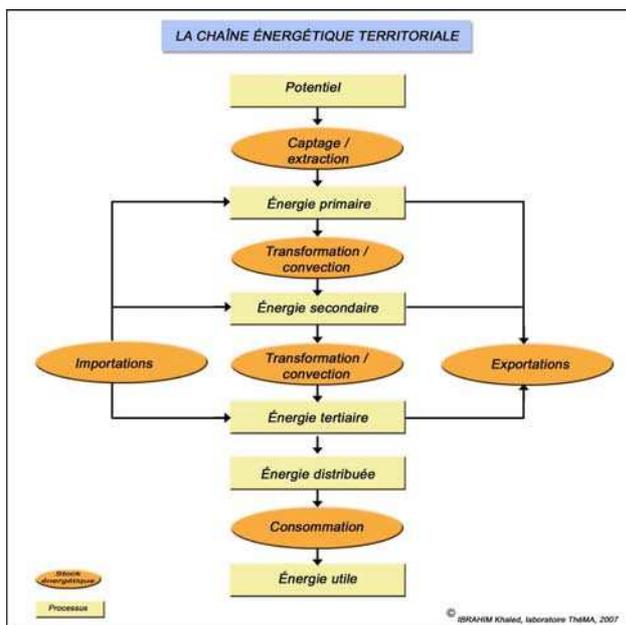


Figure 4 : la chaîne énergétique territoriale

Figure 5 : la chaîne dendroénergétique

Chaque processus est en interaction avec un ou plusieurs autres, ainsi qu'avec les différents stocks. L'influence est en premier lieu directe dans la mesure où un processus conditionne le stock suivant, qui lui-même influe sur le prochain processus. Ainsi, la capacité de production / exploitation détermine le stock de ressources ligneuses exploitées et *a fortiori* le stock d'énergie primaire ; mais intervient également de façon parallèle sur l'activité de transformation et donc sur le volume et la nature d'énergie secondaire et ainsi de suite jusqu'au stock d'énergie utile. Cependant, un problème se pose pour la formalisation de cette

chaîne énergétique bois-énergie : dans la chaîne énergétique générique l'énergie secondaire est la forme d'énergie après transformation d'énergie primaire. Cependant, dans le cas du bois-énergie, la forme d'énergie primaire issue de la production forestière directe sous forme de bois-bûches ou de plaquette forestière ne donne pas lieu à des processus de transformation ou de convection en une forme d'énergie secondaire. Elle sera en effet directement consommée. Dans ce cas, la dénomination d' « énergie secondaire » pour désigner toutes les formes de combustibles obtenues après transformation ou utilisation du bois est-elle pertinente ? Ou alors vaut-il mieux parler de potentiel « industriel » par rapport à un potentiel « forestier » ? L'intégration de la filière bois-énergie au sein d'une filière bois plus vaste soulève de nombreux enjeux quant aux usages de la ressource sous ses différentes formes, et complexifie de fait notablement la chaîne dendroénergétique territoriale, induisant des contraintes supplémentaires. Néanmoins, dans une optique de visualisation et de spatialisation de tous ces éléments et phénomènes nous proposons une synthèse sous forme schématique sur la base d'un socle territorial. Cela nous aidera à identifier les paramètres territoriaux à prendre en compte dans une démarche de modélisation des processus d'approvisionnement en combustibles ligneux.

2.3. Formalisation schématique

Au vu de ce qui a donc été développé précédemment, nous proposons maintenant de traduire notre système sous forme schématique (conféré *figure 6*), ce qui nous permettra de poser les jalons de notre modélisation. Faisant cela, nous nous inscrivons dans la démarche globale de modélisation des systèmes complexes, telle que développée par [LEM, 1990], visant à décrire intellectuellement (ou textuellement) le système avant de le formaliser concrètement via des modèles sagittaux, graphiques, des diagrammes stocks/flux etc.

