

**Analyse**      **coûts**  
**avantages**



## Table des matières

|   |           |
|---|-----------|
| <b>ACRONYMES</b>  | <b>7</b>  |
| <b>1. INTRODUCTION</b>  | <b>8</b>  |
| <b>1.1. Contexte</b> .....  | <b>8</b>  |
| <b>1.2. Rappel de l'arrêté du 9 décembre 2014</b> .....   | <b>8</b>  |
| <b>1.3. Rappels sur le projet de l'UVE</b> .....  | <b>9</b>  |
| <b>1.4. Application au projet : calcul de l'énergie fatale disponible</b> .....                       | <b>10</b> |
| <b>1.5. Analyse des contraintes et exigences en lien avec une telle valorisation d'énergie fatale</b> | <b>11</b> |
| 1.5.1 Place disponible.....   | 11        |
| 1.5.2 Phasage de l'opération .....  | 12        |
| 1.5.3 Température des retours .....   | 12        |
| 1.5.4 Matériaux mis en œuvre pour le traitement des fumées.....                                       | 12        |
| 1.5.5 Régénération de la DeNOx.....   | 12        |
| <b>2. ANALYSE DÉTAILLÉE DU POTENTIEL D'ÉNERGIE FATALE VALORISABLE</b>                                 | <b>13</b> |
| <b>2.1. Energie fatale dans les fumées</b> .....  | <b>13</b> |
| <b>2.2. Energie fatale dans la boucle d'eau chaude</b> .....  | <b>13</b> |
| <b>2.3. Extracteur à mâchefers</b> .....  | <b>14</b> |
| <b>2.4. Synthèse du potentiel d'énergie fatale</b> .....  | <b>15</b> |
| <b>3. PRÉSENTATION DES RÉSEAUX DE FROID ET DE CHALEUR</b>   | <b>16</b> |
| <b>3.1. Définition des limites du système et de la limite géographique</b> .....                      | <b>16</b> |
| <b>3.2. Réseaux de froid</b> .....  | <b>17</b> |
| <b>3.3. Réseaux de chaleur</b> .....  | <b>18</b> |
| 3.3.1 Ivry centre.....  | 18        |
| 3.3.2 Ivry - Confluence.....  | 20        |
| 3.3.3 Paris 7 – Bruneseau .....   | 22        |
| 3.3.4 CPCU .....  | 23        |
| <b>4. ANALYSE DES SOLUTIONS ENVISAGEABLES</b>   | <b>26</b> |
| <b>4.1. Production de froid ou de chaud</b> .....   | <b>26</b> |
| 4.1.1 Production de chaud.....  | 26        |
| 4.1.2 Production de froid.....  | 26        |
| <b>4.2. Rappel des données de base</b> .....  | <b>27</b> |
| <b>4.3. Description et analyse des solutions envisageables</b> .....                                  | <b>27</b> |
| 4.3.1 Solution 1 : valorisation de la chaleur sensible des fumées .....                               | 27        |
| 4.3.2 Solution 2 : valorisation de la chaleur de condensation.....                                    | 29        |
| 4.3.3 Solution 3 : valorisation de la chaleur sensible par génération de froid .....                  | 31        |
| <b>4.4. Conclusion sur les solutions de valorisation</b> .....  | <b>31</b> |
| <b>4.5. Besoins internes de l'UVE / optimisation du cycle eau/vapeur</b> .....                        | <b>31</b> |
| 4.5.1 Préchauffage de l'air primaire et secondaire .....  | 31        |
| 4.5.2 Autres besoins internes .....   | 31        |

Analyse coûts avantages

|  |           |
|--|-----------|
| <b>5. ANALYSE ÉCONOMIQUE</b>   | <b>32</b> |
| 5.1. Données de base .....   | 32        |
| <b>5.2. Evaluation des investissements</b> .....   | <b>34</b> |
| <b>5.3. Evaluation des coûts d'exploitation</b> .....                                    | <b>35</b> |
| <b>5.4. Evaluation des aides</b> .....   | <b>35</b> |
| 5.4.1 Détail du mode de calcul des aides.....  | 35        |
| 5.4.2 Estimation des aides.....  | 37        |
| <b>5.5. Evaluation des gains liés à la réduction d'émissions de CO<sub>2</sub></b> ..... | <b>38</b> |
| <b>5.6. Evaluation des coûts complets de valorisation de la chaleur fatale</b> .....     | <b>38</b> |
| <b>5.7. Calcul de la VAN (Valeur Actualisée Nette)</b> .....                             | <b>39</b> |
| 5.7.1 Description de la méthode .....  | 39        |
| 5.7.2 Calcul de la VAN pour le scénario 1.....   | 40        |
| <b>5.8. Calcul du TRI (Taux de Rentabilité Interne)</b> .....                            | <b>40</b> |
| 5.8.1 Description de la méthode .....  | 40        |
| 5.8.2 Calcul du TRI pour le scénario 1 .....   | 40        |
| <b>6. ANALYSE ÉNERGÉTIQUE ET ENVIRONNEMENTALE</b>  | <b>41</b> |
| 6.1. Gain énergétique et émissions de gaz à effet de serre évitées .....                 | 41        |
| 6.2. Approvisionnement en énergie renouvelable des réseaux de chaleur.....               | 41        |
| <b>7. SYNTHÈSE</b>   | <b>42</b> |
| <b>8. ANNEXES</b>  | <b>43</b> |
| 8.1. Eléments du dossier d'aides fond chaleur.....                                       | 43        |
| 8.2. Détail du calcul de la VAN.....   | 50        |

## Liste des Figures

|  |    |
|--|----|
| Figure 1 : Postes principaux de l'UVE .....  | 10 |
| Figure 2: Localisation de l'UIOM existante et de la future UVE .....   | 11 |
| Figure 3 : Solution mise en œuvre pour le chauffage et l'ECS du bâtiment administratif de l'UVE .....            | 14 |
| Figure 4 : Rayon de valorisation du potentiel d'énergie fatale, correspondant au périmètre de l'étude.....       | 16 |
| Figure 5 : Principe du réseau de froid Climespace .....  | 17 |
| Figure 6 : Tracé du réseau de froid Climespace à proximité de l'UVE .....  | 17 |
| Figure 7 : Tracé du réseau de chaleur Ivry Centre.....   | 19 |
| Figure 8 : Mix énergétique du réseau de chaleur Ivry Centre .....  | 20 |
| Figure 9 : Secteur du réseau de chaleur Ivry Confluence .....  | 21 |
| Figure 10 : Interconnexion des réseaux Ivry Centre et Ivry confluence.....                                       | 21 |
| Figure 11 : Consommation de chaleur et niveaux de température du réseau Paris 7 Bruneseau .....                  | 22 |
| Figure 12 : Plan du réseau de chaleur CPCU.....  | 24 |
| Figure 13 : Mix énergétique du réseau de chaleur CPCU.....   | 25 |
| Figure 14 : Vue d'une pompe à chaleur grande puissance haute température .....                                   | 26 |
| Figure 15 : Principe de valorisation de l'énergie fatale disponible après le traitement des oxydes d'azote ..... | 28 |
| Figure 16 : Implantation de la solution 1 sur l'UVE .....  | 29 |
| Figure 17 : Plafond des aides ADEME .....  | 37 |

Analyse coûts avantages

**Liste des Tableaux**

|  |    |
|--|----|
| Tableau 1 : Synthèse du potentiel de chaleur fatale sur l'UVE.....                               | 15 |
| Tableau 2 : Echangeur ECO externe.....   | 28 |
| Tableau 3 : Données de base pour l'analyse économique.....                                       | 33 |
| Tableau 4 : Rappel sur le prix de la tonne de CO <sub>2</sub> à considérer.....                  | 34 |
| Tableau 5 : Détail des investissements du scénario 1 .....                                       | 34 |
| Tableau 6 : Synthèse des investissements du scénario 1.....                                      | 35 |
| Tableau 7 : Détail des coûts d'exploitation du scénario 1 .....                                  | 35 |
| Tableau 8 : Détail des données de gain CO <sub>2</sub> sur le scénario 1 (réseau CPCU) .....     | 38 |
| Tableau 9 : Revenus liés aux gains CO <sub>2</sub> sur le scénario 1 (réseau CPCU) .....         | 38 |
| Tableau 10 : Coûts complets de valorisation de la chaleur fatale au réseau de chaleur CPCU ..... | 38 |
| Tableau 11 : Synthèse des gains énergétiques et émissions de serre évitées du scénario 1 .....   | 41 |
| Tableau 12 : Synthèse des résultats de l'analyse coûts avantages du scénario 1 étudié.....       | 42 |

## Analyse coûts avantages

### ACRONYMES

**AM**: Arrêté Ministériel  
**AP** : Arrêté Préfectoral  
**BOM** : Benne d'Ordures Ménagères  
**BP** : Basse Pression  
**BT** : Basse Tension  
**CPCU** : Compagnie Parisienne du Chauffage Urbain  
**CVC** : Chauffage Ventilation Climatisation  
**DDAE** : Dossier de Demande d'Autorisation d'Exploiter  
**DIB** : Déchets Industriels Banals  
**DRIEE** : Direction Régionale et Interdépartementale de l'Environnement et l'Énergie  
**ECS** : Eau chaude Sanitaire  
**ErDF** : Électricité réseau Distribution France  
**FAM** : Filtre A Manches  
**FFOM** : Fraction Fermentescible des Ordures Ménagères  
**GNR** : Gazole Non Routier  
**GE** : Groupe Électrogène  
**GrDF** : Gaz réseau Distribution France  
**GTA** : Groupe Turbo Alternateur  
**HT** : Haute Tension  
**ICPE** : Installations Classées pour la Protection de l'Environnement  
**MTD** : Meilleures Techniques Disponibles  
**OMr** : Ordures Ménagères résiduelles  
**PCI** : Pouvoir Calorifique Inférieur  
**PFD** : Programme Fonctionnel Détaillé  
**PLU** : Plan local d'urbanisme  
**PPRI** : plan de prévention du risque inondation  
**PSR** : Produits Sodiques Résiduels  
**REFIOM** : Résidus d'Épuration des Fumées d'Incinération des Ordures Ménagères  
**RFF** : Réseau Ferré de France  
**SCR** : Selective Catalytic Reduction  
**SRCAE** : Schéma Régional Climat Air Energie  
**TGBT** : Tableau Général Basse Tension  
**UIOM** : Usine d'Incinération d'Ordures Ménagères  
**UVE** : Unité de Valorisation Énergétique  
**UVO** : Unité de Valorisation Organique  
**UVOE** : Unité de Valorisation Organique et Énergétique  
**VLE** : Valeurs limites d'Émissions  
**VRD** : Voirie, Réseaux et Divers

## Analyse coûts avantages

### 1. Introduction

#### 1.1. Contexte

La directive européenne 2012/27/UE relative à l'efficacité énergétique favorise le recours à la chaleur fatale. Les émetteurs de chaleur fatale situés à proximité d'un réseau de chaleur doivent réaliser une analyse coûts-avantages afin d'étudier les possibilités de valorisation de la chaleur fatale et, si la solution est jugée rentable, elle doit être mise en oeuvre, sauf raisons impérieuses de droit ou de propriété.

Ce sont les articles 14.5 à 14.8, ainsi que l'annexe IX de la directive qui traitent spécifiquement de cette analyse coûts-avantages. Ils sont transposés en droit français par le 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 ou de froid.

L'arrêté du 9 décembre 2014 précise les catégories d'installations visées ainsi que le contenu de l'analyse permettant d'évaluer l'intérêt de valoriser de la chaleur fatale à travers un réseau de chaleur ou de froid.

L'arrêté du 9 décembre 2014 demande une analyse coûts-avantages afin d'étudier la valorisation du potentiel d'énergie fatale du site.

#### 1.2. Rappel de l'arrêté du 9 décembre 2014

*Art. 2. – Sont concernées par la réalisation d'une analyse coûts-avantages afin d'évaluer l'opportunité de valoriser de la chaleur fatale à travers un réseau de chaleur ou de froid :*

*1 Les installations d'une puissance thermique nominale totale supérieure à 20 MW, soumises au régime d'autorisation au titre de la réglementation des installations classées, générant de la chaleur fatale non valorisée;*

*2 Les installations de production d'énergie d'une puissance thermique nominale totale supérieure à 20 MW, soumises au régime d'autorisation au titre de la réglementation des installations classées, faisant partie d'un réseau de chaleur ou de froid.*

*Art. 3. – Les installations exemptées de la réalisation d'une analyse coûts-avantages les installations doivent remplir l'une des conditions suivantes :*

- ❖ le rejet de chaleur fatale non valorisée est à une température inférieure à 80°C,*
- ❖ le rejet de chaleur fatale non valorisée est inférieur à 10 GWh/an,*
- ❖ la demande de chaleur est à plus de 4 km d'une installation ayant des rejets de chaleur fatale non valorisée inférieurs à 50 GWh/an, plus de 12 km d'une installation ayant des rejets de chaleur fatale non valorisée inférieurs à 250 GWh/an ou plus de 40 km d'une installation ayant des rejets de chaleur fatale non valorisée supérieurs à 250 GWh/an.*

*Art. 5. - Lorsque l'analyse coûts-avantages conduit dans l'analyse économique et financière à un total des avantages escomptés supérieur à celui des coûts escomptés et qu'il n'existe pas de raisons impérieuses de droit, de propriété ou d'ordre financier l'en empêchant, l'exploitant met en oeuvre la solution de valorisation de la chaleur fatale à travers un réseau de chaleur ou de froid dans les conditions ressortant de l'analyse coût-avantages. En cas de modification notable d'un des paramètres relatif au contenu de l'analyse coûts-avantages listés dans le tableau en annexe avant la mise en oeuvre du raccordement, l'exploitant met à jour l'analyse coûts-avantages et la transmet au préfet.*

## Analyse coûts avantages

*Art. 6. – Le présent arrêté entre en vigueur le 1er janvier 2015. Les dispositions du présent arrêté sont applicables aux installations dont le dossier de demande d'autorisation a été déposé après le 1er janvier 2015 et aux installations faisant l'objet après cette date d'une modification substantielle nécessitant le dépôt d'une nouvelle demande d'autorisation en application de l'article R. 512-33 du code de l'environnement et conduisant à une rénovation dont le coût dépasse 50 % du coût d'investissement pour une unité thermique neuve comparable. Une rénovation qui consiste en l'installation d'équipements de captage de dioxyde de carbone en vue de son stockage géologique n'est pas considérée comme une rénovation au sens du présent arrêté.*

### 1.3. Rappels sur le projet de l'UVE

Le besoin de traitement du bassin versant d'Ivry-Paris XIII à l'horizon 2023 est de l'ordre de 450 000 à 490 000 tonnes à l'horizon 2023. La capacité d'incinération de l'UVE ayant été volontairement limitée à 350 000 tonnes, le futur centre d'Ivry-Paris XIII doit aussi disposer d'une capacité de transfert pouvant aller jusqu'à 140 000 tonnes, selon la réussite des politiques de collecte séparative des biodéchets, pour les OMr qui ne pourront être traitées sur site.

