

# Valorisation de la chaleur fatale par la planification énergétique d'acteurs locaux en synergie

Alexandre Leclercq, Gilles Hétreux, Raphaële Théry, Pascal Floquet

Université de Toulouse, Laboratoire de Génie Chimique (LGC), F-31030 Toulouse, France  
{alexandre.leclercq,gilles.hetreux,raphaele.thery,pascal.floquet}@ensiacet.fr

**Mots-clés :** *Planification énergétique, programmation non-linéaire mixte, chaleur fatale, réseau de chaleur urbain*

## Introduction

Lors du fonctionnement d'une unité industrielle de production ou de transformation, l'énergie thermique générée par combustion de sources fossiles (gaz, fioul, charbon, etc.) ou non (bois, biomasse, etc.) est rarement utilisée en totalité. En raison de son caractère inéluctable, la part de la chaleur résiduelle est appelée *chaleur fatale* [1]. Disponible le plus souvent à des températures trop basses pour une utilisation industrielle directe, la valorisation de ces flux demeure délicate, même si les gisements sont très importants : en France, près de 50 TWh de chaleur à plus de 100°C sont potentiellement disponibles. Difficilement transportables, les modes de valorisation de ces flux les plus souvent envisagées sont aujourd'hui ([2], [3]) d'une part, leur conversion sous forme électrique via l'utilisation de turbines à gaz (TAG) et d'autre part, la mise en synergie du site *source de chaleur fatale* avec un éco-parc industriel ou avec un site urbain par l'intermédiaire d'un réseau de chaleur (chauffage, eau chaude industrielle ou sanitaire, etc.). La généralisation de cette seconde voie, qui donne naissance à une forme de *chaînes logistiques de la chaleur fatale*, se heurte pour l'heure à deux verrous majeurs : d'une part, la *conception* de la chaîne de valorisation, c'est-à-dire la définition des différents sous-systèmes depuis la source de chaleur fatale jusqu'à son utilisateur final (récupération, stockage, conversion, transport, etc.) et d'autre part, la *gestion* de ce système qui est confronté à la fois à l'intermittence de la disponibilité de la source et à la variabilité de la demande et doit considérer les contraintes techniques, économiques et environnementales de chaque sous-système (voir figure 1). C'est précisément ce dernier aspect qui fait l'objet de cette communication.

## Système de planification d'une chaîne de valorisation de chaleur fatale

Le système de gestion de la chaîne de valorisation de la chaleur fatale s'appuie un modèle générique de planification formulé sous forme d'un *Programme Non Linéaire Mixte* (PNLM) à temps discret. Les opérations de production étant toutes de nature continue, leur durée élémentaire est égale à une période et leur débit (quantité/période) doit être déterminé pour chaque période via des bilans de conservation. En outre, les phénomènes thermiques étant régis par les lois de la thermodynamique, il est aussi nécessaire de déterminer la température des différents flux au cours du temps. Ceci impose l'introduction de bilans enthalpiques dont la formulation induit une forme bilinéaire (produit entre les variables de débit et d'enthalpie) et rend le modèle non linéaire. Par ailleurs, la présence d'échangeurs de chaleur et de stockages dans le système ajoute des contraintes non-linéaires supplémentaires, incluant notamment des moyennes logarithmiques.