En regard de ces différents éléments nous voyons bien que la modélisation des processus d'approvisionnements en combustibles dendroénergétiques à l'échelle locale et tenant compte des contraintes territoriales, ne peuvent être efficacement appréhendés par des méthodes classiques, linéaires ou cartésiennes. En effet selon ces méthodes, les relations entre les parties sont inexistantes et les relations décrivant le comportement des parties sont linéaires. Les interactions nombreuses et diversifiées entre les éléments et processus de la chaîne énergétique d'une part et le territoire d'autre part justifient donc pleinement le recours à la systémique.

3. Vers une structuration territoriale des approvisionnements en combustibles dendroénergétiques : les trois étapes de la modélisation.

Le système dendroénergétique territorial constitue, nous l'avons démontré, un système complexe par excellence. Plus particulièrement, les interactions entre le territoire d'une part (conçu comme un ensemble de structures et de potentialités sur lesquels se localisent des espaces producteurs et des unités de consommation) ; les actions et les comportements des acteurs d'autre part (collectivités locales, industries etc.) forment un système dont la complexité ne cesse de poser des défis aux chercheurs et décideurs. L'objectif général de notre démarche de modélisation est donc de représenter le fonctionnement du SET (système énergétique territorial), prenant en compte les effets systémiques des différents processus à l'œuvre. Les finalités de notre modèle sont d'une part la valorisation des potentiels locaux et d'autre part, l'optimisation des processus d'approvisionnement à l'échelon infra-régional tenant compte des contraintes et aménités territoriales. Pour cela, nous proposons une méthode en trois étapes :

- 1) Quantifier et évaluer les potentiels énergisables à l'échelle d'un territoire.
- 2)   valuer, quantifier et modéliser la demande.
- 3) Structurer l'approvisionnement.