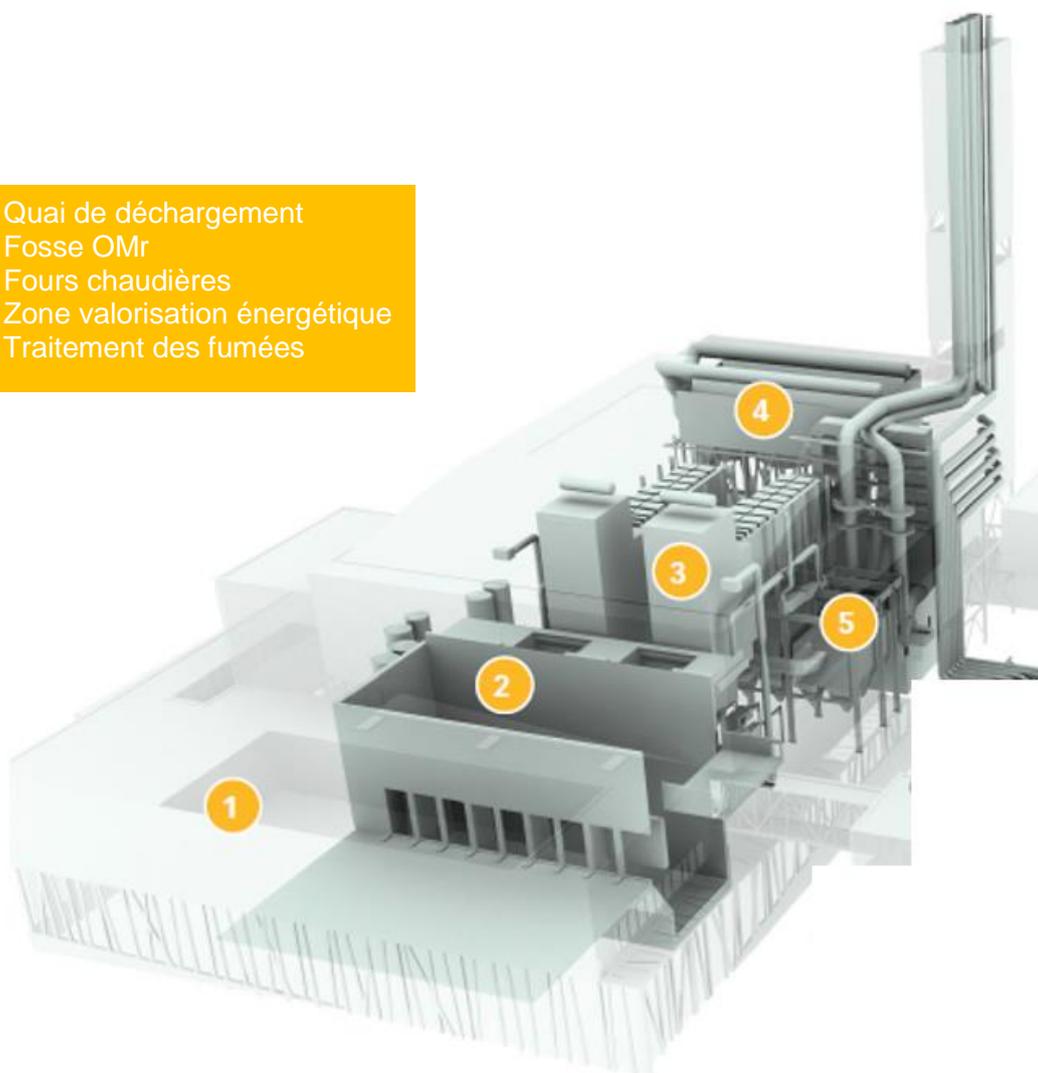
L'UVE est constituée :

- ❖ d'un poste de réception et de pesage des OMr,
- ❖ d'un quai de déchargement avec fosse OMr,
- ❖ de 2 lignes four-chaudière de capacité identique avec l'ensemble des équipements connexes (système d'alimentation, extraction et extinction des mâchefers, brûleurs d'allumage et d'appoint, auxiliaires des chaudières...),
- ❖ d'une ligne de traitement des fumées de type sec, associée à chaque ligne four-chaudière,
- ❖ d'un groupe turbo-alternateur (GTA) à contrepression avec soutirage pour livraison de vapeur au réseau de chauffage urbain de la CPCU,
- ❖ des équipements et ouvrages de gestion des résidus solides (mâchefers, cendres...),
- ❖ des installations électriques (raccordement au réseau public, réseau de distribution intérieur, alimentation de secours et alimentation sans interruption, moteurs électriques, éclairage, courants faibles....),
- ❖ des ouvrages et équipements connexes (production d'eau de chaudière, aérocondenseurs, stockages réactifs, air comprimé, équipements divers...),
- ❖ d'un poste de rechargement des camions pour le transport des déchets.

## Analyse coûts avantages

Figure 1 : Postes principaux de l'UVE

- 1 : Quai de déchargement
- 2 : Fosse OMr
- 3 : Fours chaudières
- 4 : Zone valorisation énergétique
- 5 : Traitement des fumées



### 1.4. Application au projet : calcul de l'énergie fatale disponible

Afin de savoir si le projet d'UVE est soumis ou non à l'arrêté du 9 décembre 2014, le potentiel de chaleur fatale du projet d'UVE est évalué.

La chaleur fatale disponible dans l'UVE (non utilisée pour des usages internes) se trouve dans le rejet des fumées entre le traitement de ces dernières et leur rejet à la cheminée.

L'énergie fatale disponible est de 159 GWh/An. Le détail du calcul est fourni au chapitre 2.1 ci-après.

**Le projet d'UVE est donc pleinement soumis à l'arrêté du 9 décembre 2014 (>10 GWh/an).**

Ainsi, la présente étude constitue une analyse coûts / avantages de valorisation de la chaleur fatale de l'UVE. Les 3 critères mentionnés dans l'arrêté du 9 décembre 2014 vont donc être étudiés :

- ❖ Économique, selon les modalités de calcul définies dans l'arrêté,  
IP-14-064-BG-A-ETU-U0-0015-B0

## Analyse coûts avantages

- ❖ Droit,
- ❖ Propriété.

### 1.5. Analyse des contraintes et exigences en lien avec une telle valorisation d'énergie fatale

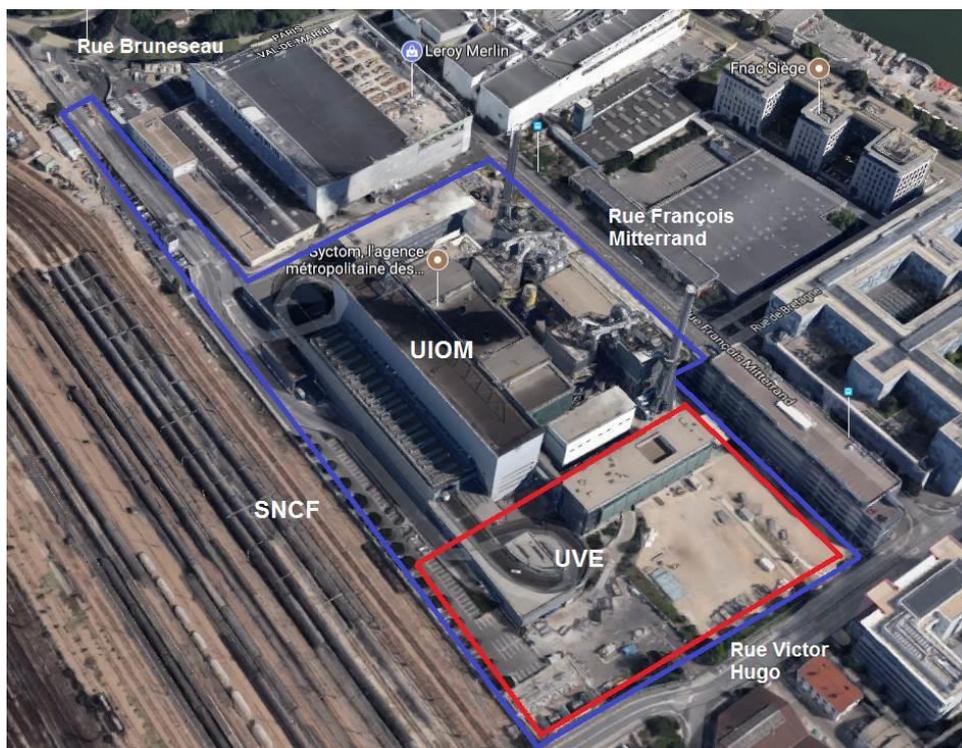
La mise en œuvre d'une valorisation de la chaleur fatale, si elle s'avère réalisable, doit respecter plusieurs contraintes et exigences :

#### 1.5.1 Place disponible

Le projet de l'UVE est extrêmement contraint vis-à-vis de l'espace disponible et des propriétés foncières suivantes :

- ❖ L'UIOM existante,
- ❖ La rue Victor Hugo,
- ❖ La rue François Mitterrand,
- ❖ Les voies SNCF.

Figure 2: Localisation de l'UIOM existante et de la future UVE



La solution de valorisation de la chaleur fatale devra pouvoir s'intégrer dans cet espace disponible (identifié en rouge dans la figure 2).

## Analyse coûts avantages

### 1.5.2 Phasage de l'opération

Afin d'assurer une continuité de service, l'UIOM ne sera arrêtée qu'après la mise en service de l'UVE. La mise en œuvre d'une valorisation de l'énergie fatale ne devra pas influencer cette continuité de service.

De plus, l'emplacement de l'UIOM actuel, une fois déconstruit, est réservé à un autre projet en cours de développement (UVO) et ne pourra donc pas être pris en compte pour y installer tout ou partie des équipements de valorisation de la chaleur fatale de l'UVE dans le cadre du projet présenté.

### 1.5.3 Température des retours

En cas de valorisation de la chaleur de condensation des fumées, afin de garantir une condensation des fumées, la température du consommateur de chaleur retenu devra être la plus basse possible.

### 1.5.4 Matériaux mis en œuvre pour le traitement des fumées

En cas de valorisation de la chaleur de condensation des fumées, la température des fumées en amont de la cheminée devra permettre d'être au-dessus du point de rosée en raison de la conception acier des gaines, afin de ne pas conduire à des problèmes de corrosion.

### 1.5.5 Régénération de la DeNOx

Le système de traitement des fumées de l'UVE comprend une DeNOx catalytique, qui nécessite une régénération, avec un niveau de température de l'ordre de 300°C, soit environ 230°C au niveau du ventilateur de tirage. La solution mise en œuvre pour la valorisation de la chaleur fatale doit donc tenir compte de ce mode de fonctionnement.

## Analyse coûts avantages

### 2. Analyse détaillée du potentiel d'énergie fatale valorisable

#### 2.1. Energie fatale dans les fumées

L'énergie fatale dans les fumées représente la grande partie de l'énergie fatale récupérable sur l'UVE.

**L'énergie des fumées sortant du catalyseur DéNOx, à 185°C, constitue un solde d'énergie fatale.** Cette énergie est disponible sous deux formes :

- ❖ 1 : la récupération de l'énergie sensible,
- ❖ 2 : l'énergie de condensation des fumées

L'estimation de ce potentiel a été faite, en partant de la température en sortie du catalyseur DeNOx soit 185°C et avec un nombre d'heures de fonctionnement de 7 800h.

Énergie sensible des fumées : environ 104 GWh/an

Énergie de condensation des fumées : environ 55 GWh/an

On obtient un potentiel d'énergie fatale de **159 GWh/an**.

#### 2.2. Energie fatale dans la boucle d'eau chaude

Une boucle d'eau chaude est prévue sur l'UVE afin de valoriser l'énergie de refroidissement du groupe turbo-alternateur (GTA) pour assurer certains besoins internes, notamment les besoins en chauffage et en eau chaude sanitaire (ECS) du bâtiment administratif.

La production de chaleur nécessaire au chauffage statique des locaux et le réchauffage de l'air neuf sera assurée depuis une attente eau chaude 40/34,5°C mise à disposition en aval d'un échangeur de chaleur disposé sur le circuit des aéroréfrigérants process au niveau +24,50 entre les files A et B/ axes 4-6.

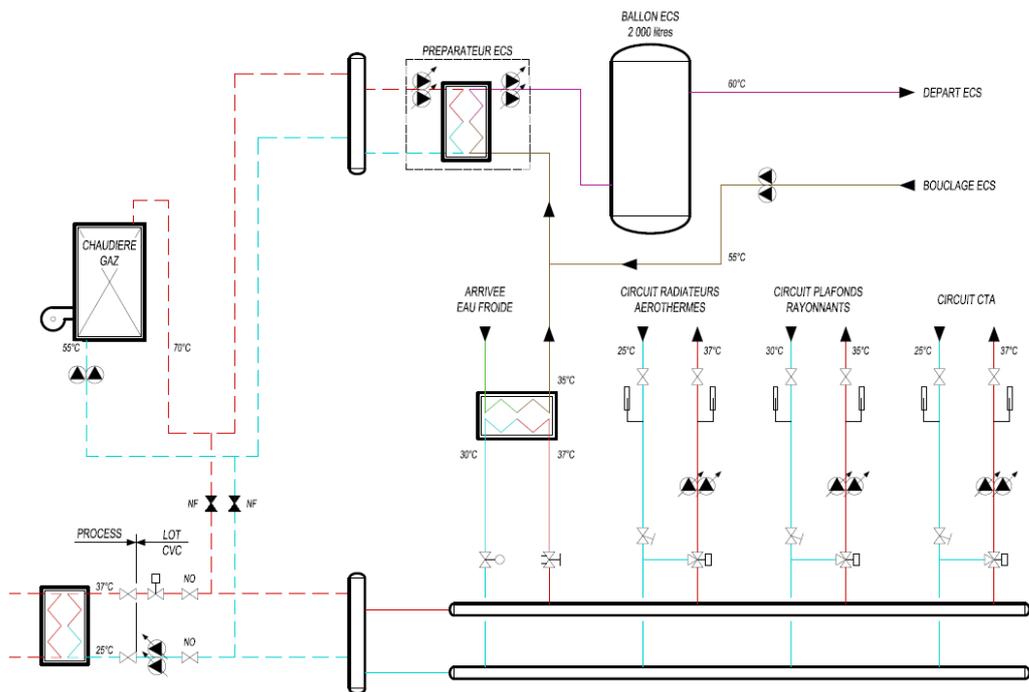
Les caractéristiques de cette source de chaleur fatale sont les suivantes :

- ❖ Eau éthylène glycol,
- ❖ Température entrée : 40°C,
- ❖ Température sortie : 34,5°C,
- ❖ Débit mis à disposition : 475 m<sup>3</sup>/h,
- ❖ Puissance à évacuer maxi : 2 756 kW.

Afin de garantir une continuité de chauffage en cas de maintenance du process, la production calorifique décrite ci-dessus sera secourue par une production de chaleur par chaudière gaz à condensation dimensionnée pour le chauffage des locaux estimée à 430 kW et le secours de la production ECS (estimée à environ 150 kW), selon le schéma suivant.

## Analyse coûts avantages

Figure 3 : Solution mise en œuvre pour le chauffage et l'ECS du bâtiment administratif de l'UVE



Source : IP-14-064-EI-J-NTE-U0-0001-A3

Dès lors, une puissance de 2326 kW à 37°C est disponible pour valorisation éventuelle. Cette énergie a un niveau de température inférieur à celui pris en compte dans l'arrêté du 9 décembre 2014 mais ce gisement est mentionné en cas de valorisation commune avec d'autres sources d'énergie fatale sur l'UVE.

### 2.3. Extracteur à mâchefers

La valorisation de l'énergie des mâchefers extraits ne représente pas un gisement de chaleur fatale important, qui plus est, à une température inférieure à 80°C.

**Ce gisement n'est donc pas considéré.**

Analyse coûts avantages

**2.4. Synthèse du potentiel d'énergie fatale**

La synthèse du potentiel d'énergie fatale disponible est résumée dans le tableau suivant.

