

# Recov'Heat : Outil d'estimation du potentiel de sources de chaleur fatale en milieu urbain

Samuel CHICHE<sup>1,3,4</sup>, Alain GOUMBA<sup>1,2</sup>, Patricia BONNEAU<sup>1,5</sup>, Xiaofeng GUO<sup>1,2\*</sup>, Morgane COLOMBERT<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> EFFICACITY, 14-20 boulevard Newton, 77447 Marne la Vallée Cedex 2

<sup>2</sup> ESYCOM, ESIEE Paris, Université Paris-Est, 2 Bd Blaise Pascal - 93162 Noisy-le-Grand

<sup>3</sup> Université Paris-Est, Lab'Urba, EA 3482, EIVP, 80 rue de Rébeval, 75019 Paris

<sup>4</sup> ENGIE Réseaux (groupe ENGIE), 80, Av du Général de Gaulle 92031 Paris La Défense Cedex

<sup>5</sup> EDF (EDF Lab. Les Renardières), Av. des Renardières, Écuellen, 77 250 Moret sur Loing

\* (auteurs correspondants : [xiaofeng.guo@esiee.fr](mailto:xiaofeng.guo@esiee.fr), [morgane.colombert@eivp-paris.fr](mailto:morgane.colombert@eivp-paris.fr))

**Résumé** La récupération de chaleur fatale est considérée comme un des leviers pour améliorer l'efficacité énergétique en milieu urbain. Il s'agit de sources décentralisées, qui, selon leur localisation, le potentiel d'énergie récupérable et leur niveau de température peuvent être réutilisées pour des besoins en chauffage et en eau chaude sanitaire (ECS). C'est ainsi que l'outil Recov'Heat a été développé dans l'objectif d'avoir une première estimation des capacités de valorisation de la chaleur fatale, contenue, rejetée ou produite par les eaux usées, les datacenters, les UIOM ou encore les verreries et les blanchisseries industrielles. Quelques cas de validation de la méthode de calcul sont présentés.

## 1. Introduction

En France et particulièrement en milieu urbain, la consommation d'énergie thermique représente 52% de la consommation totale selon le CEREMA [1]. Dans un contexte de transition énergétique, des solutions émergent et les objectifs nationaux et européens [2] tendent à multiplier la part de la chaleur renouvelable et de récupération (EnR&R). L'énergie fatale (appelée aussi énergie de récupération) est l'un des sujets étudiés par les collectivités et les professionnels de l'énergie, notamment en milieu urbain. Cette solution est associée à la mise en place de réseaux de chaleur plus verts. Dans ce cadre, un état de l'art a été réalisé sur certaines sources de chaleur fatale, conduisant à la création de Recov'Heat, un outil d'estimation du potentiel de chaleur fatale au regard des besoins d'un quartier. Des algorithmes simplifiés ont été développés en utilisant un minimum de données d'entrée sur les sources fatales. Les résultats sur la quantité d'énergie récupérable, à des pas mensuels, ont été testés et comparés avec des cas réels.

## 2. Les sources de chaleur fatale : présentation et classification

L'énergie fatale, principalement sous forme de chaleur, est l'énergie rejetée pendant ou à la fin d'un procédé énergétique. Elle est dégagée par un processus dont la production de chaleur n'est pas l'objectif initial. La récupération d'énergie fatale n'est avantageuse que si elle est produite en adéquation aux besoins (quantité, température...), chaque source ayant ses caractéristiques propres.

### 2.1. Sources de chaleur

De nombreuses sources de chaleur fatale existent en milieu urbain. Nous nous intéressons dans ces travaux aux eaux usées, datacenter, usines d'incinération d'ordures ménagères (UIOM), blanchisseries industrielles et verreries.

