Abstract

The PhD Thesis studies the role that nuclear plants could play in decarbonizing the European and French heating sectors. These thermal plants could remain used in the long term due to their low carbon profile and ability to provide flexibility to the power grid. The most widely spread operation of nuclear plants however implies the rejection into the environment of the heat that cannot be converted to electricity. Transferring part of this heat to nearby industrial sinks or district heating systems would reduce fossil fuel consumption and greenhouse gases (GHG) emissions. If replacing imported fossil-fuels, it would also improve energy self-sufficiency, favouring long-term price stability.

Five Parts are composing the PhD Report. It starts with the Introduction (Part I) and ends with the Conclusions (Part V). Parts II, III and IV constitute the hearth of the Report. Part II evaluates the costs and benefits of diverse heat decarbonisation alternatives. Potentially cost-effective nuclear plant based heating systems are identified. At least seven out of the fifteen theoretical systems envisioned in Europe could prove to be overall good to the society. They represent a good compromise between the diverse socioeconomic criterions affecting decision-making processes, such as costs, greenhouse gases and air pollutant emissions, land use planning, energy self-sufficiency or price stability. The uncertainty is however important, especially regarding transportation and distribution costs. While the expected increase of carbon and fossil fuels prices would favour the development of low carbon heating systems, the economic and environmental balance remains to be evaluated on a case by case basis using advanced engineering softwares. Part II is decomposed into three Chapters:

1. Cost-Benefit Analysis of district heating (DH) using heat from nuclear plants in Europe;
2. Nuclear plant based DH systems are compared to other heat decarbonization options in Dunkirk;
3. Spatial analysis of feasible industrial symbiosis based on nuclear plant sourced steam in France.

Part III analyses multi-stakeholder interactions in real world projects. Challenges to concrete implementation are high, arising from social, political, institutional, financial and psychological dimensions. If nuclear plants are planned on a site that holds potential for cost-effective heat supply (e.g. Gravelines, Le Bugey, Loviisa, Oldbury), they should be built as 'cogeneration ready'. Cogeneration readiness can be delivered for a small incremental cost, and would ensure that the plants are ready for a complete cogeneration upgrade when the market, institutional and socio-political conditions are fulfilled. Alongside, the development of district heating networks and the co-location of diverse industrial factories within contiguous areas should be strongly supported through all channels, especially local ones. Part III is broken down into two Chapters:

4. Single case study of the Loviisa 3 project in Finland, offered by Fortum in 2009;
5. Multicriteria approach to help integrating viewpoints of various actors in a French urban area.

Part IV investigates the French case in details through prospective and multi-level perspective approaches. Nuclear plant based heating systems could be progressively implemented between 2020 and 2050 without jeopardizing the development of renewable heat and power sources or other excess heat sources. Towards 2050, cost-effective supply of heat from French nuclear plants to DH systems and industrial sinks could total 20-180 TW_{th}/a (10-60 TW_{th}/a and 10-120 TW_{th}/a, respectively) representing a reduction of 2-18% of the total French GHG emissions compare to 2014 levels (0.5-4% and 3.5-14%, respectively). Such systems are however barely mentioned in international and national energy scenario. While awareness, legitimacy and desirability can be stimulated by active and cross-boundary intermediation, external and unpredictable events also hold a significant role. A pre-requisite to an efficient intermediation is to acknowledge the fact that legitimacy is based not on the knowledge itself but on the working conditions surrounding knowledge creation. Part IV is split into two Chapters:

6. Prospective analysis in France towards 2050;
7. Open and active intermediation to enhance project experimentation in France.

Résumé

La thèse étudie le rôle que les centrales nucléaires pourraient jouer dans la décarbonisation des secteurs du chauffage en Europe et en France. Ces centrales thermiques pourraient être utilisées à long terme en raison de leurs faibles émissions de gaz à effet de serre (GES) et de leur capacité à fournir de la flexibilité au réseau électrique. L'exploitation la plus courante des centrales nucléaires implique cependant le rejet dans l'environnement de la chaleur qui ne peut être convertie en électricité. Le transfert d'une partie de cette chaleur aux puits industriels ou aux systèmes de chauffage urbain à proximité réduirait la consommation de combustibles fossiles et les émissions de GES. En remplaçant les combustibles fossiles importés, cela permettrait également d'améliorer l'indépendance énergétique, favorisant ainsi la stabilité des prix à long terme.