*Tableau 1 : Synthèse du potentiel de chaleur fatale sur l'UVE*

| Potentiel                                   | Energie |
|---|---------|
|   | MWh/an  |
| Energie dans les fumées (hors condensation) | 104 000 |
| Energie de condensation des fumées          | 55 000  |

Analyse coûts avantages

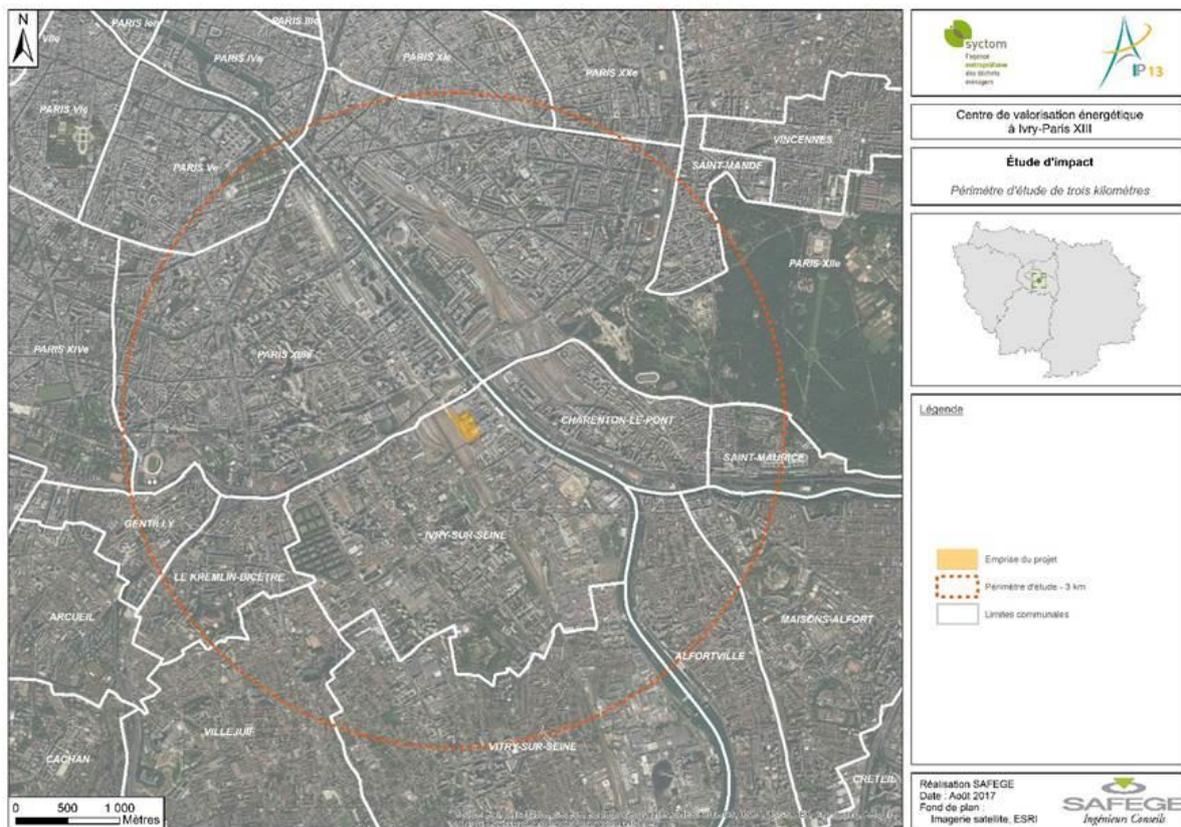
3. Présentation des réseaux de froid et de chaleur

3.1. Définition des limites du système et de la limite géographique

Selon les exigences de l'arrêté du 9 décembre 2014, la limite géographique de l'analyse coûts avantages doit couvrir une zone géographique adaptée et bien définie.

La limite géographique de la présente étude est élaborée en adéquation avec le rayon d'affichage défini pour l'enquête publique, ce périmètre d'étude est de 3 km autour du projet et inclut les communes suivantes : Paris 20<sup>e</sup>, 14<sup>e</sup>, 13<sup>e</sup>, 12<sup>e</sup>; 11<sup>e</sup>, 4<sup>e</sup> et 5<sup>e</sup> arrondissements (comprenant la partie ouest du Bois de Vincennes), Ivry-sur-Seine, Saint-Mandé, Saint-Maurice, Charenton-le-Pont, Maisons-Alfort, Alfortville, Vitry-sur-Seine, Villejuif, Le Kremlin-Bicêtre, Gentilly.

Figure 4 : Rayon de valorisation du potentiel d'énergie fatale, correspondant au périmètre de l'étude



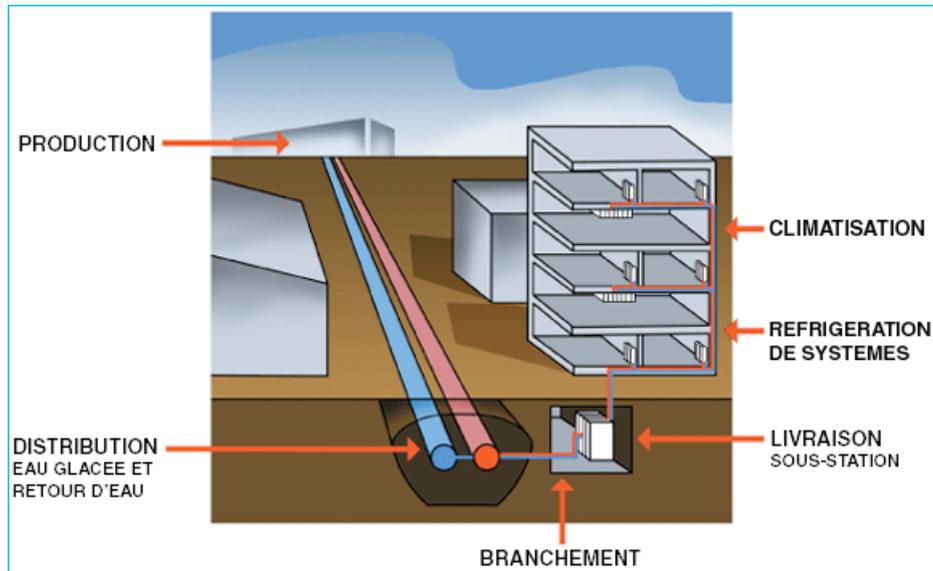
Les besoins dans le périmètre défini précédemment vont être évalués. Au regard de la zone concernée, l'analyse s'est focalisée sur les réseaux de chaleur à proximité du site, pouvant desservir la zone identifiée.

## Analyse coûts avantages

### 3.2. Réseaux de froid

Dans le secteur défini, le réseau de froid Climespace a été identifié. Son principe est présenté ci-après.

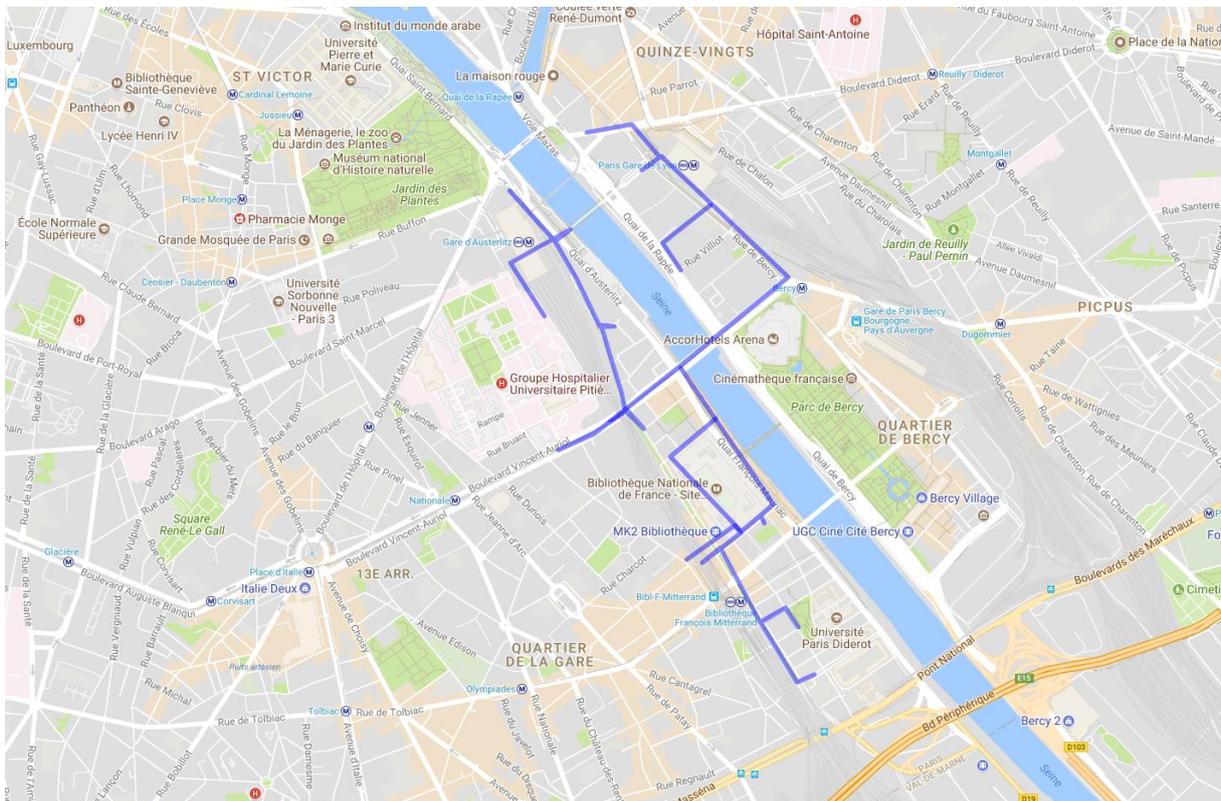
Figure 5 : Principe du réseau de froid Climespace



Source : Climespace

Le tracé du réseau Climespace à proximité de l'UVE est présenté sur la figure suivante.

Figure 6 : Tracé du réseau de froid Climespace à proximité de l'UVE



Source : Climespace

## Analyse coûts avantages

A noter que des travaux sont en cours sur ce réseau afin d'alimenter le secteur des futures tours Duo, actuellement en construction. Ce réseau est donc proche de l'UVE.

Toutefois, le raccordement à la future UVE pose un problème administratif car Climespace n'est pas autorisée à cheminer à ce jour sous les voiries de la ville d'Ivry sur Seine, ce secteur étant en dehors de leur périmètre.

### 3.3. Réseaux de chaleur

Dans le cadre de l'étude, quatre réseaux de chaleur ont pu être identifiés dans le périmètre de l'étude :

#### 3.3.1 Ivry centre

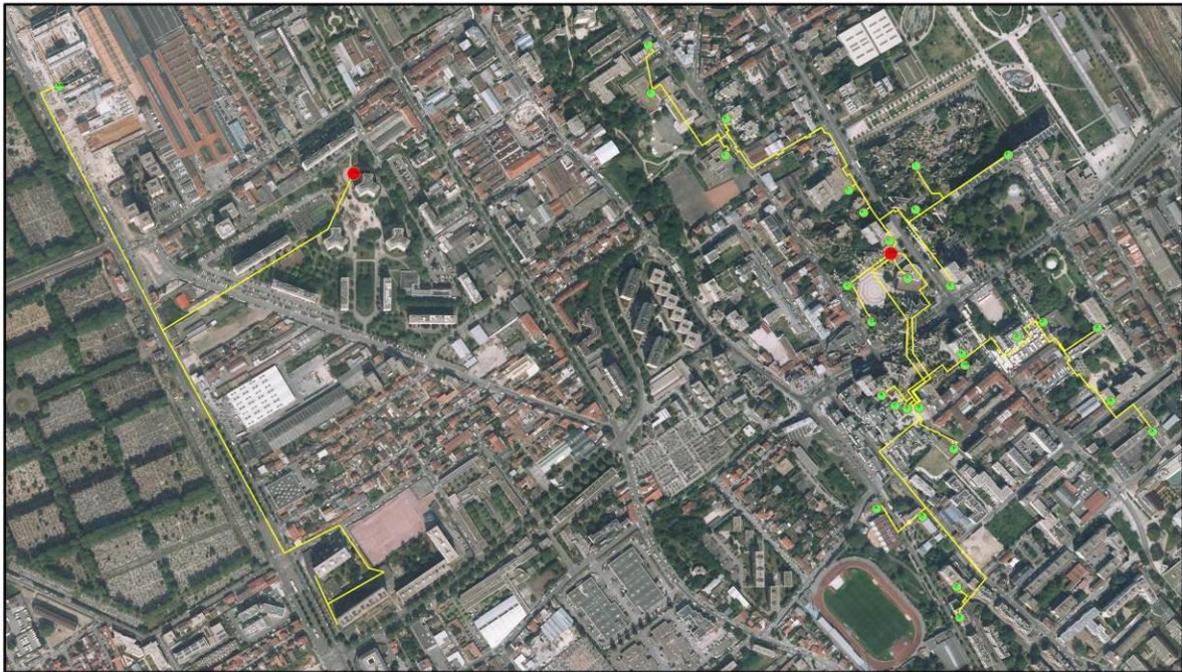
Le réseau de chaleur Ivry-Centre est un circuit eau chaude moyenne température. Le retour du circuit est à 63-65°C. La production de chaleur est assurée par des chaufferies. La consommation annuelle d'énergie est de **80 GWh th/an**.

Les caractéristiques de ce réseau sont :

- ❖ 2 centrales de production de chaleur (Casanova et PMC (Pierre et Marie Curie)) : fioul, gaz naturel,
- ❖ 41 MW de puissance installée,
- ❖ 36 sous-stations,
- ❖ 4 700 équivalents logements,
- ❖ 5.5 km de réseau (aller simple).

Analyse coûts avantages

Figure 7 : Tracé du réseau de chaleur Ivry Centre

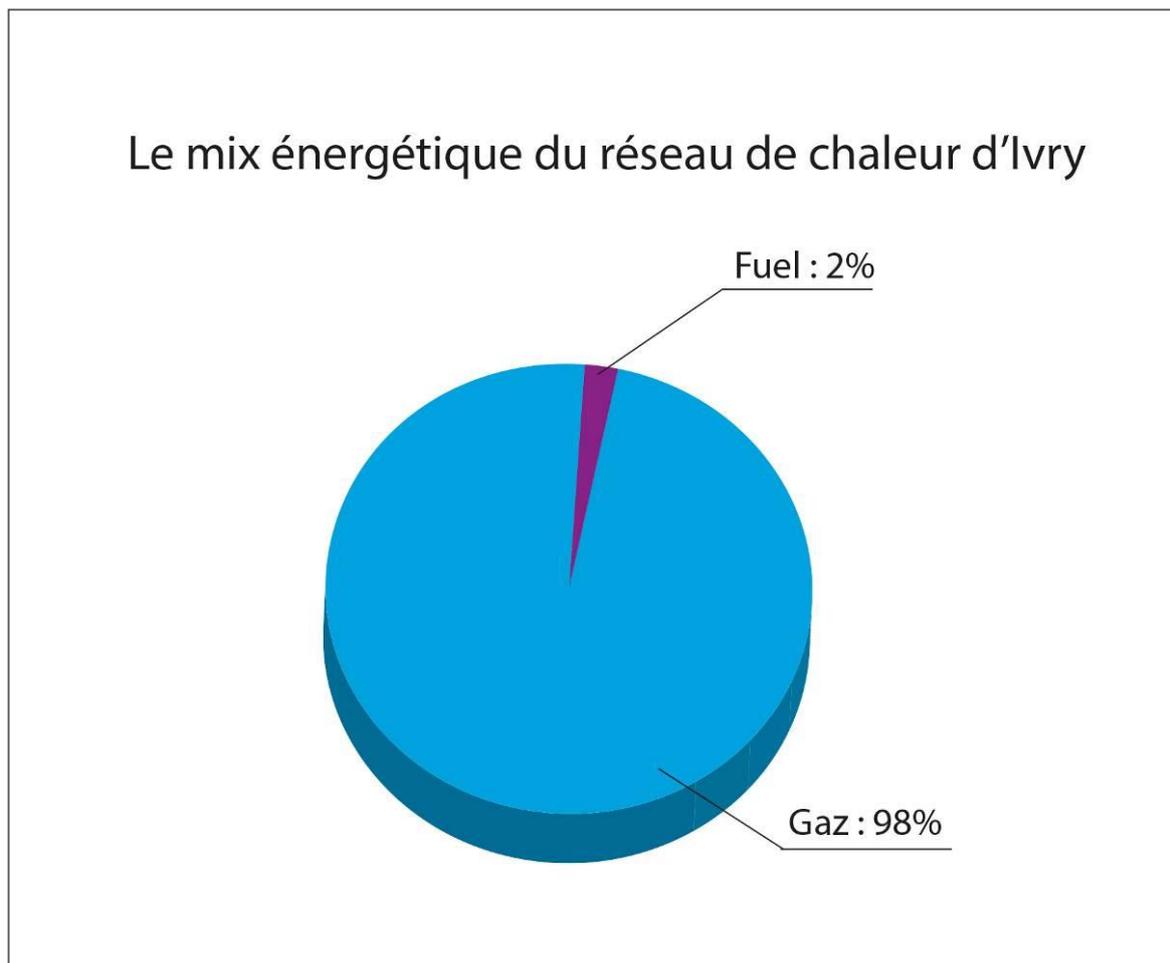


La sous-station pour le raccordement sur ce réseau de chaleur est située à 2,5 km de l'UVE.