#### 2.1.1. Chaleur fatale dans les eaux usées

Cette source comprend à la fois les eaux usées domestiques (eaux ménagères et eaux vannes), les eaux pluviales et autres eaux usées (avec autorisation préalable). Les réseaux d'assainissement dirigent les eaux usées vers des stations d'épuration où elles sont traitées. En

France, plus de 300 000 km de ces réseaux sont répartis sur le territoire. La récupération de chaleur sur ces effluents, déjà partiellement développée dans de nombreux pays et à plusieurs échelles [3], se caractérise par deux paramètres principaux : la température et le débit. La température varie selon le climat et la saison. En France, elle est entre 10°C et 30°C en fonction de la localisation et de la saison. Il s'agit donc d'une source basse température qui nécessitera un dispositif tel qu'une pompe à chaleur pour relever le niveau de température. Le débit varie surtout en fonction du nombre équivalents d'habitants (E.H.) raccordés à chaque portion du réseau d'assainissement. Dans les zones à forte densité, le débit sera plus important et la récupération de chaleur sur ces portions sera alors plus intéressante. La récupération peut également se faire en aval de la station d'épuration après traitement.

### **2.1.2. Chaleur issue de datacenter**

Cette source est issue de la chaleur des ordinateurs, des serveurs, des baies de stockage, et des équipements de réseaux et de télécommunications. Ces différentes technologies de l'information et des données sont regroupées sur un site appelé datacenter hébergé dans un bâtiment ou une partie de bâtiment. En plus de la quantité importante d'électricité pour alimenter les équipements informatiques, le refroidissement de l'environnement, pour un conditionnement en température conforme, consomme de l'énergie. En retour, les serveurs dégagent naturellement la quasi-totalité de leur alimentation électrique en chaleur. La capacité de production de 30 centrales nucléaires représente la puissance électrique des datacenter dans le monde où la consommation électrique représente 2% de la consommation d'électricité mondiale [4]. Les équipements informatiques fonctionnent généralement jusqu'à 27°C et doivent être refroidis au-delà [5]. La chaleur issue des datacenter est principalement issue de groupes froids et est donc basse température.

### **2.1.3. Source UIOM**

La récupération d'énergie lors du processus d'incinération de déchets est déjà largement développée, en France notamment, où plus de 11 TWh d'énergie (thermique et électrique) sont produits dans ces usines, autoconsommés ou redistribués dans des réseaux de chaleur ou d'électricité [6]. Toutefois, certaines usines ne possèdent pas un système optimal de valorisation énergétique. Actuellement rejetée, la chaleur présente dans les résidus d'incinération et dans les fumées peut être récupérée.

### **2.1.4. Sources industrielles (verreries, blanchisseries industrielles)**

En Europe, l'industrie du verre est omniprésente. La production moyenne d'une verrerie avec des fours, est d'environ 700 tonnes de verre par jour (de plusieurs types). Initialement implantées à l'écart des villes, la forte croissance du tissu urbain plonge bon nombre d'entre elles en zone urbaine, voire en pleine ville (Le Havre, Baccarat, ...). La fabrication de verre nécessite une forte consommation d'énergie pour provoquer la fusion et pour le reste des procédés. 100% de l'énergie maintenant la température du four à environ 1500°C, est finalement dissipée. Elle est potentiellement récupérable, depuis l'eau de refroidissement ou l'air.

Les blanchisseries industrielles, publiques et privées, traitent plusieurs tonnes de linge par jour. La spécificité de cette source est sa variation saisonnière et quotidienne, le flux de linge à laver étant dépendant du secteur d'activité (hôpitaux, maisons de retraites, restaurants, hôtels). Les équipements de lavage, séchage et repassage utilisent principalement l'eau. Les besoins d'eau sont de l'ordre de 8 L/kg<sub>linge</sub> et en énergie de 3 kWh<sub>ef</sub>/kg<sub>linge</sub>. Une partie de cette énergie est perdue puisque rejetée sous forme d'eau chaude avec une température de l'ordre de 25°C issue majoritairement des tunnels de lavage. Il est à souligner que certaines blanchisseries doivent refroidir l'eau rejetée supérieure à 30°C puisque la réglementation interdit le rejet direct de l'eau chaude dans les égouts.

