



Développement durable et territoires

Économie, géographie, politique, droit, sociologie

Vol. 8, n°2 | Juillet 2017

Lutte contre le changement climatique et maîtrise de la demande d'énergie

Distribuer la chaleur fatale des entreprises : la construction dynamique d'un réseau d'énergie décarbonée, entre flux et infrastructure

Distributing companies' waste heat: the dynamic construction of a green energy network, between flow and infrastructure

Zélia Hampikian



Éditeur

Réseau « Développement durable et territoires fragiles »

Édition électronique

URL : [http://](http://developpementdurable.revues.org/11736)

developpementdurable.revues.org/11736

DOI : 10.4000/

developpementdurable.11736

ISSN : 1772-9971

Référence électronique

Zélia Hampikian, « Distribuer la chaleur fatale des entreprises : la construction dynamique d'un réseau d'énergie décarbonée, entre flux et infrastructure », *Développement durable et territoires* [En ligne], Vol. 8, n°2 | Juillet 2017, mis en ligne le 28 juillet 2017, consulté le 01 septembre 2017. URL : <http://developpementdurable.revues.org/11736> ; DOI : 10.4000/developpementdurable.11736

Ce document a été généré automatiquement le 1 septembre 2017.



Développement Durable et Territoires est mis à disposition selon les termes de la licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale 4.0 International.

Distribuer la chaleur fatale des entreprises : la construction dynamique d'un réseau d'énergie décarbonée, entre flux et infrastructure

Distributing companies' waste heat: the dynamic construction of a green energy network, between flow and infrastructure

Zélia Hampikian

- 1 Les discours qui promeuvent une transition énergétique vers un système moins dépendant des énergies fossiles font de sa réussite un des piliers fondamentaux de la lutte contre les changements climatiques. Ils sont en outre indissociables de la promotion des énergies renouvelables, auxquelles on adjoint parfois les énergies dites « de récupération ». Ces dernières sont souvent oubliées dans les représentations communes de la transition énergétique, plus largement peuplées d'images de panneaux solaires ou d'éoliennes. Pourtant, les énergies de récupération tendent de manière grandissante à être mises sur le devant de la scène. Parfois même, leur développement est présenté comme prioritaire¹. Leur usage est jugé préférable à celui de toute autre forme d'énergie, qu'elle soit renouvelable ou non, car elles permettent une diminution de la production d'énergie primaire.
- 2 Parmi elles, la récupération de la chaleur dite « fatale », flux de chaleur généré par des activités qui n'ont pas pour objectif sa production (ADEME, 2015), fait l'objet d'une attention accrue. Des initiatives récentes visent ainsi à en évaluer les différents potentiels au sein des industries, *data center*, installations de traitement des eaux usées ou incinérateurs de déchets (ADEME Nord-Pas de Calais, 2012 ; ADEME Île-de-France, 2015).

En outre, des réglementations récentes contraignent à évaluer la faisabilité de sa récupération² ou incitent à investir dans cette dernière³.

- 3 À travers l'étude de la valorisation de la chaleur fatale, l'objectif de cet article est d'appréhender sur un exemple la façon dont les acteurs font face aux changements qu'entraîne la traduction concrète des enjeux énergétiques et climatiques dans la construction des territoires. Il part pour cela du constat suivant : si l'on décide de récupérer un tel flux de chaleur, il est nécessaire de le distribuer jusqu'à de potentiels usagers. On retrouve alors communément la proposition de relier un producteur de chaleur fatale à un espace urbain au sein duquel les consommations de chaleur sont denses. Il s'agit donc de construire et d'exploiter une infrastructure en réseau qui soit le support de la circulation du flux, c'est-à-dire un réseau de chauffage urbain.
- 4 Ainsi, le système énergétique construit s'appuie sur une infrastructure classique de distribution d'énergie, mais le flux qu'il fait circuler n'est pas produit pour être adapté à cette distribution. L'objet de cet article est d'interroger les tensions qui émergent d'un tel système par l'exploration de la question suivante : comment construit-on et gère-t-on un réseau dont on ne contrôle pas la production du flux qu'il doit distribuer ?
- 5 Notre propos est structuré en trois parties. Partant du champ de l'écologie industrielle qui conceptualise et étudie les circulations de flux entre activités humaines, nous montrons l'intérêt de le combiner à une approche sociotechnique que nous définissons à partir de la littérature sur les infrastructures en réseaux (1). Nous faisons alors le récit de deux cas de valorisation de chaleur fatale, l'une sur une installation industrielle et l'autre sur un *data center* (2). À partir de ces analyses empiriques, nous montrons que le flux est mis au cœur de la logique de construction du système, ce qui rompt avec le schéma dominant de construction des réseaux d'énergie, centré sur l'extension de l'infrastructure (3).

1. De l'écologie industrielle à l'analyse sociotechnique des services urbains en réseau : le flux et l'infrastructure en questions

- 6 Un réseau de chauffage urbain qui valorise une source de chaleur fatale peut être considéré de deux manières, selon que l'on adopte une vision en termes de flux ou d'infrastructure. D'un côté, il peut être pensé comme un échange de flux entre des activités hétérogènes. De l'autre, on peut le voir comme une infrastructure énergétique urbaine en réseau. Dans cette partie, nous montrons l'intérêt d'une combinaison de ces deux visions pour penser la construction d'un tel système, au travers des apports du champ de l'écologie industrielle (1.1) et de l'approche sociotechnique des systèmes urbains en réseau (1.2).

1.1. L'écologie industrielle pour penser la circulation des flux entre activités humaines

- 7 La valorisation de la chaleur fatale, en tant qu'usage d'un déchet ou coproduit d'une activité comme ressource pour une autre, correspond à la définition même de ce que l'écologie industrielle appelle « synergie de substitution » (Beurain et Brullot, 2011). Ce champ de recherche, dans lequel notre objet semble donc pouvoir s'inscrire, forme deux

propositions (Erkman, 2004). D'une part, il entend analyser les flux de matière et d'énergie qui circulent entre les systèmes industriels et l'environnement. D'autre part, il cherche à construire les outils qui favorisent la mise en œuvre de mutualisations et de récupérations de flux entre activités pour améliorer l'efficacité environnementale du système industriel. L'écologie industrielle nourrit donc un objectif de mise en application des principes qu'elle énonce.