Le mix énergétique de ce réseau était en 2016 le suivant.

## Analyse coûts avantages

Figure 8 : Mix énergétique du réseau de chaleur Ivry Centre



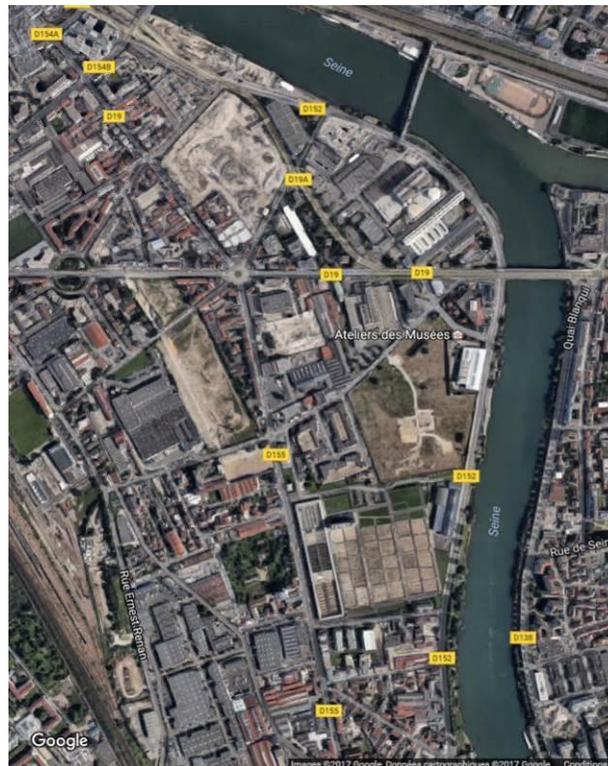
Toutefois, ce mix va évoluer depuis l'interconnexion avec le réseau voisin d'Ivry Confluence (cf. § 3.3.2).

### 3.3.2 Ivry - Confluence

Le circuit Ivry-Confluence est un circuit eau chaude basse température. Différentes sources permettent de réchauffer l'eau du circuit à 63-65°C, le retour s'effectuant à 30°C. Le départ vers le réseau de chaleur se fait à **75°C**.

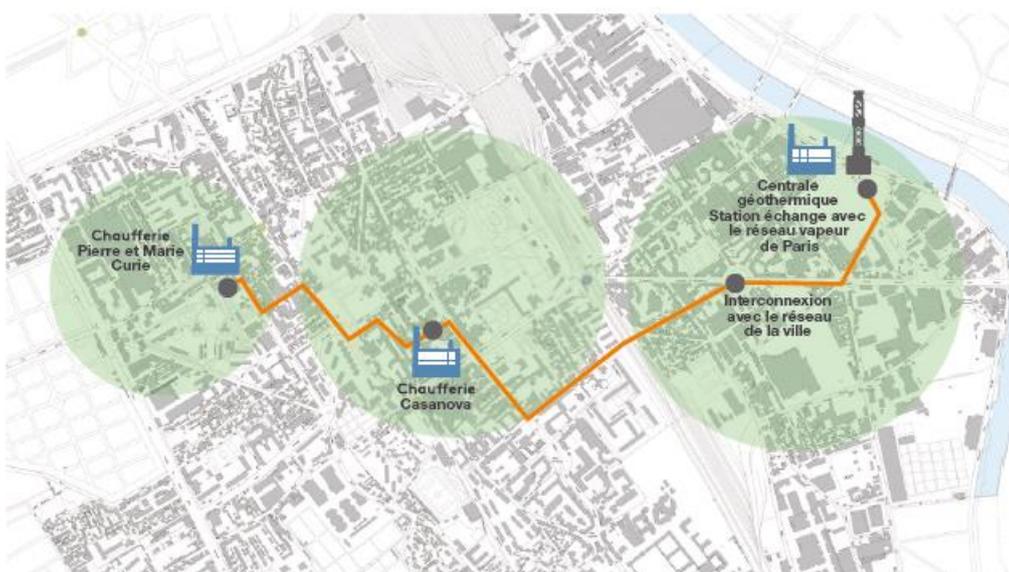
Analyse coûts avantages

Figure 9 : Secteur du réseau de chaleur Ivry Confluence



Ce réseau est alimenté par un puits géothermique (10 MW) et raccordé par une interconnexion au réseau d'Ivry Centre, depuis courant 2017. Une sous-station CPCU (3\*20 MW) fournit l'appoint et le secours. La puissance de production a été dimensionnée pour les raccordements à venir dans les 5-10 ans.

Figure 10 : Interconnexion des réseaux Ivry Centre et Ivry confluence



Source : Géotellence

## Analyse coûts avantages

Les caractéristiques du réseau interconnecté sont les suivantes :

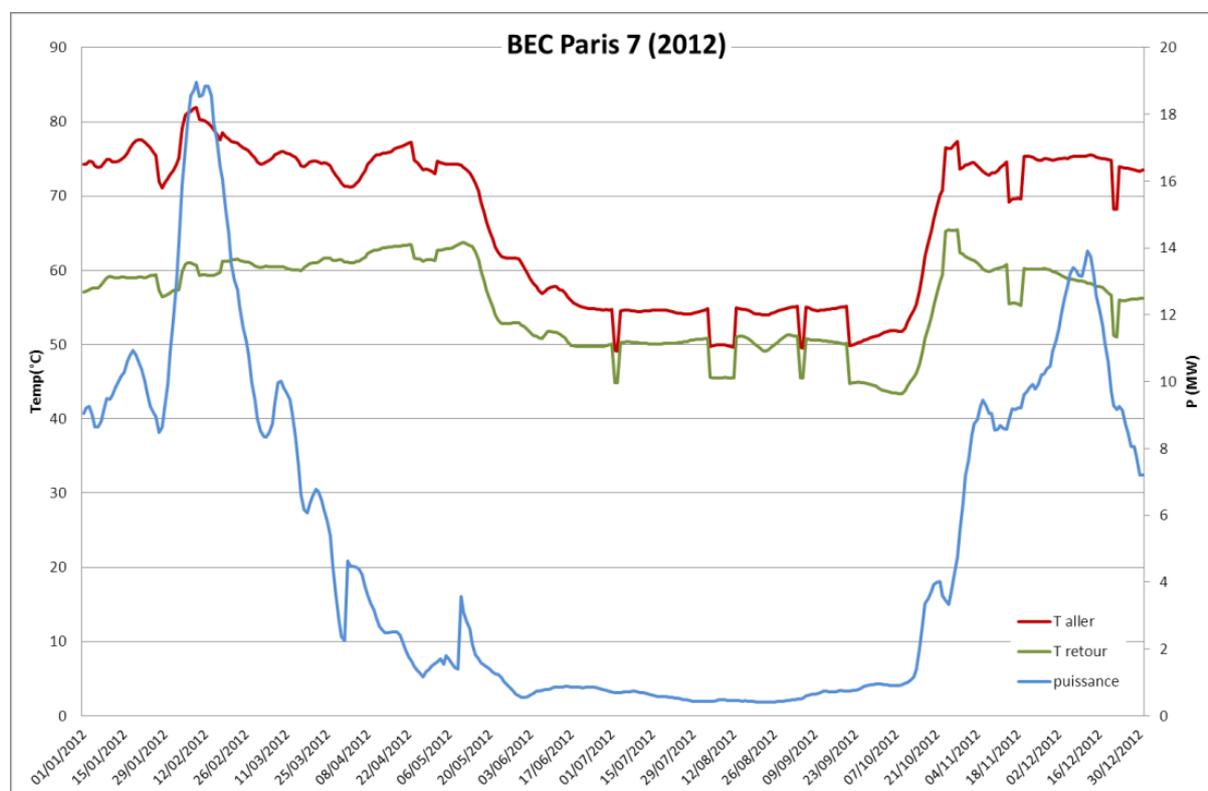
- ❖ 125 GWh/an de fourniture d'énergie,
- ❖ 13 km de réseau,
- ❖ Température de départ de 85°C par -5°C,
- ❖ Fonctionnement de la géothermie en ruban, autres centrales en appoint/secours.

### 3.3.3 Paris 7 – Bruneseau

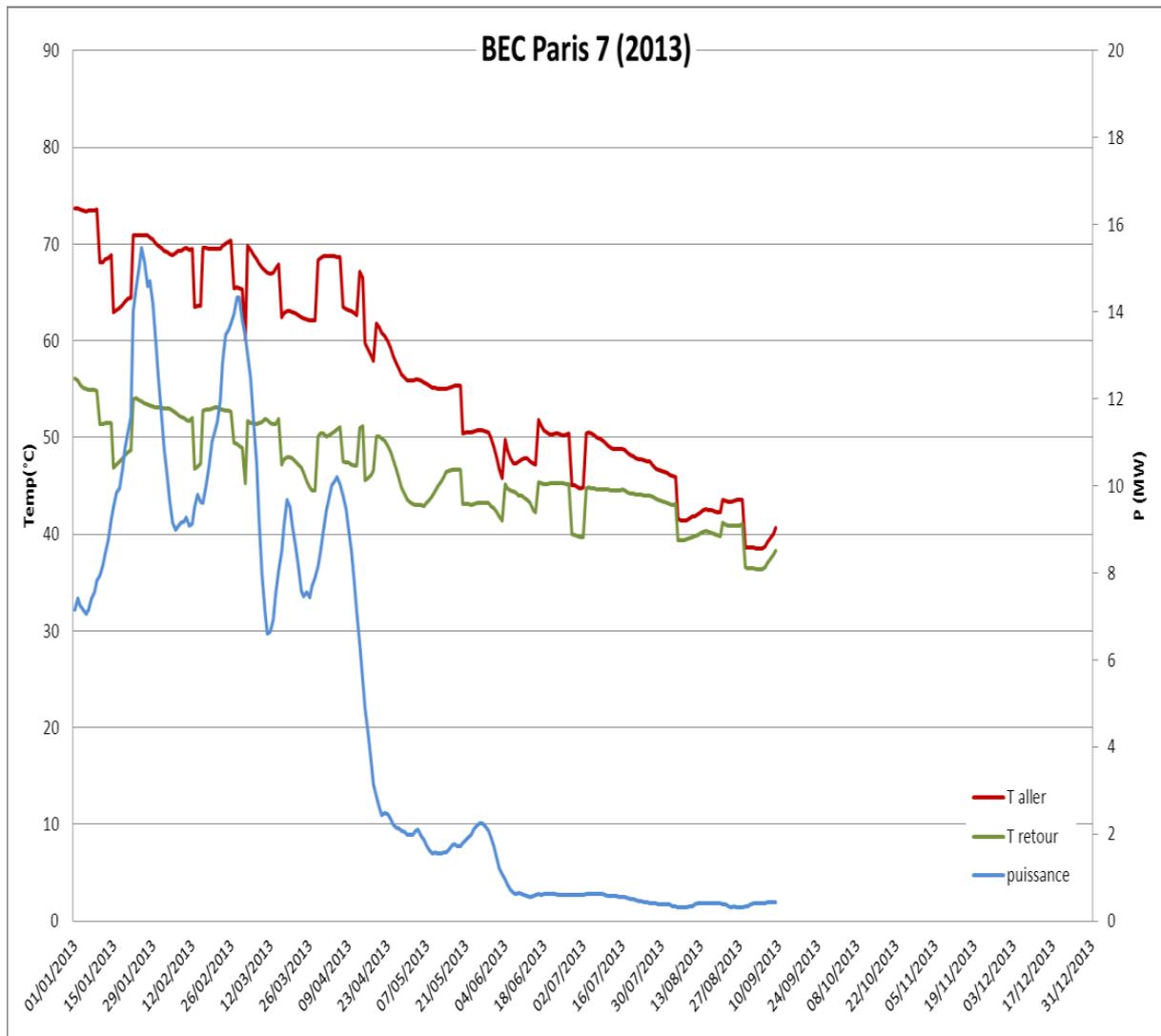
Ce réseau dessert le quartier du même nom.

La température de retour de l'eau du réseau est d'environ 45°C et il est envisagé de la réduire. Actuellement, toute la production de chaleur est assurée par une sous-station alimentée en vapeur CPCU. Le départ est à une température de **55-75°C** selon les saisons. A titre informatif, les courbes suivantes mettent en évidence la variation de la puissance thermique des utilisateurs sur l'année (courbe bleue). Celle-ci varie entre 14 MW th (hiver) et <1 MW th (été). **Ces valeurs pourraient augmenter significativement dans les 5-6 ans à venir à l'issue des programmes de construction en cours dans le quartier Masséna.** Les températures aller et retour du réseau sont également indiquées (courbes rouge et verte).

Figure 11 : Consommation de chaleur et niveaux de température du réseau Paris 7 Bruneseau



Analyse coûts avantages



La configuration du réseau et son développement (éloignement de la sous station du réseau de chaleur eau chaude inférieure à 1 km de l'UVE, place disponible dans la sous station, équipements, perspectives d'extension avec les tours Duo...etc.) est favorable pour un approvisionnement depuis l'UVE.

### 3.3.4 CPCU

Les caractéristiques du réseau CPCU sont les suivantes :

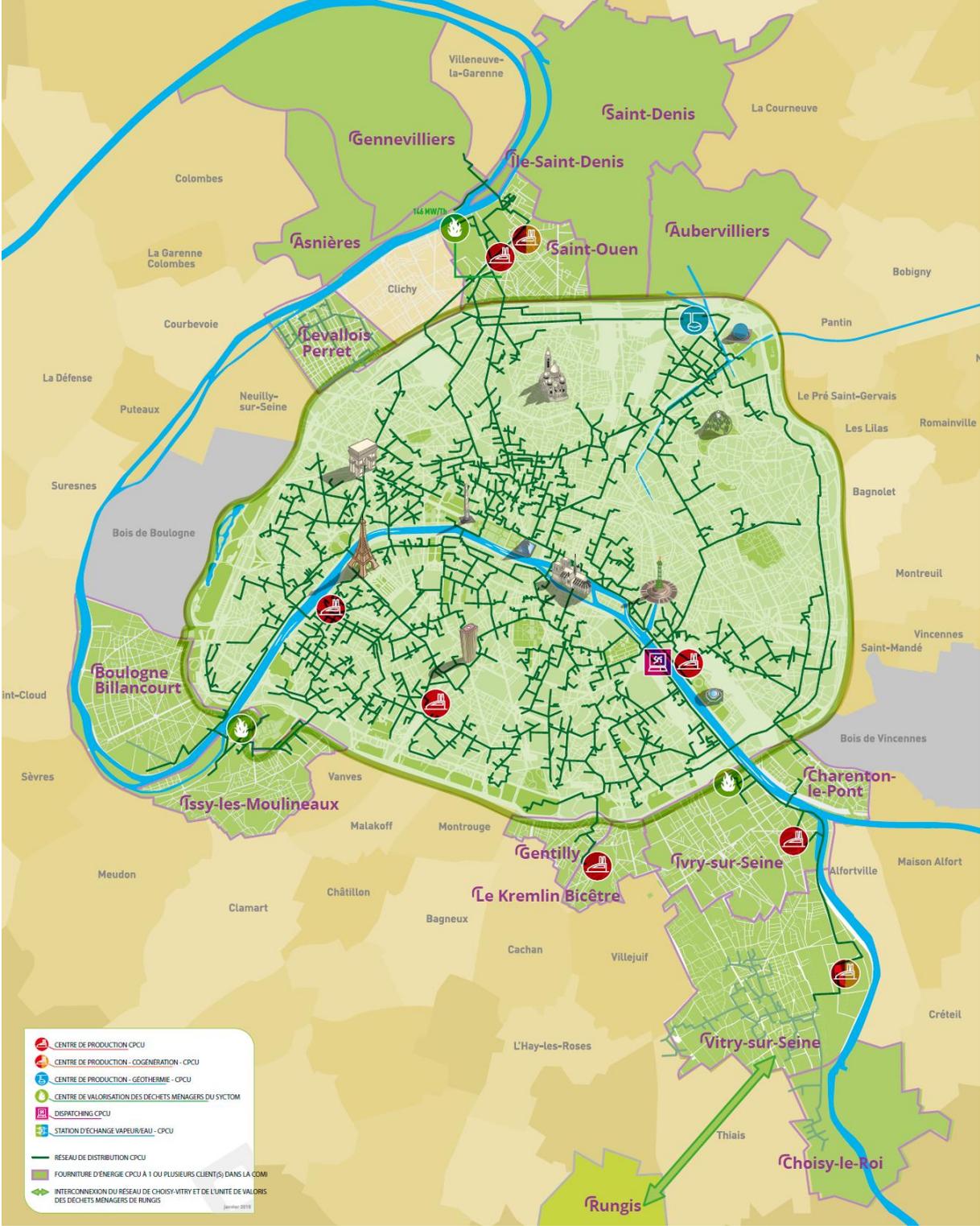
- ❖ Réseau vapeur avec 22 boucles d'eau chaude,
- ❖ 8 sites de production CPCU, dont 2 en cogénération et 2 en géothermie,
- ❖ 3 sites de production Sycotm (UIOM),
- ❖ 505 km de réseau,
- ❖ 5.2 TWh de chaleur fournie aux clients.

