

1. Introduction

Nous connaissons tous les avantages du nucléaire dans la production de l'énergie propre sans gaz à effet de serre. Sauf que ce dernier n'est pas si efficace, dans le sens où 70% de l'énergie est perdue et nous n'arrivons à exploiter que 30% en France.

Exploiter une partie des 70% de la chaleur perdue est une bonne solution pour plus d'efficacité en utilisant une technique qui s'appelle la cogénération. Elle consiste à utiliser l'eau chaude déjà utilisée afin de refroidir les réacteurs pour chauffer des maisons, ou à des fins industrielles.

Dans 450 réacteurs dans le monde, 74 sont en cogénération, ils se trouvent principalement dans l'Europe de l'Est. Le directeur délégué d'EDF a affirmé que la cogénération n'est pas rentable sur le point économique et complexe techniquement, un argument balayé par le CEA.

Le problème qui se pose en France est comment pouvons nous faire pour transporter la chaleur sur plusieurs kilomètres, tout en minimisant les pertes thermiques ?

2. Place de la chaleur dans l'énergie

Energie primaire en France par utilisation (2016)

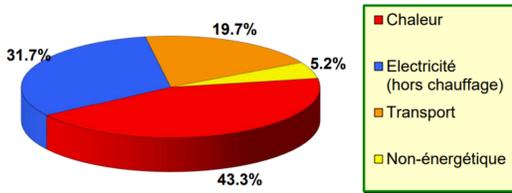
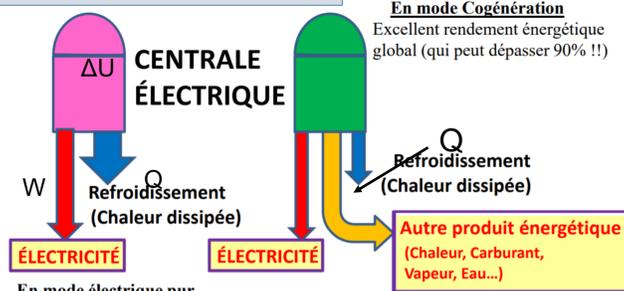


Figure1: source: [5]

La figure montre que la grande partie d'énergie primaire utilisée en France sert à la production de la chaleur avec 43,3%. La France a la particularité d'utiliser plus l'électricité pour produire de la chaleur que la moyenne mondiale. A l'inverse, les réseaux de chaleur sont nettement moins développés que dans certains autres pays, notamment ceux du nord et de l'est de l'Europe. D'où l'importance de l'utilisation de la cogénération et du développement du réseau de chaleur français.

3. Principe de la cogénération

Figure2: principe de fonctionnement de la cogénération. Source: [5]



En mode électrique pur
Rendement de 34% (Nucléaire) à 56%

Aucune modification du circuit primaire du réacteur n'est nécessaire. Les seules modifications concerneraient le circuit secondaire situé dans la partie non nucléaire des installations. Le gisement d'énergie potentiellement récupérable dépasse la totalité de l'ensemble des besoins en France dans le résidentiel-tertiaire (500 TWh).

L'idée de la cogénération est de modifier le cycle de fonctionnement d'une installation thermodynamique afin que la chaleur libérée à la source froide ait un intérêt économique.

Premier principe de la thermodynamique:
 $\Delta U = W + Q$
 ΔU : énergie interne, W : travail, Q : quantité de chaleur

Le rendement global η de l'installation est le rapport entre la somme énergie électrique W + chaleur récupérée Q , et la quantité de chaleur totale produite à la source chaude de l'installation Q_t :

$$\eta = \frac{W+Q}{\Delta U}$$

Installations à température relativement basse entre 120 et 130: avec une température de 120 degrés à l'aller et 30 degrés au retour.

4. Transport de chaleur et isolation

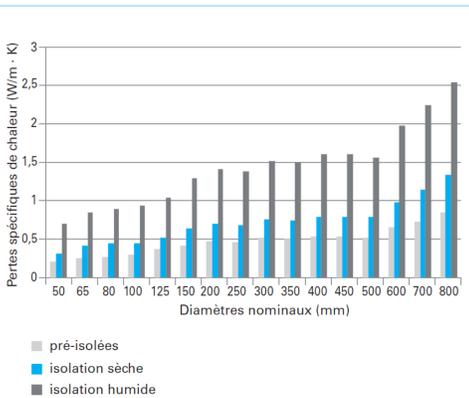
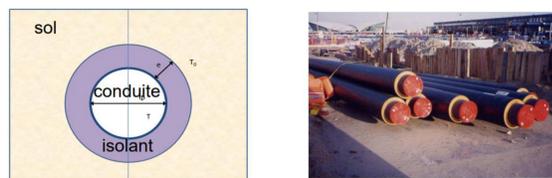


Figure3: Comparaison de point de vue des pertes de chaleur spécifiques entre les tuyauteries pré-isolées et les tuyauteries classiques avec isolation (humides et sèches). Source: [3]

Les tuyaux pré-isolés sont beaucoup plus efficaces que les autres.