- 8 Face à ces enjeux, des travaux défendent une approche par les sciences sociales afin d'étudier l'ensemble des facteurs humains qui sous-tendent une telle transformation (O'Rourke *et al.*, 1996 ; Cohen-Rosenthal, 2000 ; Barles, 2002 ; Abitbol, 2012 ; Brullot *et al.*, 2014). En France notamment, le courant de l'écologie industrielle et territoriale se fonde sur le constat que ces démarches ne peuvent être pensées en dehors du territoire sur lequel elles se déploient et qu'elles impliquent des coordinations entre acteurs qui doivent être analysées (Beurain et Varlet, 2014b, 2015 ; Brullot *et al.*, 2014 ; Cerceau *et al.*, 2014). Il s'agit de ne pas oublier la complexité inhérente à l'évolution d'un système socialement construit. Certains travaux révèlent ainsi, par exemple, l'importance de l'interconnaissance entre acteurs et du travail d'individus moteurs dans la construction de démarches d'écologie industrielle (Brullot, 2009 ; Buclet, 2011).
- 9 L'écologie industrielle et territoriale entend en outre sortir du paradigme dominant de l'écologie industrielle qui place l'intérêt des entreprises industrielles comme finalité du processus (Barles, 2010). Elle vise également à étendre l'étude et l'application des principes du champ au-delà des parcs « éco-industriels », zones spatialement délimitées au sein desquelles les synergies sont activement recherchées (Sterr et Ott, 2004). Cependant, si ce programme est bien mis en œuvre, ce sont toujours les échanges inter-entreprises qui sont considérés (Barles, 2010).
- 10 Pourtant, le cas le plus emblématique d'écologie industrielle, situé à Kalundborg, s'appuie en particulier sur la récupération de chaleur fatale d'une raffinerie distribuée à la ville par un réseau de chaleur (Diemer et Labrune, 2007). Si de nombreux travaux ont analysé les aspects techniques et organisationnels de cette symbiose (Lowe, 1997 ; Chertow, 2000 ; Ehrenfeld, 2004 ; Jacobsen, 2006 ; Diemer et Labrune, 2007), aucun d'entre eux ne considère cette valorisation autrement que comme un échange entre la raffinerie et « la municipalité » ou « le réseau de chaleur », assimilés à une entreprise⁴. De même, en France, les démarches d'écologie industrielle qui prennent place à Dunkerque incluent une récupération de chaleur qui approvisionne le réseau de chauffage de la ville (CETE de l'Ouest, 2010). Si la démarche générale d'écologie industrielle de ce territoire est largement étudiée (Beurain et Brullot, 2011 ; Maillefert, 2014 ; Beurain et Varlet, 2014a, 2015), la question de la construction du réseau de chaleur est laissée de côté. La récupération de chaleur fatale n'est pas oubliée, mais lorsqu'elle est évoquée individuellement, elle est considérée comme un échange entre deux entreprises (Beurain et Varlet, 2014a, 2014b ; Maillefert, 2014). Dès lors, le processus de construction de l'infrastructure urbaine ne fait pas partie de l'analyse.
- 11 Cependant, un petit nombre de travaux récents appliquent les principes de l'écologie industrielle à des services urbains (eau, assainissement, énergie, collecte de déchets, transport...) et mettent ainsi les acteurs de la fabrique des villes au centre de leurs préoccupations (Vernay, 2013 ; Curien, 2014 ; Pandis Iveroth, 2014 ; Lenhart *et al.*, 2015). Ils analysent par ce biais des systèmes qui rompent avec le mode dominant de gestion de ces flux, parce qu'ils sortent des systèmes en réseau dominants ou établissent des échanges de flux entre différents réseaux habituellement déconnectés. Ils mettent en

particulier au jour un point important : outre les circulations de flux, ces échanges reposent sur une mise en coordination plus ou moins grande de systèmes techniques, qui demande une adaptation des modes de fonctionnement des acteurs (Vernay, 2013 ; Curien, 2014 ; Lenhart *et al.*, 2015).

- 12 Pour aborder cette dimension, ces travaux s'appuient sur un autre champ de recherches qui analyse les relations entre techniques et sociétés. Nous montrons dans la section suivante comment ce dernier fait émerger un débat qui nous permet de construire un cadre d'analyse de notre objet.

1.2. L'approche sociotechnique pour penser la construction des infrastructures

- 13 Au sein du large champ de l'analyse des relations entre techniques et sociétés (Hackett *et al.*, 2008), un courant s'applique à comprendre l'implication de ces dernières dans la formation et le développement des villes (Hodson et Marvin, 2010 ; Guy et Karvonen, 2011). Plus particulièrement, la question du rapport entre les villes et les grands réseaux centralisés⁵ qui y distribuent des services fait l'objet d'un nombre important de recherches (Bocquet, 2006). Dans ces dernières, les réseaux sont considérés comme des « systèmes sociotechniques », c'est-à-dire comme des assemblages composés d'objets techniques et d'acteurs humains enchâssés dans des relations sociales qui s'influencent réciproquement et ne peuvent pas être compris séparément (Hughes, 1993). Ces travaux montrent que la forme de distribution en grand réseau centralisé est indissociable du processus de développement des villes en Europe et en Amérique du Nord, si bien que leur fonctionnement contemporain en est fortement dépendant (Dupuy et Tarr, 1988 ; Offner et Pumain, 1996 ; Lorrain, 2001 ; Coutard, 2008). En particulier, ils mettent en avant une logique de diffusion de ces infrastructures à l'ensemble des espaces urbains : la croissance du réseau prime et la production qu'il vise à distribuer doit suivre.
- 14 Cependant, face à l'essor de critiques d'ordre principalement environnementales de ces systèmes, des travaux profilent une déstabilisation de ce modèle qui serait jugé trop dispendieux en ressources et producteurs de trop grands rejets sur l'environnement (Le Bris et Coutard, 2008 ; Coutard et Rutherford, 2009 ; Coutard, 2010 ; Petitet, 2011). Leur modèle de fonctionnement linéaire (prélèvement des ressources, usage, rejet des déchets) est remis en question, tout comme le fonctionnement *end-of-pipe*⁶ du système industriel contemporain est mis en cause par l'écologie industrielle (Erkman, 2004). Partant de ces constats, ces travaux analysent l'essor de solutions techniques décentralisées de production de ces flux et de bouclages locaux des flux prélevés et rejetés (Coutard et Rutherford, 2010 ; Curien, 2014 ; Rutherford et Coutard, 2015).
- 15 Les parallèles avec les objets étudiés par l'écologie industrielle sont donc nombreux. Cependant, l'hypothèse qui découle de ces travaux ne porte pas sur la question de l'usage des ressources, mais sur celle des infrastructures qui sous-tendent leur circulation : on se dirigerait vers des villes sans réseaux, ou tout du moins des villes au sein desquelles les réseaux perdraient leur prédominance comme forme de distribution des services urbains (Coutard et Rutherford, 2010 ; Petitet, 2011 ; Rutherford et Coutard, 2015).
- 16 De ce point de vue, la valorisation de la chaleur fatale apparaît comme une énigme. Elle correspond en effet à une forme de décentralisation de la production d'énergie et de bouclage⁷ local d'un flux. Cependant, plutôt qu'une altération du réseau, elle implique

une nouvelle connexion entre un producteur et des consommateurs de chaleur, qui correspond à la forme du réseau de chaleur que nous avons évoquée plus haut. Elle tendrait donc davantage à un renforcement de la mise en réseau de l'urbain par la circulation de flux d'énergie.

- 17 Nous pouvons rapprocher ce constat d'une réflexion plus large sur les réseaux de chaleur portée par Laurence Rocher qui montre une tension dans les discours de la transition énergétique et de la lutte contre le réchauffement climatique (Rocher, 2013). En effet, alors que la forme du réseau est jugée inadaptée aux enjeux environnementaux contemporains, le développement des réseaux de chaleur est largement encouragé : ils seraient la forme la plus efficace de circulation des flux de chaleur renouvelables et de récupération. Ainsi, Laurence Rocher conclut qu'il n'existe pas de condamnation déterministe de l'infrastructure en réseau pour le domaine de la chaleur. Au contraire, la pensée du système énergétique lie par un compromis flux et forme de distribution (Rocher, 2013). La promotion de la valorisation de la chaleur fatale au travers d'un réseau de chauffage urbain corrobore cette conclusion.
- 18 Cependant, les travaux d'écologie industrielle qui révèlent la complexité de la coordination propre à un échange de flux entre activités (Abitbol, 2012 ; Vernay, 2013 ; Beaurain et Varlet, 2014b) nous permettent de faire l'hypothèse que le système qui en découle diffère de celui du schéma classique des réseaux de distribution d'énergie. En effet, si dans le modèle conventionnel la production est pensée pour répondre à un enjeu de distribution sur un territoire donné, tel n'est pas le cas de la chaleur fatale. Plus particulièrement, les garants de l'exploitation du système énergétique n'ont pas de prise directe sur le système technique qui produit le flux.
- 19 Partant, dans la lignée des travaux que nous avons évoqués à la fin de la section précédente (Vernay, 2013 ; Curien, 2014 ; Pandis Iveroth, 2014 ; Lenhart *et al.*, 2015), nous proposons de combiner l'écologie industrielle et l'approche sociotechnique des services en réseau. Nous cherchons par là à comprendre comment les incertitudes liées à la valorisation de la chaleur fatale influencent le processus de construction d'un système sociotechnique urbain en réseau. Ainsi, plutôt que de nous placer dans l'hypothèse d'un affaiblissement du rôle du réseau dans la fourniture d'énergie en ville, nous supposons que des réseaux d'un type nouveau apparaissent, qui poussent les acteurs à remettre en question leurs modes de fonctionnement habituels. De là, nous pouvons préciser la question posée en introduction pour former la problématique de cet article : quelles sont les implications de l'usage d'un flux qui n'est pas produit pour être adapté à une distribution urbaine sur la construction et l'évolution d'un système énergétique en réseau ?