**Conception, construction et exploitation du centre de valorisation énergétique à Ivry-Paris XIII**

**Analyse coûts avantages**

Le tracé du réseau CPCU est présenté dans la figure suivante.

Figure 12 : Plan du réseau de chaleur CPCU

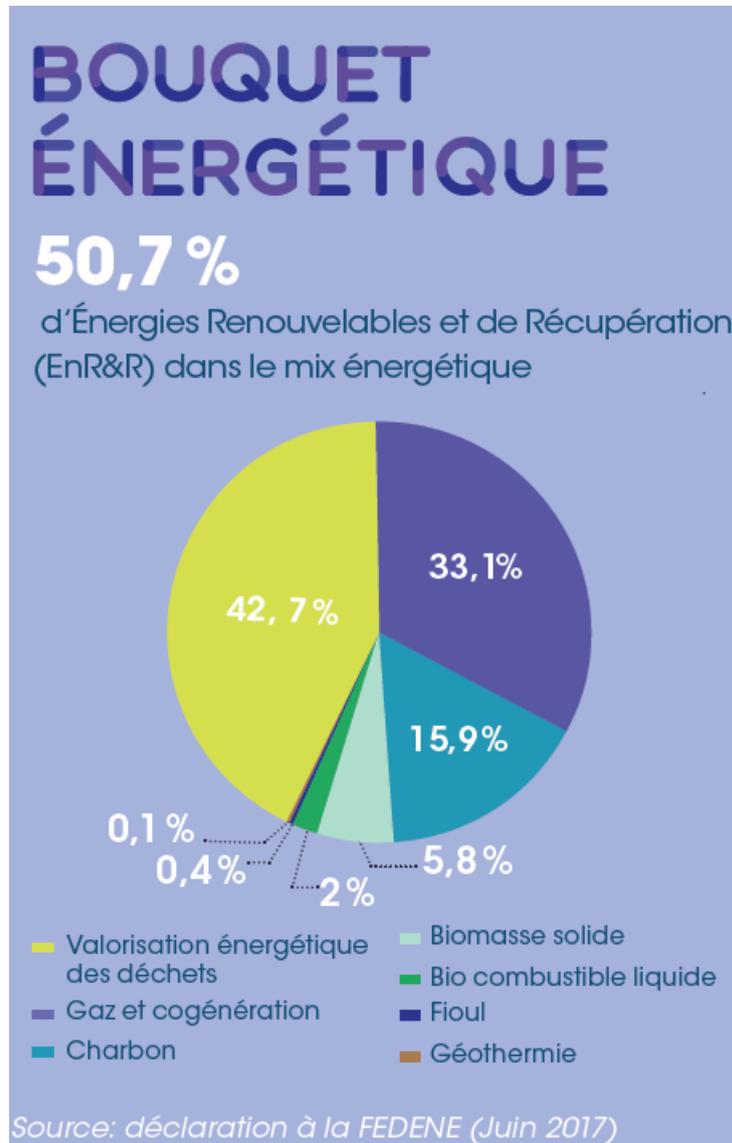


Source : CPCU

## Analyse coûts avantages

Le mix énergétique de ce réseau est en 2017 le suivant.

Figure 13 : Mix énergétique du réseau de chaleur CPCU



Source : CPCU

## 4. Analyse des solutions envisageables

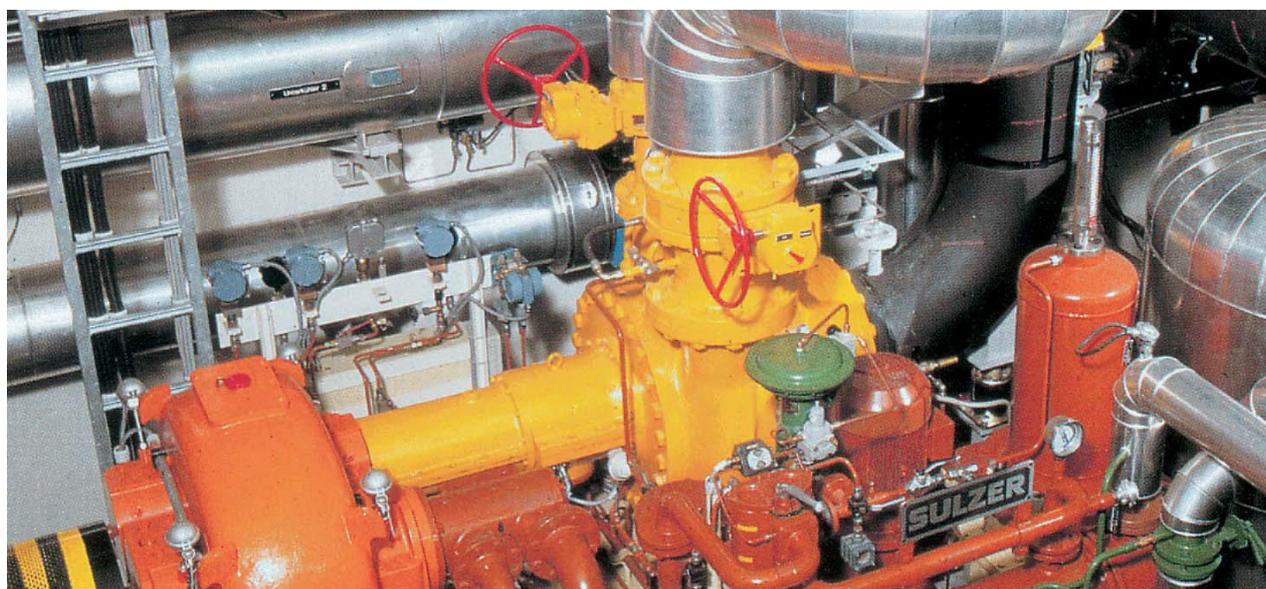
### 4.1. Production de froid ou de chaud

#### 4.1.1 Production de chaud

Dans le cadre d'une valorisation de chaleur fatale pour production de chaleur, la technologie envisageable pour la production de chaleur peut se faire suivant deux cas :

- ❖ Si le niveau de température de la chaleur fatale est supérieure au niveau de température requis pour alimenter le réseau de chaleur, la valorisation peut être directe,
- ❖ Si le niveau de température de la chaleur fatale est inférieure au niveau de température requis pour alimenter le réseau de chaleur, la valorisation doit passer par une pompe à chaleur haute température (>80°C), dont une vue est présentée ci-après.

Figure 14 : Vue d'une pompe à chaleur grande puissance haute température



Source : Friotherm

Le COP d'une telle PAC haute température, pour les niveaux de températures recherchés, est de l'ordre de 4 à 4.5.

#### 4.1.2 Production de froid

**Dans le cadre d'une valorisation de chaleur fatale pour production de froid, la technologie envisageable serait celle du groupe à absorption.** Le principe de fonctionnement des machines frigorifiques à absorption comprend quatre composants principaux :

- ❖ l'évaporateur,
- ❖ l'absorbeur,
- ❖ le concentrateur,
- ❖ le condenseur.

Dans l'évaporateur, de l'eau est utilisée comme réfrigérant et pulvérisée dans une ambiance à très faible pression. L'évaporateur est parcouru par un circuit à eau. En s'évaporant, le

## Analyse coûts avantages

réfrigérant soustrait sa chaleur à cette eau qui est ainsi refroidie. C'est cette eau qui alimente le réseau de froid.

L'efficacité énergétique (le COPfroid) est calculée par le rapport entre l'énergie « froid » récupérée au niveau de l'évaporateur et l'énergie thermique apportée au niveau du concentrateur. Le COP froid moyen est de l'ordre de 0,6 à 0,7.

Les machines de froid à absorption permettent la valorisation d'énergie thermique excédentaire et/ou fatales sur une usine d'incinération.

### 4.2. Rappel des données de base

Les données de base selon le traitement des fumées sont rappelées :

- 114 575 Nm<sup>3</sup>/h hum,
- 185 °C.

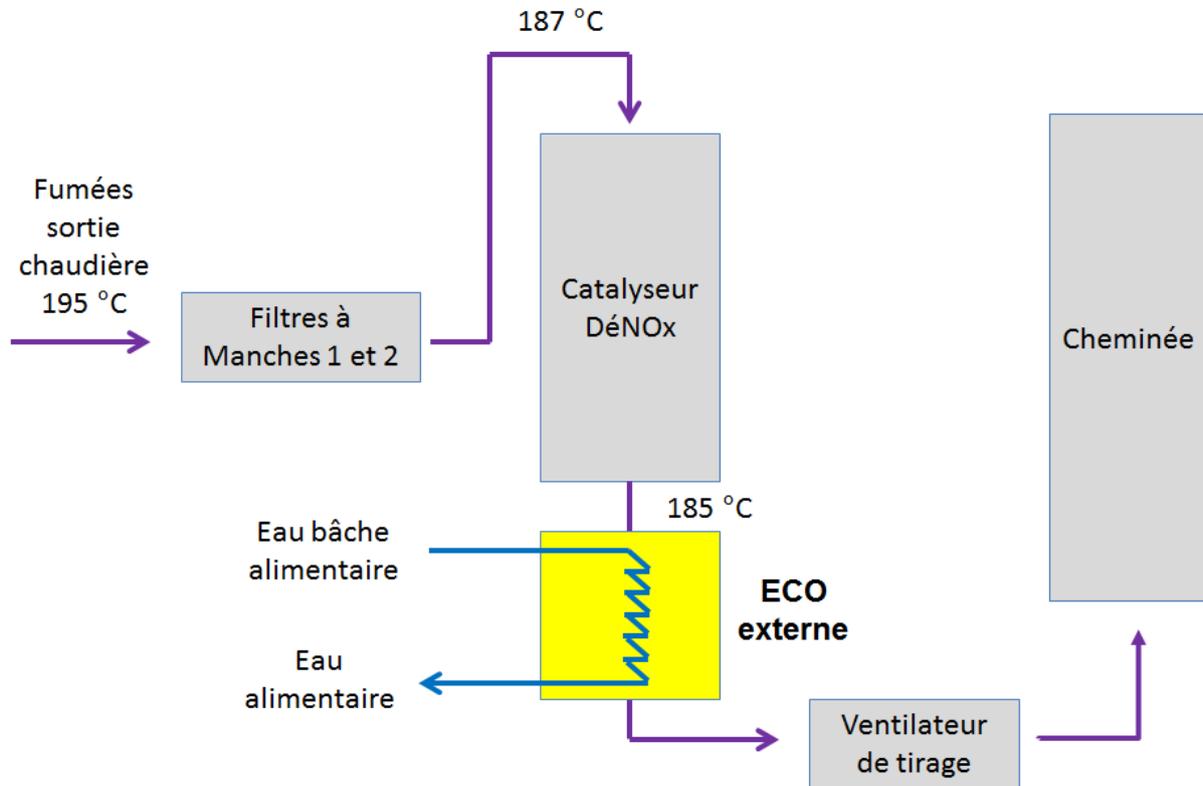
### 4.3. Description et analyse des solutions envisageables

#### 4.3.1 Solution 1 : valorisation de la chaleur sensible des fumées

Pour valoriser l'énergie fatale de l'UVE après le traitement des oxydes d'azotes, la première solution consiste à prévoir en aval du réacteur catalytique un échangeur complémentaire (ECO externe) fumées/eaux qui serait raccordé au cycle eau-vapeur de l'usine (entre la bêche alimentaire et la chaudière de l'usine). Cet échangeur permettrait ainsi de réchauffer l'eau alimentaire de la chaudière à partir de la chaleur fatale en sortie de la ligne de traitement des fumées (voir figure 15) avec pour résultat une augmentation de la quantité de vapeur produite par l'installation et donc revenue au réseau de la CPCU.

## Analyse coûts avantages

Figure 15 : Principe de valorisation de l'énergie fatale disponible après le traitement des oxydes d'azote



Il est important de noter que la mise en œuvre d'un tel dispositif doit répondre à deux contraintes principales :

- La température des fumées en sortir de l'échangeur doit rester à un niveau suffisant pour éviter tout risque de corrosions de la cheminée en aval (143°C)
- La place disponible pour implanter cet échangeur fumées / eaux

Or, compte tenu des emprises disponibles pour la réalisation de l'UVE (1,2 Ha pour une capacité de 350 000 t/an), cette installation est particulièrement compacte avec un empilement important d'équipements process, de locaux tertiaires et techniques mais aussi de zones fonctionnelles (circulation, maintenance). Par conséquent le dimensionnement qui a pu être retenu pour l'échangeur correspond à un niveau de température des fumées en sortie de cet équipement qui s'élève à 150°C. Et il n'y a donc pas de place pour un échangeur qui correspond à un niveau de température des fumées de 143°C en sortie de cet équipement.

Les caractéristiques de l'échangeur qu'il est donc possible d'implanter au sein de l'UVE sont précisées dans le tableau suivant :

Tableau 2 : Echangeur ECO externe

|  |               |    |
|--|---------------|----|
| Température fumées entrée              | 185           | °C |
| Température fumées en aval ECO externe | 150           | °C |
| Pincement                              | 35            | °C |
| Puissance côté fumées                  | 1 846         | kW |
| Puissance côté eau                     | 1 770         | kW |
| Dimensions L/L/H                       | 4.3 x 4 x 4.3 | m  |

## Analyse coûts avantages

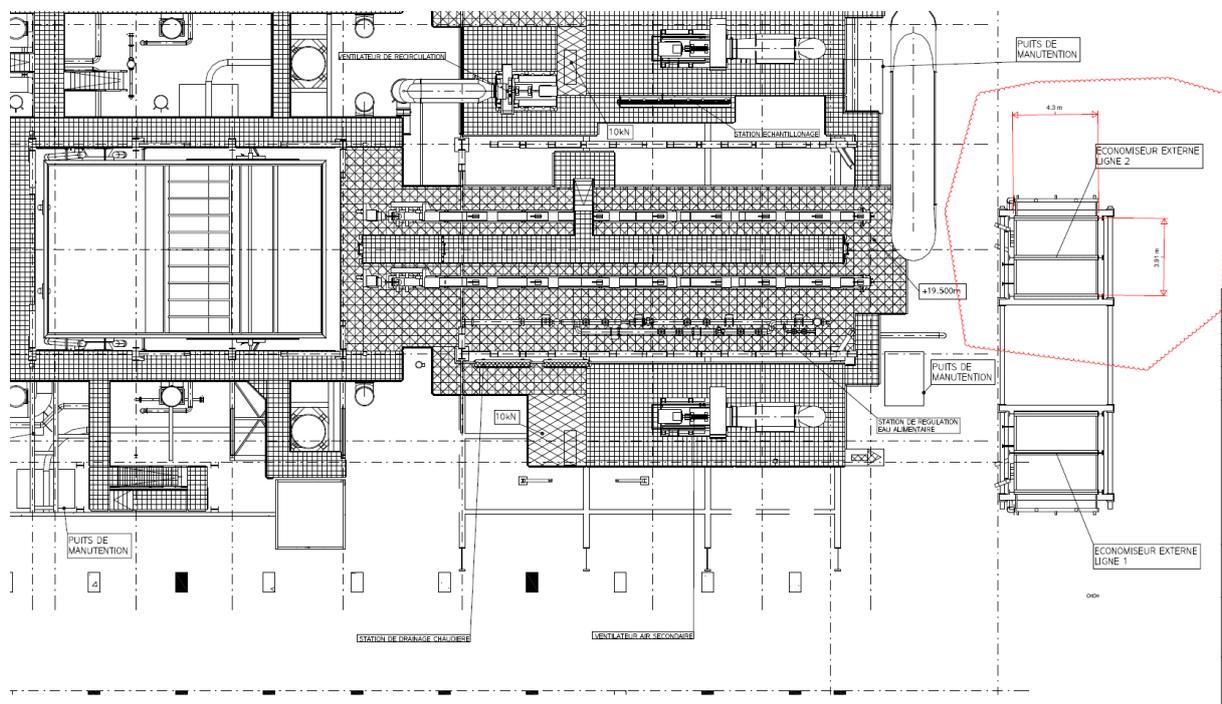
L'énergie ainsi récupérée par cet ECO externe permet de livrer environ 2.4 t vapeur/h supplémentaire sur le réseau de chaleur CPCU.