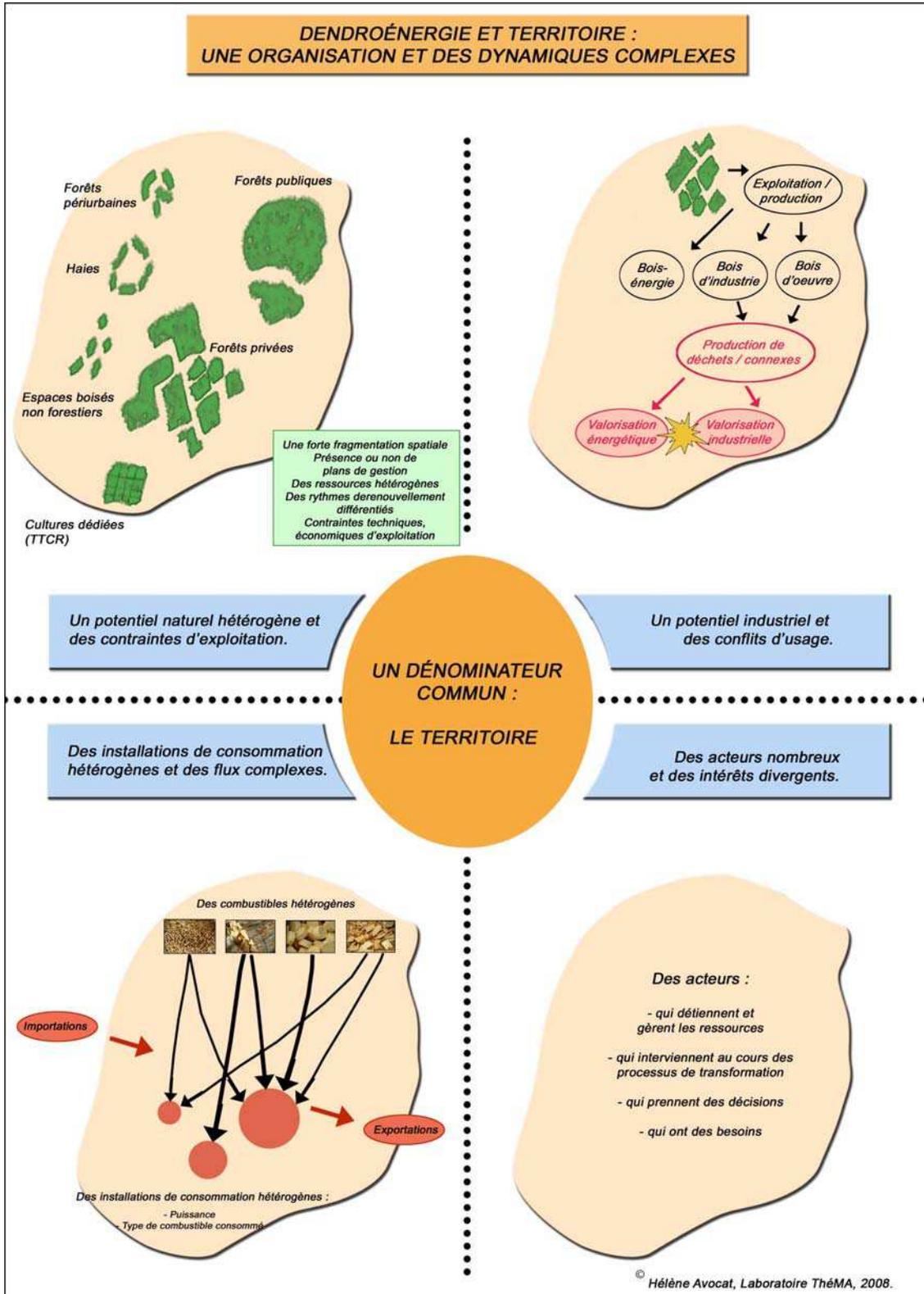


Figure 6 : système et chaîne dendroénergétique, une forte imprégnation territoriale.

3.1. *Étape 1 : localiser, caractériser, et quantifier les potentiels dendroénergétiques à l'échelle d'un territoire.*

La connaissance des potentiels énergisables est la première et sans doute l'étape la plus importante de notre démarche. Elle a pour finalité de répondre dans un premier temps aux questions "où" et "quoi", c'est-à-dire de localiser et de caractériser les différents types de potentiels : forestier (ou naturel) et industriel. Pour ce faire, nous nous appuyerons sur des données de l'Inventaire Forestier National (IFN), éventuellement complétée par une analyse de données issues de la télédétection pour ce qui est de la définition du potentiel ligneux global. Les apports de la télédétection hyperspectrale (LIDAR) sont connus en foresterie et pourraient constituer un intéressant complément dans la mesure où ces technologies permettent l'évaluation précise de la hauteur des peuplements, du degré de couverture, des volumes de bois et des taux de boisement. En ce qui concerne le potentiel industriel issu des transformations effectuées dans l'industrie du bois, nous nous appuyerons sur les enquêtes de branche et éventuellement sur des enquêtes (entretiens) avec les acteurs en vue d'estimer les volumes de résidus énergisables et de comprendre comment s'organisent ces flux de matière. Une fois les potentiels localisés et caractérisés, nous nous proposons de quantifier et d'évaluer la fraction énergisable de ces potentiels, en fonction de contraintes territoriales (environnementales, économiques et d'usage principalement), dans le but de répondre aux questions "combien" et "sous quelle forme". Pour ce faire, nous nous appuyerons sur les acquis développés précédemment (bois-énergie et territoires, influences et rétroactions) en vue de définir et de quantifier les potentiels énergisables (mobilisables/exploitable) à l'échelle d'un territoire. Cela implique également une vision sur le moyen/long terme, la durée de vie des unités de consommation étant au minimum de deux décennies.

3.2. *Étape 2 : évaluer et quantifier la demande.*

Une fois la partie offre (potentiels) caractérisée, il convient d'étudier le volet « demande ». L'évaluation et la quantification de la demande sont une étape clé dans notre démarche de modélisation et reposent sur des données de consommation énergétique. C'est également une étape extrêmement difficile à mettre en oeuvre en raison de la complexité inhérente aux unités permettant d'appréhender concrètement ce phénomène : puissance (MW), type de combustible, et quantités de ressources ligneuses à mobiliser (en tep ou en tonnes). A cela s'ajoute le fait que l'adéquation entre les différents types de combustibles et les différents types d'unités de consommation ne semble a priori pas définie, le seul lien que l'on puisse démontrer est que la tolérance vis-à-vis de la qualité des combustibles augmente avec la puissance de l'installation. Autrement dit, une grosse unité de consommation de puissance importante à très importante serait à même de consommer tous les types de combustibles, alors que l'inverse n'est pas vrai : plus l'unité est petite, plus le combustible devra être fluide (granulométrie) et sec (hygrométrie). Une enquête sur un échantillon d'unités de consommation permettrait de mieux comprendre les critères de choix et la provenance des combustibles (valorisation des potentiels locaux ou non).