2. Récupérer pour chauffer : les cas emblématiques de Dunkerque et de Marne-la-Vallée

- 20 Afin d'explorer les réponses possibles à cette problématique, nous entreprenons dans cette partie l'examen approfondi de deux cas français de distribution urbaine d'une chaleur récupérée au sein des processus d'une entreprise. Tout d'abord, nous analysons le réseau de chaleur de Dunkerque évoqué plus haut, dont nous reconstituons l'évolution complète, quand les travaux existants se focalisent sur les relations interentreprises (2.1). Ensuite, nous nous intéressons à la valorisation de la chaleur produite par les groupes de

froid servant à climatiser un *data center* au Val d'Europe, à Marne-la-Vallée (2.2). Dans les deux cas, nous centrons notre regard sur la manière dont la nature particulière du flux distribué influence le processus de construction et l'évolution des réseaux.

- 21 Les données que nous exploitons sont issues de trois types de sources : la littérature grise relative à ces deux cas, une série d'entretiens semi-directifs réalisés entre juin 2014 et septembre 2015 avec les différents acteurs impliqués, et des documents de travail obtenus au cours de ces entretiens ou bien dans les archives de la Communauté urbaine de Dunkerque.
- 22 Avant d'entrer dans l'analyse, il convient de préciser que ces cas sont uniques et emblématiques à l'échelle nationale. Partout cités en exemple, ils ne possèdent pas d'équivalent : le cas du Val d'Europe est ainsi présenté comme une première européenne, tandis que le territoire de Dunkerque insiste dans sa communication sur le fait que le réseau de chaleur de récupération industrielle alimentant l'agglomération est le plus important de France. Il ne s'agit donc pas tant d'exemples représentatifs que de cas pionniers dont le fonctionnement fait figure de référence face aux ambitions de développement de systèmes qui leur soient équivalents.

2.1. Des hauts-fourneaux vers la ville : le réseau de chaleur de Dunkerque

- 23 La filière industrielle de la sidérurgie « sur l'eau » est inscrite dans l'identité de Dunkerque depuis les années 1960, lorsque l'État décide de tirer parti de la situation géographique et foncière du territoire pour y implanter les établissements de la société Usinor. Après divers épisodes de nationalisation, reprivatisation, fusion et acquisition, c'est aujourd'hui la multinationale ArcelorMittal qui possède les aciéries localisées à Grande-Synthe, commune industrielle adjacente à Dunkerque.
- 24 Au début des années 1980, la crise pétrolière frappe l'Europe et l'on prévoit une augmentation continue des prix des énergies fossiles. Les élus locaux s'intéressent alors à la possibilité de diminuer la dépendance du territoire à de telles énergies, d'autant plus que le climat local engendre des consommations de chaleur importantes. Une étude est lancée en 1982 afin d'évaluer les ressources locales disponibles pour alimenter un réseau de chaleur sur le territoire. Elle examine ainsi le potentiel d'une chaufferie charbon, des gaz sidérurgiques, de la centrale EDF de Gravelines et de la « récupération de chaleur dans l'établissement dunkerquois de la Société Usinor⁸ ». C'est finalement la dernière solution qui apparaît comme la plus prometteuse, et les élus se rapprochent d'Usinor pour discuter de la mise en place d'une telle option. Un accord de principe est obtenu, qui permet au SICURD, le Syndicat intercommunal de chauffage urbain de la région dunkerquoise, qui vient d'être créé, de lancer une consultation nationale pour la construction et la concession d'un réseau de chaleur. L'objectif est donc dès le départ de distribuer la chaleur récupérée chez Usinor.
- 25 La Compagnie générale de chauffe, devenue depuis Dalkia, remporte la concession et signe en 1985 avec Usinor un contrat de fourniture d'énergie : c'est sur la chaîne d'agglomération n° 3 du site qu'une hotte de captation est installée, dans laquelle on mesure des températures pouvant avoisiner les 300 °C. Le complément de chaleur nécessaire est produit par des chaufferies d'appoint fonctionnant par la combustion de fioul lourd, complétées plus tard par des centrales à cogénération. Si l'une d'entre elles a

pour fonction de rehausser la température du flux issu de la captation lorsque nécessaire, les autres sont des compléments de production dont la localisation est choisie dans le but de mailler spatialement le territoire desservi par le réseau (voir figure 1)⁹.

Figure 1. Organisation spatiale du réseau de chaleur de Dunkerque – Image satellitaire en fond tirée de Google Earth



Source : Hampikian, 2015

- 26 En 2006, le SICURD, présidé par Michel Delebarre, également maire de la ville et président de la Communauté urbaine de Dunkerque (la CUD), étudie la possibilité d'augmenter la part de chaleur de récupération dans le mix énergétique du réseau, notamment en prévision de futures extensions. Il s'agit ainsi de sécuriser la part d'ENR&R¹⁰ dans l'approvisionnement du réseau à laquelle est conditionné le taux de TVA¹¹ que payent les usagers sur la chaleur qu'ils consomment. Les flux déjà récupérés au sein de l'usine sidérurgique étant loin de représenter la totalité de la chaleur produite au cours du processus industriel, la possibilité de mettre en œuvre une deuxième captation sur la chaîne d'agglomération n° 2 est étudiée et jugée prometteuse. L'entreprise est contactée par le SICURD et accepte, à condition que le projet soit couplé à celui d'une récupération de poussières, dont la production par l'usine fait l'objet de surveillance par la DREAL¹² et de revendications par les associations environnementales locales. Ce projet commun permet un partage des investissements entre l'industriel et le gestionnaire du réseau de chaleur sans lequel la seconde captation n'aurait pu voir le jour en raison de son coût trop important pour l'opérateur énergétique.
- 27 La deuxième captation entre alors en fonctionnement en 2008, mais la crise économique entraîne une diminution drastique des productions d'acier, et la chaîne d'agglomération n° 2 ne fonctionne quasiment pas tout au long de cette première année. L'amortissement des investissements dans les nouveaux équipements doit pourtant déjà apparaître dans la comptabilité, et Dalkia commence à payer une redevance d'occupation à ArcelorMittal, ce qui aboutit à un mauvais bilan financier de l'exploitation. La situation s'améliore toutefois au cours des années suivantes, avec la reprise de la production sur le site, notamment suite au report des activités du site de Florange.