Les principaux calorifuges utilisés :
laine de verre= 0,04 à 0,042 w/m.K
Laine de roche= 0,05 à 0,06 w/m.K
Mousse de polyuréthane = 0,022 à 0,024 W/(m.K)



- Diamètre Φ
 - Epaisseur de l'isolant e
 - Conductivité thermique de l'isolant $\lambda < 0.04$ W/m.K
- $$\left(\frac{dQ}{dz}\right) = \frac{2\pi\lambda}{\ln\left(1 + \frac{2e}{\Phi}\right)} (T - T_0) < 120$$
- W/m

Pertes thermiques totales ~ 2% de la puissance transportée sur 100 km !

Figure4: Schéma d'isolation des conduites ainsi que l'équation de transfert thermique par convection dans un cylindre. Source: [5]

Comparaison entre diverses variantes de réalisation d'un réseau thermique			
Solution de réseau	pertes de relatives investissements relatifs dans de chaleur (%)	le réseau thermique (%)	
2 tuyaux simples	100	100	
1 tuyau double symétrique (circulaire)	65 à 70	90 à 92	
1 tuyau double asymétrique	60 à 65	85 à 90	

Figure5: Source: [3]

La disposition des tuyauteries change beaucoup les pertes thermiques.

Diamètre : 120 cm
Epaisseur d'isolant 20 cm

Source de chaleur en France:
44% gaz
33% électrique
13% pétrole

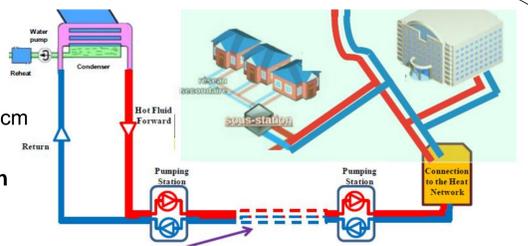


Figure6: schéma de réseau de chaleur. Source: [5]

5. Coûts d'investissement

MHT line Economics		
Maximum Transported Power	3 014	MW
Length line	120	km
Total Investment Cost	2 120	M€
Discount Rate	8%	
Amortization period	30	years
Heat sold	9	TWh/y
Total Operating Cost	34	M€/y
Cost of Heat Transport	25	€/MWh
Benefits	408	M€/y
Return on Investment	5	years

First rough evaluation for a 120 km long MHT Line

Figure7: tableau du coût d'investissement ainsi que l'amortissement pour le cas de l'alimentation de la ville de Paris. Source: [6]

Avantages:

- Limiter l'utilisation de combustibles par une augmentation du rendement global de l'installation.
- Moins de gaz à effet de serre.
- Projet économiquement viable.

Inconvénients:

- Investissement assez important pour les installations du réseau de chaleur.
- Saisonnalité de l'installation à cause des besoins de chaleur importants surtout en hiver.

6. Conclusion

La cogénération est un projet assez tenable sur le plan technique mais aussi sur le plan économique. Il permettra d'augmenter l'efficacité énergétique de 33% à 57%. Le problème principal était le transport de chaleur, même si la Russie parvient très bien à le faire en transportant de la chaleur à plus de 60km, comparée à Bugey(Lyon) 30km ou encore Gravelines (Dunkerque). Les isolants actuels nous permettent de transporter la chaleur avec de faibles pertes à l'ordre de quelques % seulement. Et pour finir cela va permettre de réduire de manière considérable l'émission de gaz à effet de serre.

Bibliographie

- [1] Article « Application de l'Energie nucléaire: chauffage domestique et production industrielle », bulletin de l'AIEA 2/1997
- [2] Cours en ligne et simulateur de thermodynamique appliquée. URL <https://diren.s.mines-paristech.fr/Sites/Thopt/fr/co/centrales-nucleaires-eau.html>
- [3] LÉVY, C., 1996. Les techniques de cogénération. Ref: TIP202WEB - "Ressources énergétiques et stockage." URL <https://www-techniques-ingenieur-fr.federation.unimes.fr:8443/base-documentaire/energies-th4/conversion-et-transport-d-energie-42206210/les-techniques-de-cogeneration-b8910/>
- [4] Rămă, M., Leurent, M., Devezeaux de Lavergne, J.-G., 2020. Flexible nuclear co-generation plant combined with district heating and a large-scale heat storage. Energy 193, 116728. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116728>
- [5] Safa, H., n.d. LOW-TEMPERATURE HEAT APPLICATIONS OF NUCLEAR ENERGY IMPACT ON CLIMATE CHANGE 59.
- [6] Safa, H., 2013. Economics of District Heating using Light Water Reactors 21.