Dans un premier temps, nous nous proposons d'évaluer la demande à t_0 , de manière à dresser un tableau (bilan) de la demande dendroénergétique, basé sur les données de l'ADEME, qui finance la très grande majorité des installations. Le recours à des scénarii prospectifs, s'il s'avère nécessaire dans notre démarche de modélisation (comment adapter l'offre aux fluctuations de la demande ?) s'avère très difficile à mettre en place puisque d'une part le développement de la filière est récent et en constante évolution, et que d'autre part les mécanismes régissant ces évolutions sont pour l'heure mal connus. D'où l'utilité de

l'approche systémique développée en préambule de cette démarche et permettant de comprendre les facteurs conditionnant la consommation dans un premier temps, puis d'évaluer et de quantifier la demande. Une enquête et des entretiens seraient utiles pour comprendre les facteurs responsables de l'évolution de la demande. Nous pouvons néanmoins affirmer que si l'investissement de départ, beaucoup plus élevé qu'une unité de consommation basée sur des énergies fossiles (type fioul ou gaz), aurait tendance à rebuter les consommateurs, les systèmes d'aides financières sont très efficaces en matière d'incitation à la création de chaufferies bois. Le facteur environnemental est également un argument intervenant en faveur du développement des unités de consommation (utilisation d'une ressource énergétique renouvelable, valorisation des potentiels locaux etc.). Il convient de plus d'arriver à estimer une demande externe au territoire (ainsi, les projets de cogénération mis en place dans les environs solliciteront très certainement les ressources présentes sur les territoires environnants).

En ce qui concerne l'évaluation de la consommation pour le secteur domestique, nous nous appuyerons sur l'analyse de données et de statistiques issues d'enquêtes type recensement général de la population ou enquêtes logements, afin de déterminer les quantités de combustibles bois consommées par ce secteur. Bien que le secteur domestique soit en France (a fortiori sur les territoires à profil rural) le principal consommateur de bois-énergie, nous ne le considérerons que de manière agrégée, leurs processus d'approvisionnement répondant à des logiques particulières, dont l'étude constitue à elle seule un travail de thèse.

3.3. Étape 3 : structurer spatialement et temporellement les approvisionnements.

Une fois les potentiels élargissables, et l'état de la demande déterminés à un temps t , il convient de voir comment mettre en adéquation offre et demande à l'échelle d'un territoire. Pour cela, nous avons choisi l'optimisation des processus d'approvisionnements, processus spatialisés et temporalisés extrêmement complexes à l'interface entre les stocks « potentiels » et « unités de consommation ». Les enjeux liés à la structuration des approvisionnements sont multiples et complexes : ainsi la question de l'adéquation entre des rythmes de renouvellement des espaces producteurs, des rythmes et des quantités de production et des rythmes de consommation, tous de temporalités différentes doivent être analysés dans cette démarche. Il convient également de prendre en compte les concurrences d'usage (tensions autour du partage des ressources, qu'elles soient forestières ou industrielles) de façon à ce que la satisfaction dendroénergétique s'inscrive de façon harmonieuse au sein de la filière forêt-bois. A cela s'ajoute le fait que l'adéquation entre « type de combustible » et « types d'unités de consommation » n'étant ni évidente, ni automatique, cela complexifie notablement la modélisation des flux et des logiques d'approvisionnement.

Bien que nous interrogeons encore à l'heure actuelle quant aux méthodes et outils à utiliser en complément de la dynamique des systèmes, une première étape serait l'implémentation des résultats obtenus lors des deux précédentes étapes dans un système d'information géographique. Une analyse multicritère serait peut-être utile dans une optique d'optimisation spatiale ou temporelle de certains paramètres.