- 28 Cet épisode particulier, qui a spécialement marqué les acteurs, ne doit toutefois pas masquer des variations régulières et moins spectaculaires dans la production de l'usine, qui influencent l'équilibre du réseau tout au long de son exploitation. En fonction de l'activité du sidérurgiste, mais aussi des maintenances lourdes ou plus ponctuelles qui mettent le système en arrêt, la production de chaleur peut très fortement varier d'un mois à l'autre, ce qui influence l'équilibre économique du réseau.
- 29 Ainsi, la nature du flux d'origine est déterminante pour le fonctionnement du réseau, en plusieurs sens. D'une part, sa localisation dans l'espace influence la topologie générale de l'infrastructure, puisque les points de production complémentaires sont choisis en partie en fonction de ce premier. D'autre part, ses variations dans le temps pèsent fortement sur l'équilibre technico-économique du service autant à court qu'à long terme.
- 30 Ces deux points sont en outre à l'origine de réflexions encore en cours sur l'avenir du réseau. En 2011, suite à la fusion des communes de Dunkerque et de Saint-Pol-sur-Mer, le SICURD est dissous et la fonction d'autorité concédante du réseau de chaleur est exercée par la ville de Dunkerque. Comme convenu par la loi sur les métropoles et l'action publique (dite loi MAPAM), cette compétence est finalement transférée à la CUD en janvier 2015. Cependant, depuis le début de la décennie 2010, la CUD, en association avec la Ville de Dunkerque, mène une réflexion sur le développement du réseau, car elle s'est fixé l'objectif de doubler la puissance qu'il délivre. Une étude est ainsi menée, dont les résultats sont livrés en 2012 : son but est de proposer et d'analyser différents scénarii d'extension du réseau basés sur la valorisation de ressources locales, et donc tout particulièrement de la chaleur fatale. L'un de ses objectifs est en effet de chercher des solutions pour diversifier les sources de chaleur approvisionnant le réseau, et ce, pour faire face à l'inquiétude des acteurs publics de voir la source principale se tarir si, par exemple, le site d'ArcelorMittal venait à fermer ou à se délocaliser. Le nombre important d'entreprises industrielles sur le territoire offre de nombreux gisements possibles, mais l'étude montre que pour la plupart d'entre eux, ils sont trop faibles ou trop éloignés des consommateurs pour que leur récupération soit possible. Ainsi, c'est finalement la récupération de la chaleur sur le Centre de valorisation énergétique, c'est-à-dire l'incinérateur de déchets, qui est retenue, tout particulièrement parce qu'elle est vue comme une source pérenne et qu'elle est gérée par les acteurs publics locaux.
- 31 On constate ainsi que l'absence de contrôle sur le flux de récupération influence tant l'équilibre économique de l'opérateur à court terme que la stratégie des collectivités à long terme. Il s'agit d'en contrer les effets en complétant la production temporellement et spatialement par des sources quant à elles bien mieux maîtrisées, quand bien même elles viennent alourdir le bilan économique et environnemental du réseau.

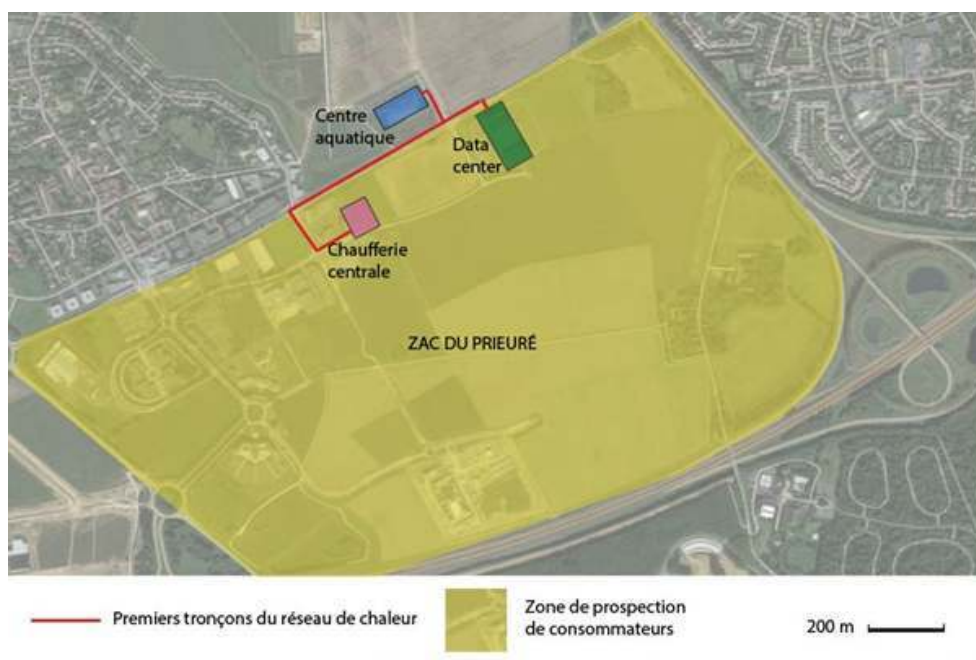
2.2. Des ordinateurs vers la zone d'activité : le réseau de chaleur du Val d'Europe

- 32 L'histoire du réseau de chaleur du Val d'Europe ne commence quant à elle qu'au cours de la fin de la décennie 2000. À cette période se dessine entre les communes de Bailly-Romainvilliers et de Serris une zone d'activités destinée à devenir un parc international d'entreprises. Le Syndicat d'agglomération nouvelle (SAN) du Val d'Europe travaille au même moment à la construction d'une piscine publique en bordure de la zone d'activités, et apprend qu'un *data center* appartenant à une banque française est amené à s'implanter

sur cette dernière (voir figure 2). L'idée germe alors de chauffer la piscine avec la chaleur produite par le système de refroidissement des serveurs stockés, qui doit être évacuée.

- 33 L'opérateur énergétique Dalkia, qui prospecte la zone en développement, trouve l'idée intéressante et se saisit de la question. Dès lors, à partir de 2007, trois acteurs entrent en discussion et réfléchissent à cette solution de chauffage : le SAN, Dalkia, et la banque. Très vite, étant donné l'importance du gisement de calories disponibles en sortie des groupes de froid qui servent à climatiser l'espace intérieur du *data center*, il apparaît pertinent de penser la solution à l'échelle de la zone d'activités. Ainsi émerge l'idée de construire un réseau de chaleur sur l'ensemble du parc d'entreprises, approvisionné par cette source.

Figure 2. Organisation spatiale du réseau de chaleur du Val d'Europe – Image satellitaire en fond tirée de Google Earth



Source : Hampikian, 2015

- 34 Une première décision déterminante pour le devenir du système énergétique est alors prise : celle d'en faire un réseau privé. Car tandis que le SAN préfère une délégation de service public (DSP) lui permettant de garder le contrôle sur le réseau jugé innovant et vertueux, et dont il s'attribue l'idée originelle, il apparaît à l'ensemble des acteurs que la machine administrative nécessaire à la mise en place d'une telle forme de gestion demanderait un délai incompatible avec ceux de la construction très rapide du *data center*.
- 35 Une voix s'élève alors contre la solution : l'Épafrance, aménageur du Val d'Europe, est opposé au développement d'un réseau privé. Or, les tuyaux devant emprunter des fonciers qui appartiennent à ce dernier le temps du portage de l'opération d'aménagement, une convention doit être signée pour autoriser leur passage. Juristes et chargés du développement durable au sein de l'Épafrance sont contre l'idée d'une solution privée qu'ils se refusent à imposer aux entreprises s'installant sur la zone. Ils estiment en effet que la responsabilité de l'approvisionnement énergétique du territoire revient aux acteurs publics, et que la possibilité de défaillance des acteurs privés est trop

lourde à porter face aux usagers. Le directeur général de l'établissement adopte alors le même discours, ce qui bloque le projet pendant plusieurs mois.