## 2.2. Caractéristiques et classification des différentes sources

Pour les besoins de chauffage et d'ECS, un seuil minimum de température est recommandé. La production d'énergie est généralement répartie en trois gammes de température : basse, moyenne et haute. La basse température ne peut correspondre qu'aux besoins de chauffage des bâtiments récents ou équipés d'émetteurs adaptés. La moyenne température couvrirait les besoins d'ECS et de chauffage ; ainsi que la haute température qui pourrait couvrir la plupart des besoins en chaleur et éventuellement alimenter un réseau de chaleur. Le Tableau 1 présente les caractéristiques de récupération de chaque source.

Sources	Eaux usées	Datacenter	Blanchisseries	UIOM	Verreries
Etat	Liquide	air	Liquide	Vapeur	Vapeur
Fluctuations	Saisonnière	Faible	Faible	Saisonnière	Faible
Système de récupération	PAC	Echangeur	PAC	Echangeur	Echangeur
Températures de récupération	10°C - 25°C	20°C - 27°C	15°C - 30°C	90°C - 180°C	90°C - 140°C

Tableau 1 : *Caractéristiques de récupération des sources de chaleur*

La récupération de chaleur sur ces différentes sources ne peut se faire avec les mêmes équipements car leur état physique n'est pas identique. De plus, la température étant l'un des paramètres indispensables pour une éventuelle réponse aux besoins, la dernière ligne du Tableau 1 nous montre que l'état des sources impose la satisfaction des besoins d'une catégorie d'usage uniquement.

## 3. Valorisation de la chaleur fatale

La valorisation de la chaleur fatale concerne toute la chaîne allant de la source à la production. Dans l'objectif d'optimiser le système, il est donc nécessaire d'aborder également les équipements de récupération.

### 3.1. Les équipements de récupération

Les besoins les plus répandus sont ceux du chauffage et de l'eau chaude sanitaire (ECS). Le premier nécessite un niveau de température d'au moins 40°C et le second autour de 60°C (RT2012). Pour atteindre ces niveaux de température, les sources de chaleur fatale basse température doivent être couplées avec un système supplémentaire permettant d'augmenter la température, en l'occurrence une pompe à chaleur. Pour les sources de haute température, un échangeur de chaleur est utilisé afin de récupérer directement cette énergie.

### 3.2. Réseau de chaleur urbain

Un réseau de chaleur fonctionne comme un chauffage central à l'échelle d'une ville ou d'un quartier. La chaleur est produite sur un ou plusieurs centres de production ; elle est ensuite transportée sous forme d'eau ou de vapeur via des canalisations souterraines jusqu'aux bâtiments raccordés, qui sont ainsi alimentés en chauffage et en ECS. L'eau dépourvue de ses calories repart vers les sites de production qui assurent son réchauffement. Chaque bâtiment est équipé d'une sous-station qui récupère directement la chaleur sous forme d'eau chaude grâce à un ou plusieurs échangeur(s) de chaleur et la transfère au réseau collectif de l'immeuble. Les réseaux présentent plusieurs avantages tels que la sécurité et la fiabilité d'approvisionnement [7] mais constituent surtout un instrument essentiel aux mains des collectivités pour contribuer à la transition énergétique [8,9]. Les énergies fatales, intégrables dans ces chauffages urbains, ont un rôle clé dans ce contexte énergétique [9,10], notamment pour atteindre un mix de 50% d'EnR&R dans les réseaux de chaleur.

## 4. Outil Recov'Heat

Recov'Heat a été développé dans l'objectif d'avoir une première estimation des capacités de valorisation de la chaleur fatale. Il fournit mensuellement le potentiel de chaleur recélé par une source, et le met en regard des besoins thermiques d'un quartier – défini par l'utilisateur.