La consommation d'énergie électrique de la solution proposée a été évaluée à 50 kW.

La fourniture d'énergie fatale à un réseau de chaleur n'est ici pas secourue. En effet, le réseau CPCU est déjà équipé de chaufferies d'appoint/secours. De ce fait, une telle chaufferie n'est pas nécessaire dans le cadre de la solution proposée, notamment durant les arrêts programmés et non programmés de l'UVE.

L'implantation de cet échangeur au sein de l'UVE est présentée dans la figure 16.

Figure 16 : Implantation de la solution 1 sur l'UVE

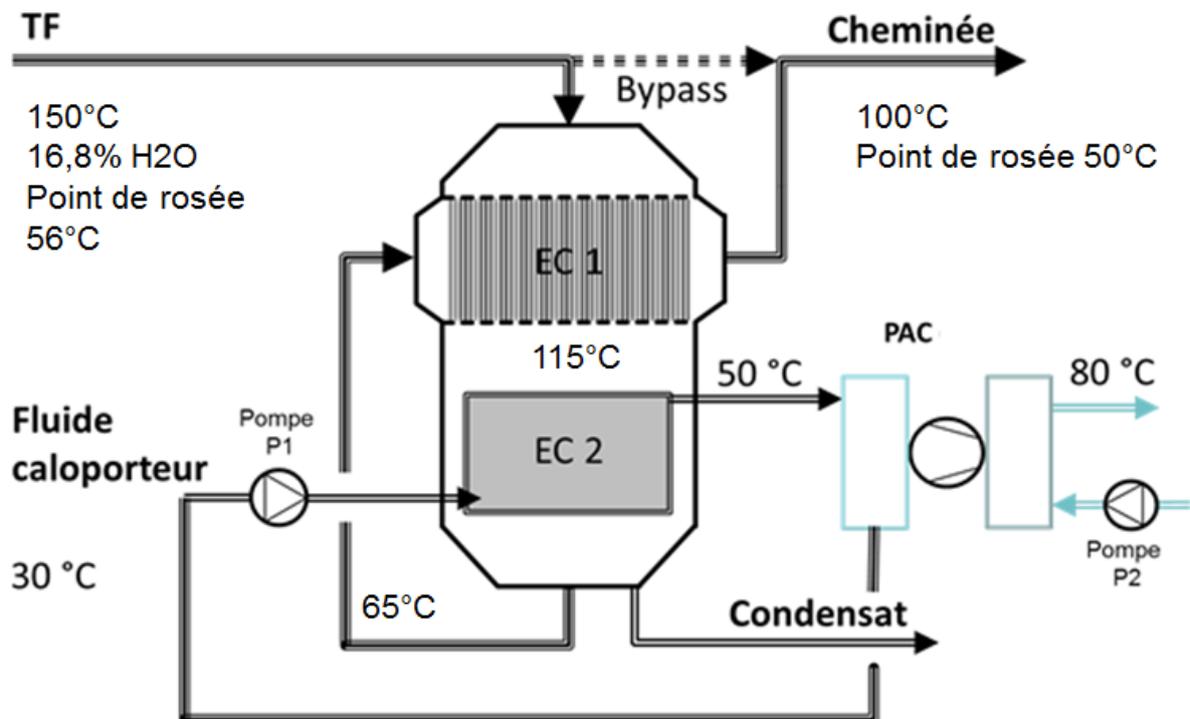


### 4.3.2 Solution 2 : valorisation de la chaleur de condensation

Une solution complémentaire à la solution 1 pourrait consister à poursuivre la valorisation de la chaleur fatale de façon en récupérant l'énergie de condensation des fumées. La phase de condensation permettrait en outre d'abaisser la température du point de rosée acide des fumées, évitant ainsi tout risque de corrosion au niveau de la cheminée.

Cette solution impliquerait la mise en place deux échangeurs EC1 et EC2, le second échangeur étant dédié à la récupération de l'énergie fatale et relié à une pompe à chaleur pour remonter le niveau de température du fluide caloporteur (voir schéma suivant) :

Analyse coûts avantages



Cependant une telle solution n'est pas faisable techniquement dans le cadre du présent projet d'UVE compte tenu des volumes nécessaires à l'implantation des équipements :

Concernant tout d'abord les deux échangeurs EC1 et EC2, ceux-ci doivent être installés entre la sortie de l'ECO externe (solution 1) et la cheminée. Or, comme déjà précisé au chapitre 4.3.1 ci-avant, l'échangeur de la solution 1 a déjà été dimensionné au maximum des possibilités d'implantation au sein de l'UVE. S'agissant de l'implantation des deux échangeurs EC1 et EC2, il faudrait également prendre en considération l'encombrement des accessoires suivants:

- ❖ Coudes à 90° pour gaine de 2.1m, d'un encombrement de 4 m chacun,
- ❖ Élargissements/rétrécissements pour connexion gaine/pavillons d'entrée et sortie, d'un encombrement de 2 m chacun,
- ❖ Pavillons d'entrée et de sortie, 3 de 2 m et deux de 4 m d'encombrement,
- ❖ Les longueurs de gaines en diamètre 2.1m suffisantes pour faire les différentes connexions,
- ❖ Passerelles d'accès et de maintenance de 1 m de large,
- ❖ Poteaux de charpente métallique de 0.25 m d'encombrement chacun.

Les empilements de ces différentes cotes conduisent à un encombrement minimum en termes de longueur et de largeur de 30 x 20 m. Un tel volume n'est pas disponible au sein de l'UVE.

A ce volume, s'ajoute la nécessité de trouver une place disponible pour la pompe à chaleur et les équipements associés.

**En conclusion, la solution 2 n'est pas réalisable techniquement.**

## Analyse coûts avantages

### 4.3.3 Solution 3 : valorisation de la chaleur sensible par génération de froid

En complément de la solution 1, le principe de la solution 3 consisterait à récupérer l'énergie fatale des fumées qui sont issues de l'éco externe présenté en solution 1 et à produire grâce à cette énergie du froid valorisable en réseau de froid au moyen d'une machine frigorifique.

Tout comme pour la solution 2, cette solution impliquerait la mise en place d'échangeurs entre la sortie de l'éco externe de la solution 1 et la cheminée.

Or l'analyse de la solution 2 a montrée qu'une telle implantation n'était pas réalisable techniquement. Il serait en outre nécessaire d'installer une pompe à chaleur et les équipements associés du groupe frigorifique.

**En conclusion, la solution 3 n'est pas réalisable techniquement.**

## 4.4. Conclusion sur les solutions de valorisation

Suite à l'analyse technique précédente, seule la solution 1 est donc retenue pour la suite de l'analyse coûts avantages.

Cette solution permettra de livrer un surplus d'énergie dans le réseau CPCU (2.4 t vapeur/h) via le raccordement déjà prévu. De ce fait, ce réseau est privilégié pour livrer l'énergie supplémentaire valorisée.

Il est précisé qu'une convention existe actuellement entre le Sycotom et la CPCU. Celle-ci couvre toutes les installations fournissant de la vapeur sur les réseaux de la CPCU.

Elle sera remise à jour en temps voulu.

## 4.5. Besoins internes de l'UVE / optimisation du cycle eau/vapeur

Une analyse des besoins internes et des possibilités d'optimisation du cycle eau/vapeur a été également mise en oeuvre, afin de pouvoir augmenter la valorisation d'énergie sous forme vapeur sur le réseau CPCU.

### 4.5.1 Préchauffage de l'air primaire et secondaire

L'air primaire est préchauffé à 120°C à l'aide de vapeur mais aussi de l'eau de refroidissement des grilles.

L'ajout d'un échangeur supplémentaire serait possible théoriquement mais le delta T serait faible et induirait une certaine complexité (conduite importante, exploitation).

### 4.5.2 Autres besoins internes

L'analyse des besoins internes, permettant de valoriser plus de vapeur sur le réseau CPCU, n'a pas permis de mettre en avant de potentiels significatifs.

## **5. Analyse économique**

### **5.1. Données de base**

Cette analyse va refléter les flux de trésorerie effectifs liés aux investissements et à leur exploitation sur les critères techniques listés dans le tableau suivant.

Cette analyse est basée sur les données de l'arrêté du 9 décembre 2014.

Au regard de l'analyse technique qui précède, un seul scénario est donc étudié :

Scénario 1 = solution 1 (mise en place d'un ECO externe) pour alimenter le réseau de chaleur CPCU.

**Analyse coûts avantages**

*Tableau 3 : Données de base pour l'analyse économique*

| PARAMÈTRES                  |   | CAS N° 1 :<br>Le demandeur de l'autorisation est<br>l'installation industrielle de plus de 20mW<br>telle que visée aux articles 2 et 3 | CAS N° 2 :<br>Le demande de l'autorisation est<br>l'installation de production d'énergie de<br>plus de 20 mW sur réseau telle que visée<br>aux articles 2 et 3 |
|-----------------------------|---|--|--|
| Caractéristiques techniques | Moyen de transport de la chaleur (eau chaude, vapeur...)                      | X  | X  |
|                             | Longueur totale de l'infrastructure de distribution de la chaleur (km)        | X  | X  |
|                             | Puissance maximale de la demande de chaleur (MW)                              | X  | X  |
|                             | Quantité annuelle de chaleur fournie par la source de chaleur à l'utilisateur | X  | X  |
|                             | Rendement des chaudières du réseau  |  | X  |
|                             | Combustible évité (MWh)   |  | X  |
|                             | Scénarios alternatifs étudiés   | X  | X  |
| Paramètres économiques      | Taux d'actualisation  | X<br>Fixé par arrêté   | X<br>Fixé par arrêté   |
|                             | Durée considérée pour l'analyse économique (années)                           | X<br>Fixé par arrêté   | X<br>Fixé par arrêté   |
| Prix de l'énergie           | Prix du combustible (€/MWh) et taux d'inflation annuel (%)                    |  | X<br>Fixé par arrêté   |
|                             | Prix de vente de la chaleur (€/MWh) et taux d'inflation annuel (%)            | X  |  |
|                             | Prix d'achat de la chaleur (€/MWh) et taux d'inflation annuel (%)             |  | X  |
| Coûts                       | Investissement pour l'installation produisant la chaleur                      | X  | X  |
|                             | Investissement pour l'infrastructure de distribution de la chaleur            | X  | X  |
|                             | Dépenses d'exploitation pour l'installation de production de chaleur          | X  |  |
|                             | Dépenses d'exploitation pour l'infrastructure de distribution                 | X  | X  |
|                             | Inflation annuelle des dépenses d'exploitation (%)                            | X<br>Fixé par arrêté   | X<br>Fixé par arrêté   |
|                             | Coût d'achat de la chaleur (€)  |  | X  |
| Bénéfices                   | Economies de combustible (€)  |  | X  |
|                             | Vente de chaleur (€)  | X  |  |
|                             | Niveaux de soutien (€)  | X  | X  |
| Externalité                 | Valorisation du prix de la tonne de CO <sub>2</sub> évitée (€)                | X<br>Fixé par arrêté   | X<br>Fixé par arrêté   |

Les valeurs retenues pour l'analyse coûts-avantages sont les suivantes :

Taux d'actualisation : 7,5 %.

Durée considérée pour l'analyse économique : 20 ans.

Taux d'inflation annuel : 1 %.

Prix du combustible : l'exploitant prendra comme référence les prévisions de l'Agence internationale de l'énergie (AIE).

## Analyse coûts avantages

L'analyse intègre une valorisation du prix de la tonne de dioxyde de carbone évitée : le prix de la tonne de CO<sub>2</sub> est fixé conformément au scénario EU trend 2050 de la commission européenne tel que rappelé dans le tableau suivant.

Tableau 4 : Rappel sur le prix de la tonne de CO<sub>2</sub> à considérer

|      |       |
|------|-------|
| 2015 | 5 €   |
| 2020 | 10 €  |
| 2025 | 14 €  |
| 2030 | 35 €  |
| 2035 | 57 €  |
| 2040 | 78 €  |
| 2050 | 100 € |

Entre deux dates du tableau ci-dessus, le prix de la tonne de CO<sub>2</sub> est fixé par interpolation linéaire.

La période retenue est déterminée de manière à inclure l'ensemble des coûts et avantages pertinents des scénarios. Les durées d'amortissement sont donc les suivantes :

- ❖ 30 ans pour le réseau de chaleur<sup>1</sup>,
- ❖ 20 ans pour les équipements de chauffage tels que les chaudières, échangeurs, etc.

## 5.2. Évaluation des investissements

Les investissements du scénario 1 (livraison au réseau de chaleur CPCU) sont détaillés dans le tableau suivant. Les deux lignes de l'UVE sont équipées selon la solution 1 décrite précédemment pour ce scénario.

Tableau 5 : Détail des investissements du scénario 1

| <b>Chiffrage préliminaire de la valorisation</b> |                  |          |
|--|------------------|----------|
| ECO externe                                      | 900 000          | €        |
| Gaines / registres                               | 600 000          | €        |
| Génie civil                                      | 900 000          | €        |
| Electricité Contrôle Commande                    | 300 000          | €        |
| Installations de chantiers                       | 200 000          | €        |
| Mise en service                                  | 30 000           | €        |
| <b>Total par ligne</b>                           | <b>2 930 000</b> | <b>€</b> |

L'UVE étant déjà raccordée au réseau CPCU, aucun montant d'investissement n'a été considéré pour le raccordement au réseau de chaleur.

<sup>1</sup> Une durée de 30 ans a également été considérée pour le génie civil  
IP-14-064-BG-A-ETU-U0-0015-B0

## Analyse coûts avantages

Tableau 6 : Synthèse des investissements du scénario 1

|  |           |     |
|--|-----------|-----|
| <b>Total investissements équipements</b> | 4 060 000 | €   |
| <b>Total investissements génie civil</b> | 1 800 000 | €   |
| <b>Total</b>                             | 5 860 000 | €   |
| Amortissement équipements                | 20        | ans |
| Amortissement génie civil                | 30        | ans |

### 5.3. Évaluation des coûts d'exploitation

Les coûts d'exploitation sont détaillés dans le tableau suivant.

Tableau 7 : Détail des coûts d'exploitation du scénario 1

|  |        |       |
|--|--------|-------|
| Electricité  |        |       |
| Puissance pompe fluide caloporteur                           | 50     | kW    |
| Consommation électrique de la valorisation de chaleur fatale | 24 000 | €/an  |
|  | 0.06   | €/kWh |
| Gros entretien rénovation                                    | 2.0%   | %     |
|  | 60 000 | €/an  |
| Total exploitation   | 84 000 | €/an  |

### 5.4. Évaluation des aides

Un tel système de valorisation d'énergie fatale peut faire l'objet d'une aide à l'investissement, notamment dans le cadre du fond chaleur.