- 36 Toutefois, discussions et négociations entre acteurs finissent par faire naître un consensus : s'il n'y a pas de réseau privé, la solution de récupération de chaleur, jugée vertueuse par tous, ne peut exister. Finalement, la convention est signée, et les travaux du réseau commencent, mais l'aménageur ne souhaite pas imposer le branchement des bâtiments s'installant sur la zone dans les fiches de lot.
- 37 La forme de gestion du réseau est donc dès l'origine affectée par la nature du flux. Les acteurs publics doutent de la volonté de l'entreprise qui le produit de s'adapter à des contraintes administratives lourdes, et décident donc de s'adapter eux-mêmes à son mode de fonctionnement.
- 38 La conception du réseau qui suit cette décision est alors à nouveau influencée par la nature du producteur du flux. Les consignes de sécurité qui s'appliquent au *data center*, qui héberge des données bancaires, impliquent que les personnels de Dalkia n'aient pas à y pénétrer pour mener les maintenances nécessaires. Pour cette raison, le réseau est composé de deux boucles qui ne sont reliées physiquement que par un échangeur thermique. D'un côté, une première boucle récupère la chaleur en sortie des groupes de froid du *data center* et fait circuler l'eau chauffée jusqu'à une chaufferie où se trouve une chaudière gaz d'appoint. De l'autre côté, une seconde boucle est réchauffée par la première au travers de l'échangeur thermique et par les chaudières gaz au niveau nécessaire, puis distribue l'eau chaude aux consommateurs. L'objectif recherché par là est une interpénétration minimale des systèmes, qui n'est pas sans conséquence, puisque si la température ou le débit de l'eau ne sont pas ceux convenus, ce qui survient parfois, il est impossible pour les techniciens du réseau de connaître l'origine des variations.
- 39 De manière plus large, les incertitudes sur l'évolution de la source sont importantes. En effet, alors qu'au début du projet, en 2009, le *data center* devait être composé de trois tranches, il n'en existe aujourd'hui qu'une seule, et la future construction des deux autres est fortement mise en cause. La quantité de chaleur disponible pour le réseau à plus ou moins long terme est donc elle-même largement incertaine.
- 40 Mais dans les faits, l'évolution des flux disponibles depuis le *data center* n'est qu'une inquiétude secondaire pour le gestionnaire du réseau, car la difficulté première est celle de trouver des consommateurs. Ainsi, au moment de la mise en service, un premier tuyau est tiré en direction de la piscine, et quelque temps plus tard une pépinière d'entreprises gérée par le SAN se connecte également, n'apportant cependant qu'une part faible de consommation supplémentaire.
- 41 Au-delà de ces équipements publics, le développement du réseau doit alors être coordonné avec celui de la zone d'activités : privée et non imposée, la solution de chauffage doit être proposée à chaque projet d'implantation par Dalkia dans une démarche commerciale. Cette phase, encore en cours, ne se passe pas comme prévu. D'un côté, Dalkia accuse la crise économique d'avoir ralenti le développement de la zone d'activités. De l'autre, le SAN reproche à la solution proposée par Dalkia de n'être pas suffisamment compétitive ou adaptée aux besoins des entreprises du parc d'activités. En particulier, beaucoup d'entre elles appartiennent au secteur tertiaire et demandent une solution couplée de chaud et de froid pour la climatisation des bureaux. En outre, des hôtels réclament une solution qui ne s'arrête jamais, ce qui est incompatible avec les besoins de maintenance, même minimes, d'un réseau de chaleur. Au total, le réseau peine

à se développer et reste confiné aux équipements publics. Le gestionnaire du réseau est le seul acteur à en pâtir financièrement, mais l'ensemble de ceux qui sont impliqués depuis le début dans la construction de l'infrastructure s'inquiètent de ne pas voir ce qu'ils ont présenté comme une première européenne respecter ses ambitions.

- 42 L'extension du réseau au-delà des limites du parc d'entreprises fait partie des éventualités envisagées, en particulier par les acteurs publics, pour trouver des consommateurs au flux. Toutefois, elle demanderait des investissements supplémentaires pour relier des zones qui ne sont pas directement adjacentes au *data center* et elle est en outre potentiellement concurrencée par d'autres projets de réseau de chaleur sur le territoire, qui pourraient également se développer.
- 43 Ainsi, la question pour les acteurs n'est pas tant de compléter le flux que de lui trouver des usages, en fonction des contraintes imposées par sa localisation. Il est alors complexe pour l'opérateur d'écouler une quantité de flux produite par défaut et le service s'en trouve surdimensionné.

3. Les difficultés de la construction d'un réseau par la ressource

- 44 L'histoire de ces deux cas fait apparaître un premier constat : derrière l'exemplarité qui leur est reconnue et la forte communication tournant autour de l'idée de succès qui leur est consacrée, les difficultés ne sont pas absentes. Le discours des acteurs tend à les attribuer à des facteurs externes, à un « contexte » d'échelle nationale, voire internationale. La crise économique est ainsi convoquée pour expliquer tantôt une diminution de production de chaleur fatale, tantôt l'absence de consommateurs. Toutefois, un ensemble de facteurs de portée bien plus locale apparaissent déterminants, tout en n'étant pas immuables.
- 45 Nous voulons montrer ici que le système sociotechnique ne peut se comprendre que de manière dynamique, car son fonctionnement est fortement influencé par les variations du flux de chaleur. Cette dynamique entre en contradiction avec la nécessité d'inscrire l'infrastructure de distribution dans un temps plus long, ce qui génère des tensions de deux ordres dans l'évolution du système sociotechnique que nous exposons dans une première section (3.1). Dans une seconde section, nous montrons en quoi ces dernières mettent l'évolution du flux au cœur de la construction du système sociotechnique, rompant ainsi avec le modèle conventionnel centré sur l'extension de l'infrastructure (3.2).

3.1. Un flux variable dans le temps pour une infrastructure inscrite dans l'espace

- 46 La valorisation de la chaleur fatale résulte de la confrontation entre un flux préexistant et sans valeur *a priori* et une infrastructure lourde qui doit quant à elle être construite. Les études de cas menées nous permettent de mettre au jour deux catégories de tensions qui en découlent, qui ne sont toutefois pas indépendantes.
- 47 La première d'entre elles est d'ordre temporel : elle provient de la mise en confrontation des durées de vie du flux de chaleur et du réseau, tout particulièrement vis-à-vis du financement du système. La chaleur fatale n'étant pas « produite », le coût principal

qu'engendre sa récupération est celui des infrastructures de captation et de distribution que la vente de chaleur permet de rentabiliser au bout d'une certaine durée. Ainsi, les opérateurs comme les collectivités concédantes construisent le modèle économique du service de distribution à partir d'un engagement de la part de l'entreprise productrice de la chaleur à la fournir à un prix donné et durant une durée minimale définie. C'est au travers de ces éléments, négociés entre les différentes parties prenantes, que peut être calculé l'horizon temporel de rentabilité du réseau et que se décide l'investissement.