Conclusion :

La conjonction de facteurs économiques (prix des énergies fossiles), géopolitiques (dépendance énergétique) et environnementaux (surexploitation des ressources, pollution) a

eu pour conséquence la promotion du bois-énergie en France. Cela se traduit depuis quelques années par une augmentation de la demande, essentiellement de la part d'unités de consommation de puissance moyenne à très importante, dans les secteurs collectif/tertiaire et industriel. Cependant, la ressource étant à l'heure actuelle considérée comme pléthorique, on ne se soucie pas vraiment des contraintes environnementales et des capacités des espaces producteurs ; et de nombreux projets voient le jour sans vraiment se soucier de ces aspects. A cela s'ajoutent des enjeux économiques très importants autour de la mobilisation des combustibles dendroénergétiques et de l'approvisionnement de ces unités de consommation. Une telle approche, basée presque uniquement sur des considérations économétriques est à notre avis dangereuse et peut mettre en péril l'équilibre de la filière forêt-bois dans laquelle elle s'inscrit. Au vu de ces différents éléments nous proposons donc d'essayer de modéliser et de structurer ces approvisionnements en partant des potentiels territoriaux de manière à voir ce que le territoire peut raisonnablement supporter (contraintes environnementales) et comment valoriser au mieux une énergie éminemment locale. Pour cela, il nous faut d'abord étudier les liens étroits unissant le bois-énergie et le territoire ainsi que l'inscription de la filière bois-énergie au sein de la filière forêt-bois, le tout dans une optique d'aménagement équilibré du territoire et de développement local. Une telle approche permettrait de dépasser une structuration purement économique des approvisionnements (à l'image de ce que l'on peut voir se mettre en place à l'heure actuelle) et s'inscrirait vraiment dans une optique de valorisation des ressources locales et d'aménagement rationnel des territoires.

Remerciements :

Nous souhaitons adresser des remerciements particuliers aux partenaires institutionnels et financiers du projet OPTTEER dans lequel ces travaux s'inscrivent : ADEME, Communauté d'agglomération du Grand- Dole et Région de Franche-Comté.

Références bibliographiques :

[ADE] ADEME Agence de l'Environnement et de la maîtrise de l'Énergie, 2006. *Programme national bois-énergie 2000-2006. Rapport d'activités 2000-2005*. ADEME éditions, 114 p.

[BAV] Bavoux J.J., 2002. *La géographie, objet, méthodes, débats*. Armand Colin. 239 p.

[EDT] Entreprises Territoires et développement. 2006. *Forêt et territoires*. Les notes d'EDT. 18 p.

[DAU] Dauphiné A., 2003. *Les théories de la complexité chez les géographes*. Anthropos. 248 p.

[GRE] Greffe X., *Le développement local*. 2002. Éditions de l'aube, 199 p.

[GRE] Gresser P., Robert A., Royer C., Vion-Delphin F., 1990. *Les hommes et la forêt en Franche-Comté*. Paris, C. Bonneton, 319 p.

[IBR] Ibrahim K., 2005. *Approche territoriale des systèmes énergétiques*. Mémoire de Master 2, laboratoire ThéMA. 24 p.

[IBR] Ibrahim K., De Sède M.-H., 2005, *Modèle d'analyse locorégional des systèmes énergétiques*, 7ème rencontres ThéoQuant, 26-28 janvier 2005, Besançon-France, 16 p.

[IEA] International Energy Agency, 2007. *Key words energy statistics*. Available on the web http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2007/key_stats_2007.pdf. 80 p.

[LEM] Le Moigne J.-L., 1990. *La modélisation des systèmes complexes*. Dunod, 178 p.

[MER] Merenne-Schoumaker B., 1997. *Géographie de l'énergie*. Nathan, 191 p.

[MOI] Moine A. 2003. *Comprendre et observer les territoires : l'indispensable apport de la systémique*. Mémoire présenté dans le cadre de l'habilitation à diriger des recherches. Laboratoire ThéMA, UFC. 209 p.

[MON] De Montricher N., *L'aménagement du territoire*. 1995. La découverte. 125p.

[ONF] Office National des forêts, 2007. *Rendez-vous techniques n°15*. 44 p.