Cinq parties composent le rapport de doctorat. Il commence avec l'introduction (partie I) et se termine par la conclusion (partie V). Les parties II, III et IV constituent le cœur du rapport. La partie II évalue les coûts et les avantages des diverses solutions de chauffage faiblement émettrices de GES. Des systèmes utilisant principalement de la chaleur générée par une centrale nucléaire sont identifiés comme potentiellement compétitifs. Au moins sept des quinze projets théoriques envisagés en Europe pourraient s'avérer globalement bons pour la société. Ils représentent un bon compromis entre les divers critères socioéconomiques qui influent sur les processus décisionnels, tels que le coût, les émissions de GES et de polluants atmosphériques, l'aménagement du territoire, l'autosuffisance énergétique ou la stabilité des prix. L'incertitude est cependant importante, notamment en ce qui concerne les coûts de transport et de distribution. Si l'augmentation attendue des prix du carbone et des combustibles fossiles favoriserait le développement de systèmes de chauffage à faible émission de carbone, l'équilibre économique et environnemental reste à évaluer au cas par cas en utilisant des logiciels d'ingénierie avancés. La partie II est décomposée en trois chapitres:

1. Analyse coûts-avantages du chauffage urbain utilisant la chaleur des centrales nucléaires en Europe;
2. Un système de chauffage urbain basé sur une centrale nucléaire est comparé à d'autres options de décarbonisation thermique dans la zone urbaine de Dunkerque ;
3. Analyse spatiale pour la France des possibles symbioses industrielles utilisant la vapeur d'origine nucléaire.

La partie III analyse les interactions multipartites dans des projets concrets. Les défis à la mise en œuvre concrète sont élevés, découlant des dimensions sociales, politiques, institutionnelles, financières et psychologiques. Si les centrales nucléaires sont prévues sur un site présentant un potentiel économique d'approvisionnement en chaleur (par exemple, Gravelines, Le Bugey, Loviisa, Oldbury), elles devraient être construites «prêtes à la cogénération ». Cela peut être réalisé pour un faible coût supplémentaire et garantirait que les centrales soient prêtes pour une transformation complète en mode cogénération si les conditions de marché, institutionnelles et sociopolitiques se remplissent ultérieurement. Parallèlement, le développement des réseaux de chauffage urbain et la co-implantation de diverses usines dans des zones contingentes devraient être fortement soutenus par tous les canaux, en particulier locaux. La partie III est divisée en deux chapitres:

4. Étude de cas du projet Loviisa 3 en Finlande, proposé par Fortum en 2009 ;
5. Approche multicritère pour aider à intégrer les points de vue de divers acteurs dans une zone urbaine française.

La partie IV examine le cas français en détail par des approches prospectives à plusieurs niveaux. Les systèmes de chauffage à base de centrales nucléaires pourraient être mis en œuvre progressivement entre 2020 et 2050 sans compromettre le développement de sources de chaleur et d'électricité renouvelables, ou d'autres sources de chaleur excédentaires. Vers 2050, l'offre de chaleur des centrales nucléaires françaises aux systèmes de chauffage urbain et aux éco-parcs industriels

pourrait atteindre 20-180 $\mathrm{TWh_{th}/a}$ (10-60 $\mathrm{TWh_{th}/a}$ et 10-120 $\mathrm{TWh_{th}/a}$, respectivement), soit une réduction de 2-18% des émissions françaises totales de GES par rapport aux niveaux de 2014 (0,5-4% et 3,5-14%, respectivement). De tels systèmes sont cependant à peine mentionnés dans les scénarios énergétiques internationaux et nationaux. Si la sensibilisation, la légitimité et la désirabilité peuvent être stimulées par une intermédiation active et transfrontalière, des événements externes et imprévisibles jouent également un rôle important. Une condition préalable à une intermédiation efficace est de reconnaître le fait que la légitimité ne repose pas sur la connaissance elle-même mais sur les conditions de travail entourant la création du savoir. La partie IV est divisée en deux chapitres:

6. Analyse prospective en France vers 2050 ;
7. Intermédiation ouverte et active pour encourager l'expérimentation de projets en France.