- 48 Ce modèle doit en outre composer avec une autre exigence temporelle, provenant des entreprises produisant le flux de chaleur. ArcelorMittal et la banque propriétaire du *data center* expliquent en effet refuser que le système de récupération leur coûte financièrement. Les investissements qui sont réalisés de leur côté doivent donc être rentabilisés au bout d'une durée qui leur convienne, souvent inférieure à l'horizon des investissements pouvant être envisagés pour une infrastructure telle qu'un réseau de chaleur. Sans connaître précisément les modèles d'amortissement pour nos cas d'étude, on peut citer le fait que le groupe ArcelorMittal pratique, depuis son rachat par Lakshmi Mittal, une politique de restriction des investissements à des projets qui puissent être rentabilisés en moins de trois ans. La nature du flux et de son producteur conditionne donc très largement le modèle de financement du réseau.
- 49 Toutefois, les études de cas nous montrent que les flux envisagés dans ce modèle ne correspondent pas en tout temps à la réalité, du côté de la production ou de la consommation, en raison de dynamiques économiques, organisationnelles ou territoriales. Le modèle envisagé s'en trouve déstabilisé, ce qui amène à repenser l'organisation de l'infrastructure de production et de distribution. Dans le cas de Dunkerque, l'extension du réseau est en partie justifiée par ce constat et met en exergue la question de la durée de vie des entreprises. En effet, une industrie est ciblée pour sa production d'un flux de chaleur fatale, dont la récupération pourrait être rentabilisée en une dizaine d'années, mais les rédacteurs de l'étude s'interrogent sur l'existence de l'établissement au terme de cette période. Dès lors, il est préconisé de retenir les cas pour lesquels les temps de retour sur investissement sont inférieurs à une telle durée, que l'on retrouve pourtant de manière classique dans les modèles économiques des réseaux de chaleur. La représentation de l'attachement de l'entreprise au territoire conditionne donc en partie la valorisation de la chaleur fatale qu'elle produit.
- 50 Au total, l'ensemble de ces tensions temporelles se résout de manière similaire : la nature et la projection de l'évolution du flux sont considérées en premier lieu et conditionnent la décision d'investissement dans l'infrastructure ou remettent en cause son organisation.
- 51 La seconde catégorie de tensions est d'ordre spatial : elle touche à la difficile mise en adéquation des localisations de la production et de la consommation de chaleur. Le cas du Val d'Europe montre en effet que la dynamique de construction du territoire ou, en d'autres termes, la vitesse à laquelle des consommateurs potentiels s'implantent sur la zone de prospection du gestionnaire, est source d'incertitude. La problématique de l'adéquation spatiale entre production et consommation se pose ici en des termes spécifiques, puisque l'opérateur ne peut choisir ni la localisation de la source ni la quantité de flux. Il s'agit donc pour ce dernier de s'accommoder d'une organisation spatiale donnée pour construire la topologie du réseau, et ce de deux manières.
- 52 D'une part, la distance des potentiels clients à la source influence les coûts d'infrastructure et les pertes de chaleur au cours du transport. Il est donc plus intéressant de raccorder en premier lieu au réseau des bâtiments construits à proximité de la source

de chaleur. Or, l'opérateur n'a pas de prise sur le phasage des constructions. Quand bien même elles lui sont communiquées de manière prédictive, il ne peut choisir le point d'origine de sa source de chaleur et ne peut donc optimiser la localisation en fonction de ces données. D'autre part, comme nous l'avons vu précédemment, la fonction assignée aux bâtiments construits influence fortement la décision de branchement au réseau : tous ne sont pas disposés à accepter une telle solution. Au-delà, une question similaire se pose pour les possibilités d'extension du réseau. Dans un cas comme dans l'autre, la distance entre les sources potentielles et les gisements de consommation est le premier paramètre considéré dans l'analyse des potentialités de récupération.

- 53 Ainsi, en définitive, qu'il s'agisse de prendre la décision de construire le réseau ou encore de trouver un équilibre entre production et consommation, la représentation spatiale et temporelle que les acteurs se font des flux de chaleur vient en premier, et les moyens infrastructurels à mettre en œuvre pour assurer leur circulation y sont confrontés dans un second temps.

3.2. La construction d'un réseau par le flux

- 54 L'importance de la dynamique des flux pour la construction d'une infrastructure en réseau n'est bien entendu pas propre au cas de la récupération de chaleur. De telles tensions apparaissent en effet dans l'ensemble des services urbains fonctionnant sur le modèle dominant du grand réseau centralisé au fonctionnement linéaire, et mènent les opérateurs de ces services en particulier à développer des stratégies d'adaptation. Par exemple, lorsque la demande diminue et que les tuyaux deviennent surdimensionnés, le modèle complet de fonctionnement du réseau est remis en cause (Florentin, 2015). De même, lorsque les pics de consommation mènent à un surdimensionnement des infrastructures jugé trop important, des stratégies de gestion de la demande sont mises en œuvre (Guy et Marvin, 1996 ; Kelly et Marvin, 1995).
- 55 La logique du rapport au flux est toutefois différente. Dans le cas des réseaux classiques en fonctionnement linéaire, on réfléchit à investir dans la gestion des flux pour éviter des coûts d'infrastructure supplémentaires. Dans le cas de la valorisation de chaleur fatale, on réfléchit au contraire à investir dans des infrastructures en fonction des variations du flux.
- 56 En outre, dans ce dernier cas également, les tensions apparaissent tant du côté de la demande que de la production. On se rapproche ainsi davantage de la problématique de l'intermittence des énergies renouvelables et de ses conséquences sur la construction des réseaux (Raineau, 2011). Cependant, là encore, apparaît une particularité supplémentaire des énergies de récupération : si l'on ne considère leur potentialité qu'une fois implantée l'activité qui produit le flux, les marges de manœuvre sont largement réduites pour construire la topologie du réseau. De plus, les productions d'énergie auxquelles il est fait référence lorsqu'on parle d'intermittence prennent en général la forme d'électricité dont le transport a la particularité physique de provoquer moins de pertes que celui de la chaleur. Enfin, lorsqu'on s'inquiète de leur intermittence, c'est pour réfléchir à leur intégration dans un macro-système technique interconnecté au sein duquel elles ne représentent pour l'instant qu'une part très faible de la production (RTE *et al.*, 2014). Dans les cas que nous avons étudiés, c'est au contraire un réseau urbain dans son ensemble qui est affecté par la dynamique des flux.

- 57 En somme, nous défendons ici que la valorisation des énergies fatales change la logique qui sous-tend la construction et le développement d'un réseau. Dans le modèle conventionnel, on cherche à étendre l'infrastructure sur tout le territoire et on construit la production des flux d'énergie en conséquence (Coutard et Rutherford, 2009). Lorsqu'on cherche à valoriser un flux de chaleur fatale, on construit et on développe l'infrastructure en fonction du flux, de son évolution et de sa position dans l'espace.
- 58 En cela, nos conclusions rejoignent celles de travaux récents sur la renaissance du réseau d'eau non potable de Paris (Barles *et al.*, 2015). Ces derniers montrent en effet que, dans cette nouvelle forme de mise en réseau qui a pour objectif une utilisation de l'eau moins dispendieuse en ressources, les flux font l'objet de plus d'attention que l'infrastructure. L'analyse équivalente que nous faisons pour le cas de la chaleur incite à considérer plus largement cette évolution afin de comprendre en quelle mesure ce changement de logique s'étend à d'autres formes d'échanges entre les sociétés humaines et leur environnement.

Conclusion

- 59 La valorisation de la chaleur fatale au travers de réseaux de chaleur apparaît de manière grandissante comme un instrument de la lutte contre le changement climatique. Explorant les résultats de l'écologie industrielle et de l'approche sociotechnique des réseaux urbains, nous avons montré qu'un tel système n'entraîne pas dans les catégories construites jusqu'à présent par ces champs. Nous avons mis en évidence l'intérêt de les combiner, dans la lignée de travaux récents sur les réorganisations des systèmes urbains. Ainsi, si la valorisation de la chaleur fatale peut sembler renforcer la mise en réseau de la ville, allant à l'encontre des résultats récents de l'analyse des services urbains, l'écologie industrielle incite à faire l'hypothèse qu'elle modifie ce processus de mise en réseau.
- 60 L'analyse de deux cas emblématiques nous a permis de mener une mise à l'épreuve de cette hypothèse. Nous avons montré qu'un tel processus conduit à la production d'un réseau qui rompt avec l'approche classique des grands réseaux au fonctionnement linéaire, dans laquelle la diffusion de l'infrastructure prévaut sur les réflexions concernant la ressource. Ici, c'est bien le flux et son rapport à l'organisation de l'espace urbain qui viennent en premier lieu et influencent la décision de construire l'infrastructure, la forme que prend cette dernière et les évolutions qu'on projette.
- 61 Au-delà du seul cas de la valorisation de la chaleur fatale, il nous semble pertinent de mener une telle réflexion sur l'ensemble des énergies alternatives décentralisées comme il l'a été fait sur un exemple dans le domaine de l'eau déjà évoqué. En particulier, il existe autour de l'idée de *smart grid* un discours promouvant une hyperconnectivité qui devrait permettre des échanges de flux décentralisés et multidirectionnels, supposés mener à une plus grande efficacité du système énergétique. La question se pose alors de savoir dans quelle mesure le processus de construction de ces nouvelles mises en réseau est également dominé par la nature physique des flux d'énergie ou bien reste centré sur une logique d'extension de l'infrastructure.