### 4.1. Présentation du modèle

Le modèle Recov'Heat dispose d'une interface utilisateur qui propose de renseigner le minimum de données sur la source choisie parmi celles étudiées. Le Tableau 2 présente les entrées demandées pour chaque source.

Sources	Entrées
Eaux-usées	Nombre d'habitants connectés au collecteur ou à la STEP
Datacenter	Taille, type de bâtiment et Tier (densité énergétique)
Blanchisseries industrielles	Quantité de linge traité/jour et Nombre de jours d'activité/mois
Verreries	Type de verre produit et Quantité de verre produit/an
UIOM	Quantité de déchets incinérés/an

Tableau 2 : Données d'entrée en fonction de chaque source

Par exemple, pour la chaleur récupérable dans une portion de réseau d'assainissement d'eaux usées, le nombre d'habitants raccordés à la portion suffira à obtenir une estimation du débit d'eau et ensuite de la chaleur récupérable. Le modèle calcule, en plusieurs étapes un bilan énergétique mensuel et annuel. L'outil Recov'Heat propose de comparer le résultat des estimations avec la consommation énergétique d'un quartier. L'utilisateur choisit la taille et les types de bâtiments du quartier afin de dimensionner une zone où la chaleur fatale pourrait être utilisée. Recov'Heat estime le potentiel de chaleur fatale récupérable des sources étudiées et à quelles conditions la récupération de cette énergie est pertinente.

### 4.2. Méthodologie

La Figure 1 présente le logigramme utilisé pour développer l'outil. Les données initiales viennent d'un état de l'art de chaque source [8]. A cela, l'utilisateur rajoute les éléments du Tableau 2.

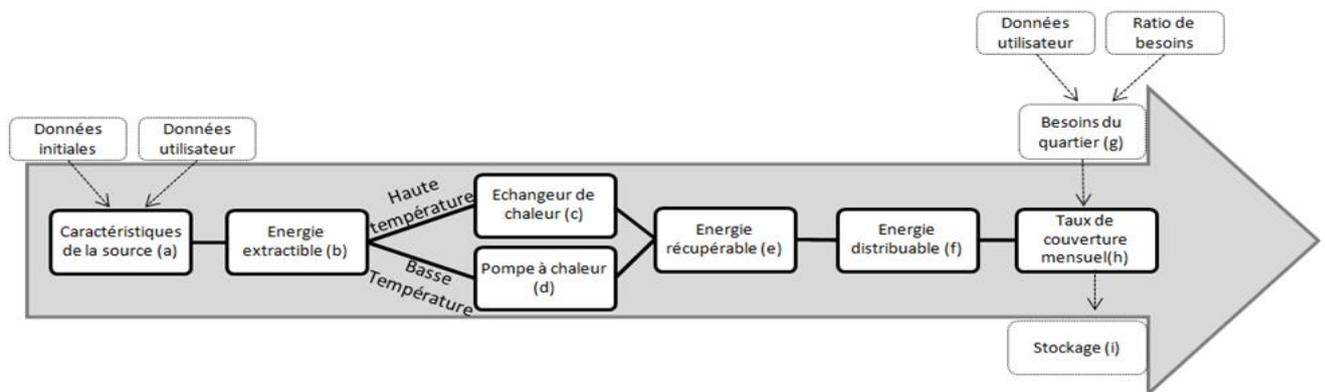


Figure 1 : Algorithme de calcul de Recov'Heat

La première étape (a) permet d'avoir les caractéristiques de la source choisie. L'énergie extractible (b), exprimée en MWh, correspond au maximum d'énergie mensuelle dissipée dans chacune des sources. Il s'agit d'un potentiel physique théorique, premier palier d'estimation d'une source fatale selon Brueckner et al. [9]. Les méthodes de calcul sont différentes pour chaque source et impliquent les pouvoirs calorifiques des éléments concernés ou les dépenses d'énergie d'un processus. Selon qu'il s'agisse d'une source haute ou moyenne/basse température, leur valorisation utilise différentes technologies (c et d). L'énergie récupérable (e) correspond à l'énergie restante après valorisation par une de ces