#### 5.4.1 Détail du mode de calcul des aides

##### 5.4.1.1 Périmètre d'éligibilité

Le périmètre d'éligibilité est alors le suivant :

- ❖ le système de captage de chaleur (ici les échangeurs),
- ❖ le transport, la distribution et la valorisation de chaleur (tuyauteries, canalisation, échangeurs...), pour une valorisation en interne ou en externe.

Une fois la consommation électrique déduite, le projet doit présenter un gain en énergie primaire. Le facteur de correction pour passer de l'énergie finale en énergie primaire pour l'électricité est de 2,58.

Dans le cas de la récupération de chaleur sur unités d'incinération (UIOM), donc de l'UVE, sont éligibles :

- ❖ le système de récupération de chaleur fatale basse température, notamment au niveau des fumées ou des aérocondenseurs,

## Analyse coûts avantages

- ❖ le système de récupération de chaleur résiduelle dans les unités d'incinération qui disposent déjà de cogénération, à condition de démontrer une amélioration de la performance énergétique de l'installation après opération, calculée selon la formule EEMA (Efficacité Énergétique Moyenne Annuelle) explicité ci-après.

### Modalités de calcul de EEMA:

$$EEMA = ((Eth + E\acute{e}lect) / Eentr\acute{e}e) \times 100$$

- Eth est l'énergie thermique valorisée (injectée dans le réseau de chaleur ou valorisée autrement que par la production d'électricité).
- Eélect est l'énergie électrique produite nette
- Entrée est l'énergie en entrée de centrale calculée sur la base du pouvoir calorifique inférieur des entrants.

### 5.4.1.2 Seuils prioritaires d'instruction

Les projets permettant une valorisation d'énergie thermique supérieure à 1 GWh/an (soit 85 tep/an) seront instruits prioritairement.

Par ailleurs, dans le cas spécifique de la récupération d'énergie thermique sur unités d'incinération, l'ADEME préconise l'atteinte d'une EEMA supérieure à 70 % après opération.

### 5.4.1.3 Étude énergétique préalable

Une étude énergétique préalable récente (moins de deux ans) devra avoir obligatoirement été menée pour le dépôt d'une demande d'aides.

Sous la forme d'un diagnostic énergétique ou d'une étude de faisabilité<sup>1</sup>, elle doit porter sur les éléments visés par le projet (procédés, bâtiment...), ainsi que sur tous les autres éléments du site en interaction sur le plan énergétique avec lesdits éléments voire sur une potentielle valorisation de la chaleur à l'extérieur du site, afin de :

- ❖ caractériser le gisement de chaleur fatale,
- ❖ faire un état des lieux sur les besoins énergétiques du site,
- ❖ identifier les actions d'économie d'énergie à mener et définir un plan d'actions,
- ❖ définir la meilleure stratégie de valorisation de chaleur ainsi que le potentiel d'une solution de stockage, le tout en adéquation avec les besoins énergétiques identifiés.

Aide totale (AT) = aide à la récupération de chaleur fatale (AF) + aide au réseau (AR).

Chacune de ces deux aides dispose d'un mode de calcul spécifique :

- ❖ Aide au réseau (AR) : cf fiche « Fonds chaleur - Secteur Réseaux de chaleur »,
- ❖ Aide à la récupération de chaleur fatale (AF) : décrite ci-après.

L'aide pour une installation de récupération de chaleur fatale (AF) est définie sur la base des coûts éligibles du projet. Deux critères encadrent l'aide apportée :

- ❖ le taux d'aide maximum,
- ❖ le temps de retour brut sur investissement calculé après aide.

<sup>1</sup> Dans le cas d'un financement par l'ADEME, le diagnostic énergétique doit être conforme au cahier des charges de l'ADEME « Diagnostic et accompagnement énergie dans l'industrie »

Analyse coûts avantages

Figure 17 : Plafond des aides ADEME

|  |                 |   | Taux d'aide maximums<br>pour les opérations de diffusion   |
|--|-----------------|---|--|
| Système de captage de chaleur                          |                 |   | 30 % pour une grande entreprise<br>40 % pour une entreprise moyenne<br>50 % pour une petite entreprise   |
| Système de stockage et de remontée du niveau thermique |                 |   |  |
| Système de valorisation de chaleur                     |                 |   |  |
| Transport et distribution de chaleur                   | Interne au site | Tuyauteries/Canalisation/<br>Distribution<br>(hors réseau technique*) | Définis dans le document<br>«Fonds chaleur - Secteur Réseaux de<br>chaleur »<br><a href="http://www.ademe.fr/fondschaleur">www.ademe.fr/fondschaleur</a> |
|  |                 | Réseau technique*   |  |
|  | Externe         | Réseau de chaleur*  |  |

Le temps de retour brut après aides est défini par :

$$\text{Temps de retour brut après aide} = \frac{[\text{Surcoût de l'investissement} (\text{€ HTR}_0) - \text{Aide} (\text{€ HT})]}{\text{Gains annuels générés par l'investissement} (\text{€ HTR})}$$

L'investissement est porté par l'entreprise « productrice » de chaleur fatale :

$$\begin{aligned} \text{Gains annuels} &= \text{Économies d'énergie annuelles valorisées} \\ &= \text{Économies d'énergie du site [MWh]} \times \text{prix du combustible économisé [€/MWh]} \end{aligned}$$

Le porteur de projet devra expliciter le prix de l'énergie considérée. Le prix moyen de l'énergie pour l'investissement considéré doit être calculé au minimum sur une période de 12 mois précédant l'engagement du projet (date de demande d'aide).

### 5.4.2 Estimation des aides

Sur la base des éléments précédents, le montant des aides a été évalué pour le scénario 1.

| Selon fond chaleur |                  | Unité | Scénario 1 : valorisation de chaleur fatale sur le réseau CPCU |
|--------------------|------------------|-------|--|
| Volet UIOM         | 20% <sup>1</sup> | %     | 1 172 000 €  |
| Volet réseau       | 500              | €/ml  | 0 €  |

**Toutefois, l'ensemble des calculs financiers suivants concernant la VAN ne tient pas compte des aides potentielles.**

<sup>1</sup> Hypothèse sur la base d'un plafond à 30%  
IP-14-064-BG-A-ETU-U0-0015-B0

Analyse coûts avantages

### 5.5. Évaluation des gains liés à la réduction d'émissions de CO<sub>2</sub>

Les données de base sont détaillées dans le tableau suivant.

Tableau 8 : Détail des données de gain CO<sub>2</sub> sur le scénario 1 (réseau CPCU)

|                      |       |                       |
|----------------------|-------|-----------------------|
| Mix réseau CPCU      | 218   | gCO <sub>2</sub> /kWh |
| Gain CO <sub>2</sub> | 5 951 | tCO <sub>2</sub> /an  |

Les revenus liés à la taxe CO<sub>2</sub> sont détaillés dans le tableau suivant.

Tableau 9 : Revenus liés aux gains CO<sub>2</sub> sur le scénario 1 (réseau CPCU)

|                            |                    |        |        |         |         |         |         |         |
|----------------------------|--------------------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Prix tonne CO <sub>2</sub> | €/tCO <sub>2</sub> | 10     | 14     | 35      | 57      | 78      | 89      | 100     |
| Année                      |                    | 2020   | 2025   | 2030    | 2035    | 2040    | 2045    | 2050    |
| Revenu                     | €/an               | 59 514 | 83 320 | 208 299 | 339 230 | 464 209 | 529 675 | 595 140 |

### 5.6. Évaluation des coûts complets de valorisation de la chaleur fatale

Le détail des coûts complets est donné dans le tableau suivant.

Tableau 10 : Coûts complets de valorisation de la chaleur fatale au réseau de chaleur CPCU

|  |            |              |
|--|------------|--------------|
| Énergie livrée   | 27300      | MWh/an       |
| Investissements  |            |              |
| Investissement EM                                      | 203 000    | €/an         |
| Investissement GC                                      | 60 000     | €/an         |
| Total investissements                                  | 263 000    | €/an         |
| Montant investissement dans prix de revient            | 9.6        | €/MWh        |
| Aide fond chaleur                                      |            |              |
| Investissement corrigé EM                              | 144 400    | €/an         |
| Investissement corrigé GC                              | 60 000     | €/an         |
| Total investissements                                  | 204 400    | €/an         |
| Montant investissement dans prix de revient avec aides | 7.5        | €/MWh        |
| Taxe CO <sub>2</sub>                                   | 2030       |              |
| Montant taxe CO <sub>2</sub>                           | 7.6        | €/MWh        |
| Exploitation   |            |              |
| Montant exploitation annuel                            | 3.1        | €/MWh        |
| <b>Prix de revient global hors aides</b>               | <b>5.1</b> | <b>€/MWh</b> |
| <b>Prix de revient global avec aides</b>               | <b>2.9</b> | <b>€/MWh</b> |

## Analyse coûts avantages

En 2014, le prix moyen de vente de la chaleur en France est de 71,7 €/MWh hors taxes, le prix médian étant 76,8 €/MWh. Toutes taxes comprises, le prix moyen est de 82,5 €/MWh, la médiane se situe à 84,4 €/MWh.

**Un prix de vente de 65 €/MWh a été considéré pour les calculs suivants.** Cette hypothèse est sécuritaire car sur l'horizon de 30 ans demandé, le prix de l'énergie selon l'Agence Internationale de l'Energie (AIE) va augmenter, donc le prix de vente également.

### 5.7. Calcul de la VAN (Valeur Actualisée Nette)

#### 5.7.1 Description de la méthode

La VAN consiste à calculer la valeur actualisée des différents flux financiers sur la durée projet du projet en intégrant l'investissement initial. Ce calcul permet ainsi de déterminer le gain financier pendant la durée de vie du projet pour un taux d'actualisation donné.

Une VAN positive indique que l'investissement peut être rentabilisé. Cet indicateur permet de déterminer la pertinence d'un projet d'investissement. Cependant, la VAN reste un outil d'évaluation prévisionnel basé sur des informations restant difficiles à prévoir car il faut être capable de prévoir les recettes et les charges liées au projet sur toute sa durée de vie.

$VAN = - \text{Investissement} + \text{somme du cash-flow actualisé sur la durée de vie}$

Afin d'illustrer l'intérêt de la VAN, prenons l'exemple suivant avec un taux d'actualisation de 10%.

| Projet 1                              | Année 0   | Année 1 | Année 2 | Année 3 | Année 4 | Année 5 | Total              |
|---------------------------------------|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|--------------------|
| Coût d'investissement                 | - 2 000 € |         |         |         |         |         | - 2 000 €          |
| Economies d'énergie                   |           | 1 000 € | 1 000 € | 1 000 € | 0 €     | 0 €     | 3 000 €            |
| Cash-flow brut                        | - 2 000 € | 1 000 € | 1 000 € | 1 000 € | 0 €     | 0 €     | 1 000 €            |
| Facteur d'actualisation (taux de 10%) | 1,00      | 0,91    | 0,83    | 0,75    | 0,68    | 0,62    |                    |
| Cash-flow actualisé                   | - 2 000 € | 909 €   | 826€    | 751 €   | 0 €     | 0 €     | <b>VAN = 487 €</b> |

La ligne « facteur d'actualisation » correspond au ratio « valeur réelle / valeur future » pour le taux d'actualisation considéré (10%). Il est possible de retrouver le résultat de l'exemple précédent : la valeur réelle de 1000€ dans 5 ans est égale à  $1000€ \times 0,62$  soit 620€.

La ligne « Cash-flow actualisé » correspond aux valeurs actuelles du cash-flow brut. Cette dernière correspond au produit du cash-flow brut et du facteur d'actualisation.

Sur une durée de 5 ans, le projet 1 rapporte :

- ❖ 1 000€ (somme brute du cash-flow),
- ❖ 487€ (somme du cash-flow actualisé avec un taux d'actualisation de 10% : 487€ correspond à la VAN (valeur actualisée nette) du projet 1 pour un taux d'actualisation de 10%.

## Analyse coûts avantages

### 5.7.2 Calcul de la VAN pour le scénario 1

Le calcul est détaillé en annexe (cf. § 8.2. )

## 5.8. Calcul du TRI (Taux de Rentabilité Interne)

### 5.8.1 Description de la méthode

Le TRI (taux de rentabilité interne) d'un investissement est l'élément qui permet d'en mesurer sa performance. Il constitue donc un outil de décision à l'investissement : un investissement sera considéré comme rentable si le TRI est supérieur aux exigences de rentabilité de l'entreprise.

Le TRI correspond au taux pour lequel le calcul de la VAN (valeur actualisée nette) d'un projet sur sa durée de vie est nul. Plus ce taux est élevé, plus l'investissement sera considéré comme rentable.

Afin d'illustrer l'utilisation d'un TRI, reprenons l'exemple précédent :

Comme illustré précédemment, le projet 1 est considéré comme rentable sur la base d'un taux d'actualisation de 10% puisque sa VAN reste positive.

Par contre, le projet 1 ne sera plus considéré comme rentable au-delà d'un taux d'actualisation de 23,5%, seuil à partir duquel la VAN est négative : 23,5% correspond donc au TRI du projet 1.

| Projet 1                                   | Année 0   | Année 1 | Année 2 | Année 3 | Année 4 | Année 5 | Total            |
|--|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|------------------|
| Coût d'investissement                      | - 2 000 € |         |         |         |         |         | - 2 000 €        |
| Economies d'énergie                        |           | 1 000 € | 1 000 € | 1 000 € | 0 €     | 0 €     | 3 000 €          |
| Cash-flow brut                             | - 2 000 € | 1 000 € | 1 000 € | 1 000 € | 0 €     | 0 €     | 1 000 €          |
| Facteur d'actualisation<br>(taux de 23,4%) | 1,00      | 0,81    | 0,66    | 0,53    | 0,43    | 0,35    |                  |
| Cash-flow actualisé                        | - 2 000 € | 811 €   | 657 €   | 533 €   | 0 €     | 0 €     | <b>VAN = 0 €</b> |

### 5.8.2 Calcul du TRI pour le scénario 1

Sur la base des simulations effectuées, le TRI du scénario 1 a été calculé. On arrive à un TRI de 31%.

Ce calcul montre que le scénario 1 est très intéressant. Ce scénario a d'ailleurs été intégré au projet d'UVE.

## Analyse coûts avantages

### 6. Analyse énergétique et environnementale

Outre la fourniture de vapeur sur le réseau de chaleur PCU, le scénario 1 que nous proposons présente des avantages environnementaux.

#### 6.1. Gain énergétique et émissions de gaz à effet de serre évitées

Il est intéressant de noter que la récupération de chaleur non valorisée et excédentaire d'une unité de valorisation énergétique de déchets – qui est une énergie renouvelable – se substitue à l'utilisation d'énergie fossile. Ceci contribue à réduire les émissions de CO<sub>2</sub>.

Le scénario étudié présente des gains énergétiques et d'émissions de gaz à effet de serre pour le projet d'UVE. Ces derniers sont résumés ci-après.

Tableau 11 : Synthèse des gains énergétiques et émissions de serre évitées du scénario 1

|   | Unité                | Scénario 1 |
|---|----------------------|------------|
| Énergie valorisée                         | MWh/an               | 27 300     |
| Émissions de gaz à effet de serre évitées | tCO <sub>2</sub> /an | 5 951      |

#### 6.2. Approvisionnement en énergie renouvelable des réseaux de chaleur

Commençons par souligner que sur le principe, la récupération et la valorisation de ressources cachées sont devenues une problématique majeure, aussi bien à l'échelle d'une usine que d'une ville ou d'un pays. En janvier 2013, la ville de Paris a d'ailleurs lancé un appel à contribution pour identifier des possibilités de valorisation de ses ressources cachées. Cette initiative s'inscrivait dans une réflexion sur la ville intelligente et durable. D'un point de vue plus technique, récupérer de la chaleur dans les fumées entraîne une réduction des rejets thermiques de l'activité de valorisation énergétique des déchets. Ce point paraît essentiel dans un contexte de sensibilisation au phénomène de réchauffement climatique, en particulier dans une ville de l'ampleur de Paris.