BIBLIOGRAPHIE

Abitbol L., 2012, *Initier des coopérations interorganisationnelles dans les démarches d'écologie industrielle et territoriale : une relecture en termes de sociologie de la traduction et de la théorie des objets-frontière*, thèse de doctorat, gestion, université de Lyon 3, Lyon, 297 p.

ADEME, 2015, *La chaleur fatale industrielle*, rapport public, 39 p.

ADEME Île-de-France, 2015, *Étude des potentiels de production et de valorisation de chaleur fatale en Île-de-France*, rapport public, 20 p.

ADEME Nord-Pas-de-Calais, 2012, *Inventaire du gisement régional des énergies fatales perdues du Nord-Pas-de-Calais*, document de présentation public, 39 p.

Barles S., 2002, « Le métabolisme urbain et la question écologique », *Les Annales de la recherche urbaine*, n° 92, p. 143-150.

Barles S., 2010, « Écologies urbaine, industrielle et territoriale », in Coutard O., Levy J.-P. (dir.), *Écologies urbaines*, Paris, Economica Anthropos, p. 61-83.

Barles S., Coutard O., Guillaume A., 2015, « Beyond the networked city, the hyper networked city? », in Coutard O., Rutherford J. (dir.), *Beyond the Networked City*, Londres, Routledge, p. 47-64.

Beaurain C., Brulot S., 2011, « L'écologie industrielle comme processus de développement territorial : une lecture par la proximité », *Revue d'économie régionale & urbaine*, avril, n° 2, p. 313-340.

Beaurain C., Varlet D., 2014a, « Les modes de régulation des interactions au sein d'un réseau territorialisé d'entreprises dans le cadre de l'écologie industrielle. L'exemple de l'agglomération dunkerquoise », colloque de l'ASRDLF, 7-8-9 juillet 2014, Marne-la-Vallée, 25 p.

Beaurain C., Varlet D., 2014b, « Quelques pistes de réflexion pour une approche pragmatiste de l'écologie industrielle : l'exemple de l'agglomération dunkerquoise », *Développement Durable et Territoires*, vol. 5, n° 1, . <https://developpementdurable.revues.org/10111>.

Beaurain C., Varlet D., 2015, « Régulation des interactions au sein d'un réseau territorialisé d'entreprises dans le cadre de l'écologie industrielle », *Revue d'économie industrielle*, n° 152, p. 173-216.

Bocquet D., 2006, « Les réseaux d'infrastructures urbaines au miroir de l'histoire : acquis et perspectives », *Flux*, vol. 65, n° 3, p. 6-16.

Brulot S., 2009, *Mise en œuvre de projets territoriaux d'écologie industrielle en France : vers un outil méthodologique d'aide à la décision*, thèse de doctorat, université technologique de Troyes, Troyes, 427 p.

Brulot S., Maillefert M., Joubert J., 2014, « Stratégies d'acteurs et gouvernance des démarches d'écologie industrielle et territoriale », *Développement Durable et Territoires*, vol. 5, n° 1, <https://developpementdurable.revues.org/10082>.

Buclet N., 2011, *Écologie industrielle et territoriale : stratégies locales pour un développement durable*, Lille, Presses universitaires du Septentrion, 310 p.

- Cerceau J., Junqua G., Gonzalez C., Laforest V., Lopez-Ferber M., 2014, « Quel territoire pour quelle écologie industrielle ? Contribution à la définition du territoire en écologie industrielle », *Développement Durable et Territoires*, vol. 5, n° 1, <https://developpementdurable.revues.org/10179>.
- CETE de l'Ouest, 2010, Le réseau de chaleur de récupération industrielle de Dunkerque (59), <http://reseaux-chaleur.cerema.fr/le-reseau-de-chaleur-de-recuperation-industrielle-de-dunkerque-59>, consulté le 11/03/2016.
- Chertow M.-R., 2000, « Industrial symbiosis: literature and taxonomy », *Annual Review of Energy and the Environment*, vol. 25, n° 1, p. 313-337.
- Cohen-Rosenthal E., 2000, « A walk on the human side of industrial ecology », *American Behavioral Scientist*, vol. 44, n° 2, p. 245-264.
- Coutard O., 2008, « Placing splintering urbanism: introduction », *Geoforum*, vol. 39, n° 6, p. 1815-1820.
- Coutard O., 2010, « Services urbains : la fin des grands réseaux » in Coutard O., Lévy J.-P. (dir.), *Écologies urbaines*, Paris, Economica Anthropos, p. 102-129.
- Coutard O., Rutherford J., 2009, « Les réseaux transformés par leurs marges : développement et ambivalence des techniques "décentralisées" », *Flux*, vol. 76, n° 2, p. 6-13.
- Coutard O., Rutherford J., 2010, « Post-networked cities: recombining infrastructural, ecological and urban transitions », in Bulkeley H., Broto V.-C., Hodson M., Marvin S. (dir.), *Cities and Low Carbon Transitions*, London, Routledge, p. 107-125.
- Curien R., 2014, *Services essentiels en réseaux et fabrique urbaine en Chine : la quête d'une environnementalisation dans le cadre d'un développement accéléré. Enquêtes à Shanghai, Suzhou et Tianjin*, thèse de doctorat, aménagement de l'espace et urbanisme, université Paris-Est, Champs-sur-Marne, 452 p.
- Diemer A., Labrune S., 2007, « L'écologie industrielle : quand l'écosystème industriel devient un vecteur du développement durable », *Développement Durable et Territoires*, août, <https://developpementdurable.revues.org/4121>.
- Dupuy G., Tarr J.-A., 1988, *Technology and the Rise of the Networked City in Europe and America*, Philadelphia, Temple University Press, 339 p.
- Ehrenfeld J., 2004, « Industrial ecology: a new field or only a metaphor? », *Journal of Cleaner Production*, vol. 12, n° 8, p. 825-831.
- Erkman S., 2004, *Vers une écologie industrielle*, Paris, Éditions Charles Leopold Mayer, 258 p.
- Florentin D., 2015, *Shrinking networks ? Les modèles économiques et territoriaux des firmes d'infrastructure locales face à la diminution de la consommation*, thèse de doctorat, aménagement de l'espace et urbanisme, université Paris-Est, Champs-sur-Marne, 392 p.
- Guy S., Karvonen A., 2011, « Using sociotechnical methods: researching human-technological dynamics in the city », in Mason J., (dir.), *Understanding social research: thinking creatively about method*, Londres, Sage Publications, p. 120-133.
- Guy S., Marvin S., 1996, « Transforming urban infrastructure provision – The emerging logic of demand side management », *Policy Studies*, vol. 17, n° 2, p. 137-147.
- Hackett E.-J., Amsterdamska O., Lynch M., Wajcman J., 2008, *The Handbook of Science and Technology Studies*, The MIT Press, Cambridge, 1 065 p.
- Hodson M., Marvin S., 2010, « Can Cities Shape Socio-Technical Transitions and How Would We Know If They Were? » *Research Policy*, vol. 39, n° 4, p. 477-485.