technologies. L'énergie distribuable ( $f$ ) est la soustraction des pertes de distributions à l'énergie récupérable. Ces pertes sont calculées à partir de la distance entre la source et le quartier alimenté, cette donnée étant ajoutée par l'utilisateur. Des ratios de pertes d'énergie par mètre linéaire de canalisation sont utilisés, et varient en fonction de la source de chaleur fatale étudiée (haute ou moyenne et basse températures).

Une fois obtenue, cette quantité d'énergie distribuable issue d'une source fatale de chaleur est comparée aux besoins énergétiques d'un quartier renseigné par l'utilisateur. Les besoins de chaleur pour le chauffage et l'ECS sont calculés pour une année, et à pas mensuels, en multipliant des besoins unitaires par secteur d'activité (logements, bureaux, commerces, écoles...) en Wh/m<sup>2</sup>/mois par les surfaces dédiées à ces secteurs d'activité saisies par l'utilisateur ( $g$ ). Le lien entre la surface et le nombre de logements est fait sur la base de 70 m<sup>2</sup> par logement. A partir du nombre de logements, il est possible de remonter au nombre de d'habitants, soit trois personnes par logement. Dans la première version de Recov'Heat, on considère que tous les bâtiments sont neufs (standards RT2012).

Comparer l'estimation de la quantité d'énergie récupérable sur une source fatale avec les besoins d'un quartier permet de se rendre compte de l'éventuelle pertinence de valoriser cette source. Cependant, le pas temporel mensuel utilisé dans ce simulateur n'est pas assez fin pour affirmer que l'énergie récupérable et les besoins sont concordants. La quantité de chaleur fatale n'est pas forcément suffisante pour répondre aux pics quotidiens de consommation de chauffage et d'ECS. C'est pourquoi la dernière étape de l'algorithme calcule un taux de couverture mensuel pour chaque usage (chauffage et ECS) puis un taux de couverture global ( $h$ ). Ce dernier permet d'approximer la concordance temporelle entre récupération et besoin en intégrant des coefficients de concomitance pour les deux usages, chauffage et ECS.

Pour le chauffage, ce coefficient de concomitance est compris entre 0 et 1 et correspond au rapport entre le nombre d'heures où la production et la consommation sont synchronisées sur le nombre total d'heures dans le mois. La consommation de chauffage étant élevée en hiver, ce coefficient se rapproche de 1 tandis qu'il est à 0 pour les mois d'été. Il est différent selon les secteurs d'activité (tertiaire, logement...). Dans un quartier mixte, le coefficient retenu est le plus grand.

Pour l'ECS, une approximation de la durée des pointes de consommation pendant une journée est calculée. On considère que ces durées de pointes correspondent à la consommation quotidienne. Cette durée dépend du nombre de logements étudiés (les autres secteurs d'activités ne consomment pas ou peu d'ECS). Plus il y a de logements, plus la durée de pointe est longue. L'hypothèse choisie dans l'algorithme est que la durée de la pointe en fonction du nombre de logements suit une tendance logarithmique jusqu'à environ 50 000 logements. Au-delà, la durée de la pointe est plafonnée à 9h par jour. Le coefficient de concomitance ECS est obtenu en divisant cette durée de pointe par 24, le nombre d'heures dans une journée.