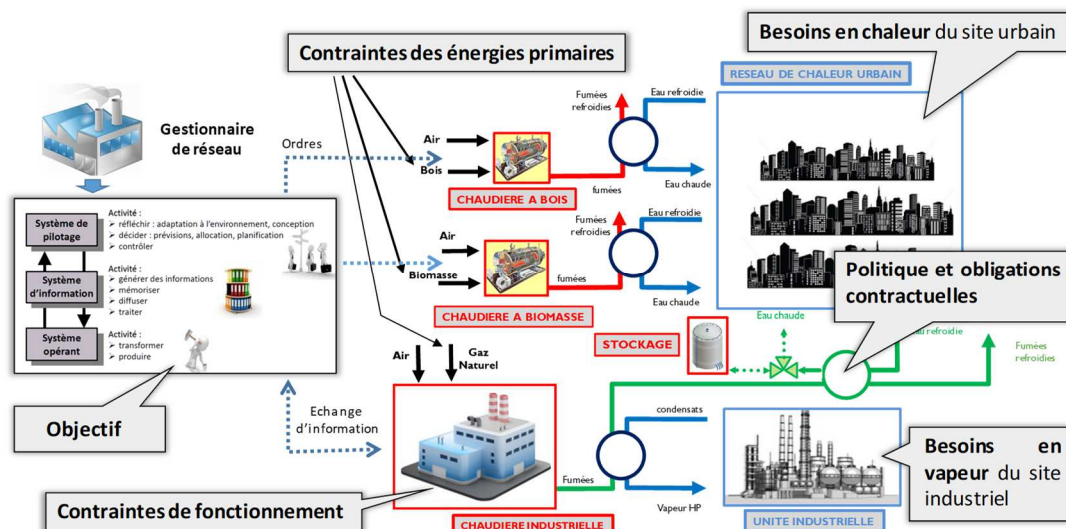


FIG 1 – Exemple de chaîne de valorisation de chaleur fatale rejetée par une chaudière industrielle

Afin d'instancier directement une partie du modèle d'optimisation (voir figure 2), la topologie de la chaîne de valorisation, les caractéristiques des opérations et les flux transitant dans le système sont représentés au moyen du formalisme *Energy Extended Resource Task Network* (EERTN), extension du formalisme *Extended Resource Task Network* (ERTN) [4] dans lequel a été introduit des éléments sémantiques rendant compte de la présence de bilans enthalpiques.

Appliqué sur le système représenté sur la figure 1, ce modèle permet d'obtenir la planification du système complet conduisant à la valorisation de la chaleur fatale précédemment rejetée et à une réduction significative de la consommation de combustible primaire. Différentes topologies de la chaîne de valorisation (notamment, échange direct / stockage) et différents scénarii (profils de besoins en vapeur ou en eau chaude sanitaire) ont été étudiés.

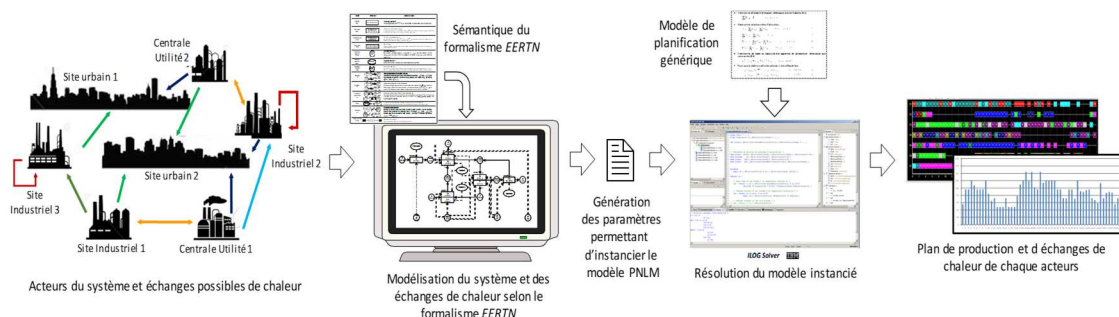


FIG 2 - Principes de modélisation/résolution de l'outil de planification de la chaleur fatale

## Références

- [1] ADEME. La Chaleur fatale industrielle, 2015
- [2] Nowicki, C., Gosselin, L., *An Overview of Opportunities for Waste Heat Recovery and Thermal Integration in the Primary Aluminum Industry*. JOM 64, 990–996, 2012.
- [3] Wahlroos, M., Pärssinen, M., Rinne, S., Syri, S., Manner, J., *Future views on waste heat utilization – Case of data centers in Northern Europe*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 82, 1749–1764, 2018.
- [4] Théry R., Hétreux G., Agha M., 2012, *The extended resource task network : a framework for the combined scheduling of batch processes and CHP Plants*, International Journal Of Production Research, Vol. 50, Issue 3, pp. 623-646