- Hughes T., 1993, *Networks of Power: Electrification in Western Society, 1880-1930*, JHU Press, Baltimore & Londres, 474 p.
- Jacobsen N.-B., 2006, « Industrial symbiosis in Kalundborg, Denmark: a quantitative assessment of economic and environmental aspects », *Journal of Industrial Ecology*, vol. 10 n° 1-2, p. 239-255.
- Kelly A., Marvin S., 1995, « Demand-side management in the electricity sector: Implications for town planning in the UK », *Land Use Policy*, vol. 12, n° 3, p. 205-221.
- Le Bris C., Coutard O., 2009, « Les réseaux rattrapés par l'environnement ? Développement durable et transformations de l'organisation des services urbains », *Flux*, vol. 8, n° 74, p. 6-8.
- Lenhart J., van Vliet B., Mol A., 2015, « New roles for local authorities in a time of climate change: the Rotterdam Energy Approach and Planning as a case of urban symbiosis », *Journal of Cleaner Production*, corrected proof.
- Lorrain D., 2001, « Gig@ City: the rise of technological networks in daily life », *Journal of Urban Technology*, vol. 8, n° 3, p. 1-20.
- Lowe E.-A., 1997, « Creating by-product resource exchanges: strategies for eco-industrial parks », *Journal of Cleaner Production*, vol. 5, n° 1-2, p. 57-65.
- Maillefert M., 2014, « Les figures du territoire autour des synergies éco-industrielles. Comparaison entre mutualisation et substitution dans le cas dunkerquois », colloque de l'ASRDLF, 7-8-9 juillet 2014, Marne-la-Vallée, 15 p.
- Offner J.-M., Pumain D., 1996, *Réseaux et territoires - Significations croisées*, La Tour d'Aigues, Éditions de l'Aube, Territoire, 286 p.
- O'Rourke D., Connelly L., Koshland C.-P., 1996, « Industrial ecology: a critical review », *International Journal of Environment and Pollution*, vol. 6, n° 2-3, p. 89.
- Pandis Iveroth S., 2014, *Industrial ecology for sustainable urban development. The case of Hammarby Sjöstad*, thèse de doctorat, Sustainable Development, KTH, Stockholm, 75 p.
- Petit S., 2011, « Eau, assainissement, énergie, déchets : vers une ville sans réseaux ? », *Métropolitiques*, 14 décembre 2011.
- Raineau L., 2011, « Vers une transition énergétique ? », *Natures Sciences Sociétés*, vol. 19, n° 2, p. 133-143.
- Rocher L., 2013, « Le chauffage urbain dans la transition énergétique : des reconfigurations entre flux et réseau », *Flux*, vol. 2, n° 92, p. 23-35.
- RTE, SER, ERDF et l'ADEER, 2014, *Panorama de l'électricité renouvelable 2014*, 92 p.
- Rutherford J., Coutard O., 2015, *Beyond the Networked City. Infrastructure Reconfigurations and Urban Change in the North and South*, Londres, Routledge, 281 p.
- Sterr T., Ott T., 2004, « The industrial region as a promising unit for eco-industrial development – Reflections, practical experience and establishment of innovative instruments to support industrial ecology », *Journal of Cleaner Production*, vol. 12, n° 8-10, p. 947-965.
- Vernay A.-L., 2013, *Circular urban systems: moving towards systems integration*, thèse de doctorat, Industrial Ecology, Delft University of Technology, Delft, 394 p.

NOTES

1. Voir par exemple le site de l'Ademe Île-de-France EnR'Choix : www.enrchoix.idf.ademe.fr.
 2. Décret n° 2014-1363 du 14 novembre 2014 visant à transposer l'article 14.5 de la directive 2012/27/UE relatif au raccordement d'installations productrices d'énergie fatale à des réseaux de chaleur. Paru au *JORF* n° 0265 du 16 novembre 2014, p. 19307, texte n° 7.
 3. Le Fonds Chaleur contient pour la première fois en 2015 une section spécifique pour le financement de l'ensemble des équipements de récupération de chaleur fatale.
 4. On peut pour s'en convaincre se référer aux schémas explicatifs de la symbiose dans lesquels la collectivité, où le « réseau de chaleur » n'est pas distinguée des entreprises industrielles (Ehrenfeld, 2004 ; Diemer et Labrune, 2007).
 5. La notion de centralisation s'applique à plusieurs aspects de ces systèmes techniques : d'un côté, le faible nombre de points de production en comparaison au nombre de points de consommation et, de l'autre, la centralisation de la décision quant à la gestion, la régulation et la planification à une échelle locale ou plus large (Coutard, 2010).
 6. L'approche *end-of-pipe* consiste à considérer l'impact des activités humaines comme se « réduisant essentiellement à des problèmes de "pollution de l'environnement" » et à « traiter la pollution par le biais de divers dispositifs techniques intervenant en général en fin de processus » (Erkman, 2004, p. 15).
 7. Le terme bouclage fait référence à une action de récupération et non pas de création d'un cycle complet local.
 8. Ville de Dunkerque, fiche technique pour la pré-étude d'un réseau de chauffage urbain dans la région dunkerquoise, 1982.
 9. L'opérateur considère toutefois que le territoire n'est pas suffisamment maillé à ce jour (entretien auprès du responsable d'exploitation du réseau, 03/02/2015).
 10. Énergies renouvelables et de récupération.
 11. En effet, si la part d'ENR&R est supérieure à 50 % dans le mix énergétique approvisionnant un réseau de chaleur, la TVA sur la chaleur passe de 19,6 à 5,5 %.
 12. Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement.
-

RÉSUMÉS

La valorisation des énergies fatales est promue de manière croissante comme instrument de la transition énergétique. Cependant, lorsqu'un tel flux d'énergie est distribué par un réseau de chaleur, les garants du fonctionnement du réseau n'ont pas de contrôle direct sur la production du flux. Cet article s'intéresse aux conséquences de cette absence de contrôle sur la construction et l'exploitation du réseau au travers d'études de cas à Dunkerque et au Val d'Europe. Il montre que l'évolution temporelle du flux produit est placée au cœur de la logique d'évolution du réseau, et que l'infrastructure est construite en conséquence pour le distribuer, ce qui renverse la logique classique de construction des réseaux de service urbains.

The recovery of waste heat is increasingly promoted as an instrument for climate change mitigation and energy transition. However, when such a flow is distributed by a heat network,

the stakeholders in charge of the network operation do not have control over the flow production. This article aims at understanding the consequences of this lack of control on the construction and running of a network through the analysis of two French case studies in Dunkirk and the Val d'Europe. It shows that the temporal evolution of the heat flow and the projections that the actors make of it lead the decisions taken regarding the network. Hence, the produced flow is put at the center of the network evolution rational and the infrastructure is built accordingly to distribute it. In that sense, the process is inverted from the classic rational of the construction of urban networks.

INDEX

Mots-clés : chaleur fatale, récupération d'énergie, transition énergétique, réseau de chaleur, flux, métabolisme urbain, sociotechnique

Keywords : waste heat, energy recovery, energy transition, district heating, flow, urban metabolism, sociotechnical

AUTEUR

ZÉLIA HAMPIKIAN

Zélia Hampikian est ingénieure et urbaniste, est doctorante en aménagement au Laboratoire techniques, territoires et sociétés (LATTs). Elle s'intéresse aux formes de récupération et mutualisation d'énergie promues conjointement aux énergies alternatives. École des Ponts ParisTech, zelia.hampikian@enpc.fr