Une fois les coefficients de concomitance obtenus, les taux de couverture ( $Tc_{ch}$  et  $Tc_{ecs}$ ) se calculent en effectuant le rapport entre le produit des coefficients de concomitance ( $\delta_{ch}$  et  $\delta_{ecs}$ ) et de l'énergie distribuable ( $En_d$ ) sur les besoins du quartier ( $Besoin_{ch}$  et  $Besoin_{ecs}$ ) (1). Par pondération de ces deux résultats avec leurs besoins respectifs, on obtient le taux de couverture global de la source fatale de chaleur, en pourcentage.

$$Tc_{ch} = \frac{\delta_{ch} * En_d}{Besoin_{ch}} \quad Tc_{ecs} = \frac{\delta_{ecs} * En_d}{Besoin_{ecs}} \quad (1)$$

Si l'énergie distribuable est supérieure aux besoins, une quantité de chaleur est donc stockable (i), cette valeur correspond au dernier calcul du modèle Recov'Heat.

### 4.3. Application de l'outil

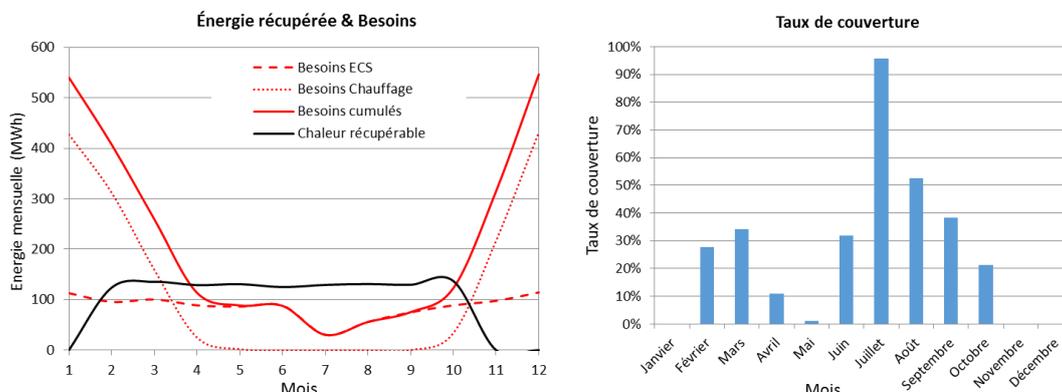
Le Tableau 3 présente les résultats de deux cas d'études faites à partir des eaux usées et des UIOM pour les mêmes besoins du quartier. Les résultats montrent que pour les mêmes besoins, les UIOM offrent une meilleure couverture par rapport aux eaux usées. Il faut noter ici que dans le cas des UIOM, il n'y a pas eu besoin de rehausser la température. Ce qui n'est pas le cas pour les eaux usées. Les figures ci-dessous (Figure 2 et Figure 3) présentent l'interface graphique qui permet à l'utilisateur de renseigner les besoins et la source fatale puis de visualiser les résultats.

		Eaux usées		UIOM	
Paramètres des sources	Quantité de déchets incinérés (t/an)	-		6700	
	Nombre d'E.H raccordés au réseau d'eaux usées	7500		-	
	Distance source – réseau (m)	500		500	
Paramètres des besoins	Surface totale (m²)	68 000		68 000	
	Usage du chaud	Chauffage	Chauffage + ECS	Chauffage	Chauffage + ECS
	Température d'usage (°C)	40 – 45 °C	55 – 65 °C	40 – 45 °C	55 – 65 °C
Résultats/ estimations	Energie récupérable (MWh/an)	1 022	1 175	11 069	11 069
	Taux de couverture (%)	55	35	100	100

Tableau 3 : Caractéristiques de récupération des sources de chaleur

The screenshot shows the Recov'Heat software interface. On the left, there is a form titled 'Saisissez les surfaces de la zone d'étude' with input fields for: BUREAUX (m²): 20000, LOGEMENTS (m²): 30000, MAISONS INDIVIDUELLES (m²): 10000, ECOLES (m²): 4000, COMMERCES (m²): 3000, CRECHES (m²): 1000, and Surface totale (m²): 68000. On the right, there is a form titled 'Sélectionnez le type de source (\*)' with icons for 'Eaux-usées', 'UIOM', 'Déchets', 'Eau chaude', and 'Eau froide'. Below this, there is a form titled 'Paramétrez les données de production & distribution' with fields for: Température d'usage (\*): Moyenne température (55-65°C), Usages du chaud: Chauffage and ECS (checked), and Distance source - réseau (m) (\*): 500. At the bottom, there is a form titled 'Eaux-usées' with a field for 'Indiquez le nombre équivalent d'habitants connectés au collecteur ou à la STEP (\*): 7500'.

Figure 2 : Interface de Recov'Heat et formulaires de données d'entrée (besoins quartier et source)



Bilan annuel	
Entrée :	7500 équivalent habitants
Sortie :	1175 MWh/an
Taux de couverture annuel :	35 %
COP moyen annuel :	3

Figure 3 : Résultats de simulation (énergie récupérable et taux de couverture)

#### 4.4. Calculs de validation du modèle

Afin de tester le modèle, des calculs ont été menés en comparaison avec plusieurs projets de récupération de chaleur fatale déjà en place avec des données disponibles. Pour cela nous avons retenu sept UIOM avec des chiffres publics sur leurs quantités de déchets incinérés et sur leur valorisation énergétique [10]. La récupération théorique (modèle Recov'Heat) annuelle d'énergie calculée par le modèle est comparée à la récupération réelle (chiffres entre 2008 et 2012).

Entrées		Résultats		Ecart	
Incinérateur	Déchets	Recov'Heat	Réel	Absolue	Relatif
	(Tonnes/an)	(MWh/an)	(MWh/an)	(MWh/an)	(%)
Sarcelles	150 000	244 404	201 737	42 667	21 %
Reims	96 000	156 414	63 274	93 140	147 %
Bayet	74 100	120 726	107 277	13 449	13 %
Besançon	59 800	97 440	68 828	28 612	42 %
Massy	85 000	138 486	113 786	24 700	22 %
Le Passage	35 000	57 030	47 731	9 299	19 %
Labeuvrière	160 000	260 682	128 621	132 061	103 %

Tableau 4 : Calculs de validation réalisés sur UIOM

Le Tableau 4 résume les résultats des calculs de validation sur sept UIOM en France. L'écart varie entre 13% (UIOM Bayet) et 147% (UIOM Reims). Globalement, on remarque que Recov'Heat a tendance à surévaluer la quantité d'énergie récupérable sur le processus d'incinération. Plusieurs causes peuvent être à l'origine de ce décalage. Tout d'abord, Recov'Heat calcule le potentiel de récupération sur le four de l'usine d'incinération ainsi que sur les fumées alors que les UIOM actuelles valorisent seulement la chaleur fatale issue du four. De plus, les UIOM sont soumises à des périodes de maintenance qui les obligent à stopper leurs activités. Dans Recov'Heat, la récupération est calculée sur 8760 h, soit sans aucune interruption. Le PCI est un autre facteur expliquant cette différence, il détermine la quantité d'énergie des déchets. Considéré constant dans cette première version de Recov'Heat, il varie en réalité d'une installation à l'autre. Aussi, pour certains cas réels, la plupart de la récupération se fait pour le chauffage et donc fonctionne uniquement pendant l'hiver. Enfin, il y a des cas où le surplus de récupération est non valorisable, lorsque les besoins sont moins importants.

La même étude a été effectuée sur 2 cas d'eaux usées et 1 cas de datacenter. Sans mentionner les détails d'entrées, nous présentons dans le Tableau 5 les résultats d'écarts.

Entrées	Résultats		Ecart	
Source et cas	Recov'Heat	Réel	Absolue	Relatif
	(MWh/an)	(MWh/an)	(MWh/an)	(%)
Eaux usées : écoquartier Sainte Geneviève	2 123	1 417	706	49,8 %
Eaux usées : Ecoquartier Cap-Azur	1 832	1 000	832	83,2 %
Datacenter : Val d'Europe	29 527	26 000	3 527	13,6 %

Tableau 5 : Calculs de validation réalisés sur eaux usées et datacenter

Selon le Tableau 5, comme pour les UIOM, l'estimation du potentiel de récupération de chaleur est supérieure à la réalité mais sont du même ordre de grandeur. Il s'agit d'un potentiel technique maximal qui ne prend pas en compte les contraintes d'aménagement et d'urbanisme ni les aspects économiques, ce dernier critère définissant le potentiel le plus précis selon la classification de Brueckner et al. [9]. Dans le cas de l'écoquartier Cap-Azur par exemple, les besoins thermiques de l'ordre de 1000 MWh/an sont entièrement couverts par la

récupération. Quant à l'estimation du potentiel maximal par Recov'Heat, il donne un résultat de 1832 MWh/an.

## 5. Conclusions et perspectives

Les résultats de cette étude, en occurrence l'outil Recov'Heat apporte des éléments d'aide à la prise de décision dans le choix de récupération et de valorisation d'une source de chaleur en milieu urbain. La récupération de chaleur sur les eaux-usées, les effluents des blanchisseries et les datacenter peuvent nécessiter l'utilisation d'un dispositif supplémentaire pour élever le niveau de température. La PAC est alors une solution technique adaptée mais les rendements énergétiques et l'équation économique ne sont pas garantis. Dans le cas des UIOM et des verreries, il s'agit de haute température. De ce fait, un échangeur est suffisant. Ces deux dernières sources offrent plus de possibilités en termes d'usages.

Cet outil travaille essentiellement à pas mensuel. Il dispose d'une version web, en ligne sur le site <http://tools.efficacity.com>.

Notre prochaine étude consistera à affiner le pas de calcul ; ce qui permettrait de mieux aborder l'optimisation du système (valorisation du surplus d'énergie récupérée). De plus, au-delà du potentiel maximal sans contrainte, il s'agira d'ajouter des données économiques pour rendre compte de la pertinence de la récupération de chaleur sur une source fatale. Un système d'information géographique pourrait également permettre de connaître les besoins réels d'un territoire et d'étudier le potentiel de plusieurs sources de chaleur fatale à la fois. Ce travail aboutira à la mise en ligne de la version 2 de Recov'Heat.

## Références

- [1] CEREMA, «Généralités sur la chaleur,» 2012.
- [2] A. Nuorkivi, «District heating and cooling policies worldwide,» *Advanced District Heating and Cooling (DHC) Systems*, 2016.
- [3] A. Hepbasli, «A key review of wastewater source heat pump (WWSHP) systems,» 2014.
- [4] J. Glanz, «The Cloud Factories : Power, Pollution and the Internet,» *New York Times*, 2012.
- [5] S. M. Dittmar L, «Electricity demand modeling of German data centers: dealing with uncertainties,» 2009.
- [6] ADEME, «Les déchets en chiffres 2014,» 2014.
- [7] AMORCE/ADEME, «Comparatif modes de chauffage et Prix de vente chaleur en 2012,» 2014.
- [8] Efficacity, «Etat des lieux des sources de chaleur fatale en milieu urbain,» 2015.
- [9] S. Brueckner, «Methods to estimate the industrial waste heat potential of regions - A categorization and literature review,» 2014.
- [10] Centre national d'information indépendante sur les déchets (Cniid), «La France de l'incinération,» [En ligne]. Available: <http://www.france-incineration.fr/>.
- [11] Loi Française, «LOI n° 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte,» 2015.
- [12] H. Lund, «4th Generation District Heating (4GDH) Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems,» 2014.
- [13] K. Sipilä, «Cogeneration, biomass, waste to energy and industrial waste heat for district heating,» *Advanced District Heating and Cooling (DHC) Systems*, 2016.

## Remerciements

Les auteurs expriment leur reconnaissance à l'Institut pour la Transition Energétique de la Ville EFFICACITY et à l'équipe du projet « Récupération de chaleur » grâce à qui cette étude a été réalisée.