**Le Plan Climat de la Ville de Paris a fixé des objectifs élevés en matière d'approvisionnement des réseaux de chaleur en ENR : 60 % en 2020.**

Le Schéma Régional Air Climat Energie (SRCAE) a fixé des objectifs élevés en matière d'approvisionnement des réseaux de chaleur en ENR : **l'objectif est de faire passer de 30 à 50 % la part de la chaleur distribuée par les réseaux de chaleur à partir d'énergies renouvelables et de récupération, d'ici 2020**, notamment en :

- ❖ **Augmentant de 20 % de la chaleur issue des UIOM,**
- ❖ Multipliant par 2 de la production géothermique,
- ❖ Augmentant de la production des chaufferies biomasse pour atteindre un niveau comparable à la géothermie.

## Analyse coûts avantages

### 7. Synthèse

Sur la base des critères de l'arrêté du 9 décembre 2014, les projets jugés satisfaisants d'un point de vue coûts-avantages sont ceux dont le total des avantages escomptés dans l'analyse économique et financière est supérieur à celui des coûts escomptés (surplus des coûts-avantages).

**Le scénario 1 étudié dans la présente analyse coûts - avantages répond à ce critère.**

Une synthèse des 3 critères de l'analyse coûts / avantages est présentée dans le tableau suivant.

*Tableau 12 : Synthèse des résultats de l'analyse coûts avantages du scénario 1 étudié*

|            | <b>Scénario 1 : livraison de chaleur sur le réseau CPCU</b> |
|------------|---|
| Économique | ☺ (TRI de 31%)  |
| Droit      | ☺ (pas de problématique identifiée)                         |
| Propriété  | ☺ (pas de problématique identifiée)                         |

Le scénario 1 a donc été implémenté dans le projet de l'UVE.

## **8. Annexes**

### **8.1. Éléments du dossier d'aides fond chaleur**

## Analyse coûts avantages

Chaleur Fatale Fds Chal 2017 06-04-17



### 5 ANNEXE : SECTEUR CHALEUR FATALE / FICHE D'INSTRUCTION

#### Éléments à fournir par le porteur de projet

##### 1- CADRE DE L'OPÉRATION :

###### a. Caractéristiques globales de l'opération :

- Lieu d'implantation : ville, département d'implantation du projet
- Description de l'activité du site
- Secteur d'activité du maître d'ouvrage (code APE)
- Acteurs du projet : indiquer un schéma de l'organisation dans le cas d'une organisation complexe (synoptique présentant les rôles et relations des intervenants sur le projet, historique de la délégation et éléments divers si l'information est utile à la compréhension de l'opération).

###### b. Description du site

- Procédés de production
- Moyens actuels de production et de distribution d'énergie
- Préciser le périmètre des installations concernées par la demande d'aide (récupération et valorisation).

###### c. Démarche d'économie d'énergie et description des besoins thermiques actuels et futurs

- Indiquer le **plan d'actions d'économie d'énergie** : descriptif, le cas échéant, des travaux d'économie d'énergie prévus sur les procédés concernés par le projet.
- **Décrire les besoins thermiques actuels et futurs**, en faisant apparaître **l'impact des actions d'économie d'énergie** planifiées.

⇒ Ces données devront s'appuyer sur les études récentes (*moins de deux ans*) menées sur ce sujet (à joindre obligatoirement) : **diagnostic énergétique et/ou l'étude de faisabilité<sup>10</sup> mené(e) sur** les éléments visés par le projet (procédés, bâtiment...), ainsi que sur tous les autres éléments du site en interaction sur le plan énergétique avec lesdits éléments.

⇒ Dans le cas d'une valorisation sur un réseau, cette partie sera complétée avec les éléments demandés dans la *fiche d'instruction « Fonds chaleur - Secteur Réseaux de chaleur »* [www.ademe.fr/fondschaleur](http://www.ademe.fr/fondschaleur), et s'appuiera sur une étude de faisabilité **création ou extension de réseau de chaleur<sup>11</sup>**.

###### d. Calendrier

Indiquer les grandes étapes du projet ainsi que les dates prévisionnelles clés (démarrage travaux, mise en service...).

##### 2- DESCRIPTIF TECHNIQUE DE LA SOLUTION DE RÉCUPÉRATION DE CHALEUR FATALE

###### a. Description de la source de chaleur fatale

Préciser notamment la nature (gazeux, liquide, diffus), la disponibilité sur une année, la température, le débit...

###### b. Description des besoins couverts par le projet de récupération de chaleur fatale

Préciser :

- l'usage de chaleur fatale (chauffage des bureaux, autres procédés du site, chauffage de locaux),
- l'énergie (nature et quantité annuelle) substituée par la chaleur fatale.
- le taux de couverture des besoins par l'énergie de récupération.

<sup>10</sup> Le guide pour la rédaction d'un cahier des charges « étude de faisabilité récupération de chaleur fatale » sera disponible sur [www.diagademe.fr](http://www.diagademe.fr) dès février 2017.

<sup>11</sup> 2 documents de référence pour mener une étude de faisabilité réseau de chaleur :

- schéma guide de création d'un réseau de chaleur, document ADEME/AMORCE 2011 (mise à jour prévue début 2017) et son annexe 2 « Cahier des charges d'une faisabilité réseau de chaleur »
- schéma directeur de développement du réseau suivant le *guide d'établissement des schémas directeurs ADEME/AMORCE* mis à jour en 2016 : Les phases diagnostic et comité de pilotage, concertation des abonnés/usagers ont en particulier été renforcées.

## Analyse coûts avantages

Chaleur Fatale Fds Chal 2017 06-04-17



### c. Plan de financement

Le candidat précisera le type de montage financier envisagé pour le projet (fonds propre, emprunts, crédit bail, ...) ainsi que l'organisation des acteurs sur les plans juridique et financier.

Dans le cas des prêts verts ou de dispositifs équivalents, le candidat précisera la subvention équivalente.

En particulier, si le candidat à l'intention de créer une société dédiée au projet, il doit le mentionner dans le dossier de candidature et en justifier l'intérêt. Il doit apporter des garanties sur la solidité financière et en fournir les statuts.

| Financeurs                         | Montants financés en € | % / coût total opération |
|------------------------------------|------------------------|--------------------------|
| Subvention ADEME                   | Xxx xxx €              | xx%                      |
| Subvention région                  | Xxx xxx €              | xx%                      |
| Subvention FEDER                   | Xxx xxx €              | xx%                      |
| Subvention autre                   | Xxx xxx €              | xx%                      |
| <b>Total subventions publiques</b> | <b>Xxx xxx €</b>       | <b>xx%</b>               |
| Montant du financement bancaire    | Xxx xxx €              | xx%                      |
| Emprunt intra groupe               | Xxx xxx €              | xx%                      |
| Autofinancement                    | X Xxx xxx €            | xx%                      |
| <b>TOTAL</b>                       | <b>X xxx xxx €</b>     | <b>100%</b>              |

## Analyse coûts avantages

Chaleur Fatale Fds Chal 2017 06-04-17



L'installation et l'exploitation du compteur devront respecter les mêmes modalités que les installations biomasse accompagnées par le Fonds Chaleur, répertoriées dans le cahier des charges de l'ADEME « Suivi à distance de la production d'énergie thermique ». Ce cahier des charges est disponible sur [www.ademe.fr/suivi-a-distance-production-denergie-thermique-installations-biomasse-energie](http://www.ademe.fr/suivi-a-distance-production-denergie-thermique-installations-biomasse-energie).

### 3- DESCRIPTIF FINANCIER DE LA SOLUTION DE RÉCUPÉRATION DE CHALEUR FATALE

#### a. Définition des coûts d'investissement :

La décomposition complète des montants d'investissement depuis les éléments de captage jusqu'au réseau de chaleur (unités, quantités, coûts unitaires et coût totaux).

| Détails des coûts  | Montant des dépenses (€ HTR) |
|--|------------------------------|
| Système complet de captage de chaleur  |                              |
| Système de valorisation  |                              |
| Système de remontée du niveau de température                                   |                              |
| Système de stockage  |                              |
| Système de comptage  |                              |
| Transport de chaleur (tuyauteries / canalisation / distribution) <sup>13</sup> |                              |
| Ingénierie   |                              |
| Autre (à préciser)   |                              |
| <b>TOTAL</b>   |                              |

#### b. Autres données économiques

Préciser les gains annuels générés par l'investissement (€HT). Deux cas seront distingués :

- Cas 1 : L'investissement est porté par l'entreprise « productrice » de chaleur fatale :

Gains annuels = Economies d'énergie annuelles valorisées  
 = Economies d'énergie du site [MWh] × prix du combustible économisé [€/MWh]

⇒ Le porteur de projet devra expliciter le prix de l'énergie considérée. Le prix moyen de l'énergie pour l'investissement considéré doit être calculé au minimum sur une période de 12 mois précédant l'engagement du projet (date de demande d'aide).

*Dans ce cas, joindre obligatoirement une copie des factures.*

- Cas 2 : L'investissement est porté par un tiers :

Gains annuels = Chaleur fatale valorisée vendue annuellement à l'entreprise utilisatrice  
 = Chaleur valorisée par le site [MWh] × prix de la chaleur [€/MWh]

⇒ Le porteur de projet devra expliciter le prix de la chaleur sur la durée considérée pour le calcul du temps de retour.

*Dans ce cas, joindre une lettre d'engagement ou un contrat entre le tiers investisseur et l'entreprise « productrice » de chaleur fatale attestant de ce prix de vente.*

*Dans le cas d'une réalisation couplant une installation de récupération de chaleur fatale avec un réseau de chaleur (voir définition au 1.2), indiquer :*

- *Le prix de la chaleur récupérée injectée dans le réseau de chaleur, en joindre le protocole de cession de chaleur fatale et explication de la décomposition du prix (investissements, maintenance),*
- *Le prix de la chaleur vendue, et joindre le contrat ou pré contrat de vente et explication de la décomposition du prix (investissements, maintenance).*

<sup>13</sup> Dans le cas d'une réalisation couplant une installation de récupération de chaleur fatale avec un réseau technique (voir définition au 1.2), renseigner les coûts du réseau dans la fiche d'instruction « Fonds chaleur - Secteur Réseaux de chaleur » [www.ademe.fr/fondschaleur](http://www.ademe.fr/fondschaleur)

## Analyse coûts avantages

Chaleur Fatale Fds Chal 2017 06-04-17



### f. Synthèse des données techniques

| Résumé technique du système de récupération et de valorisation d'énergie       |  |
|--|--|
| Type d'énergie de récupération   | <ul style="list-style-type: none"> <li>o Chaleur fatale : gazeux, liquide, diffus / tout secteur (Industrie, data centers, UIOM, UIDD, STEP...)</li> <li>o Gaz fatal : gaz sous-produit par le procédé et énergétiquement valorisable (CO, gaz de four à coke, gaz de four à arc, H2...) inclus l'énergie de détente du gaz</li> </ul> |
| Secteur d'activité du vendeur de chaleur <sup>12</sup>                         | Industrie dite manufacturière<br>(Chimie, Papiers-cartons, métaux, agro-alimentaire, matériaux non métalliques, autres secteurs industriels...)<br>Secteur du raffinage<br>UIOM / UVE./ UIDD<br>STEP<br>Data-centers<br>Autre tertiaire, préciser  |
| Puissance thermique récupérée  | en MW  |
| Température du gisement de chaleur   | °C   |
| Quantité de chaleur fatale valorisée (point de livraison ou en entrée PAC/CMV) | MWh/an   |
| Remontée du niveau thermique   | OUI / NON (supprimer les 2 lignes ci-dessous)  |
| Nature du compresseur  | Electrique ou gaz naturel  |
| Consommation du compresseur  | MWh/an   |
| Création ou extension d'un réseau de chaleur (chauffage de bureaux ou externe) | OUI / NON  |
| Nombre de tonnes équivalent CO <sub>2</sub> évitées                            | teqCO <sub>2</sub> /an   |

Joindre obligatoirement un schéma de principe lisible (A3 ou A4) du système de récupération de chaleur avec les bilans énergétiques, les compteurs d'énergie et le cas échéant les systèmes de stockage / remontée température.

⇒ Dans le cas du remplacement d'un équipement de récupération existant :

| Résumé technique de l'équipement  | Equipement Actuel | Equipement Futur |
|---|-------------------|------------------|
| Puissance thermique récupérée   | MW                | MW               |
| Quantité de chaleur valorisée (point de livraison ou en entrée PAC/CMV) | MWh/an            | MWh/an           |

Dans le cas d'une réalisation couplant une installation de récupération de chaleur fatale avec un réseau technique (voir définition au 1.2), renseigner également la fiche d'instruction « Fonds chaleur - Secteur Réseaux de chaleur » [www.ademe.fr/fondschaleur](http://www.ademe.fr/fondschaleur)

### g. Système de comptage

Décrire le système de comptage destiné à assurer le suivi du fonctionnement et des performances des installations, et de vérifier la quantité d'énergie effectivement valorisée (cf. paragraphe 4).

Préciser sur le schéma de principe du système de récupération l'implantation des compteurs d'énergie.

<sup>12</sup> dans le cas où un tiers investisseur est le bénéficiaire de l'aide, on renseigne le secteur de l'industriel qui fournit la chaleur.

## Analyse coûts avantages

Chaleur Fatale Fds Chal 2017 06-04-17



- e. Bilan énergétique et environnemental du projet**
- Evaluation des gains énergétiques du projet. Ce bilan doit être réalisé en énergie primaire lorsqu'un système de remontée de niveau thermique est utilisé. Le facteur de correction pour passer de l'énergie finale en énergie primaire pour l'électricité est de 2,58.
  - Évaluation des gains en émission de gaz à effet de serre (CO<sub>2</sub> évitées), sur la base des facteurs de conversion de la BASE CARBONE de l'ADEME.

| Combustible                       | Total amont + combustion (kgCO <sub>2e</sub> par ... PCI) |       |      |      |       |
|-----------------------------------|---|-------|------|------|-------|
|                                   | GJ  | kWh   | tep  | kg   | litre |
| Pétrole brut                      | 79,5  | 0,286 | 3339 | 3,33 | 3,00  |
| Fioul domestique (FOD)            | 91,3  | 0,329 | 3837 | 3,84 | 3,24  |
| Fioul lourd (FOL)                 | 91,0  | 0,327 | 3820 | 3,64 | 3,27  |
| Essence pure                      | 88,3  | 0,318 | 3710 | 3,89 | 2,93  |
| Diesel / gazole pur               | 91,6  | 0,330 | 3845 | 3,85 | 3,25  |
| Butane                            | 75,0  | 0,270 | 3150 | 3,42 | 1,84  |
| Propane                           | 74,9  | 0,270 | 3146 | 3,45 | 1,85  |
| Kérosène (jet A ou A1)            | 86,7  | 0,312 | 3642 | 3,81 | 3,04  |
| Carburéacteur large coupe (jet B) | 86,7  | 0,312 | 3642 | 3,81 | 3,04  |
| Essence aviation (AvGas)          | 86,7  | 0,312 | 3642 | 3,81 | 3,04  |
| bitume                            | 89,9  | 0,324 | 3775 | 3,61 |       |
| Naphta                            | 85,2  | 0,307 | 3578 | 3,83 |       |
| Huile de schiste                  | 200,6   | 0,722 | 8424 | 8,82 |       |

**Facteurs d'émissions amont + combustion des combustibles fossiles liquides pour le périmètre France**

| Combustibles     | Total amont + combustion (tCO <sub>2e</sub> /TJ PCI) | Total amont + combustion (kg CO <sub>2e</sub> /kWh PCI) | Total amont + combustion (kg CO <sub>2e</sub> /Tep PCI) | Total amont + combustion (kg CO <sub>2e</sub> /t PCI) | Total amont + combustion (kg CO <sub>2e</sub> /litre) |
|------------------|--|---|---|---|---|
|                  |  |   |   |   |   |
| Fr.              | Gaz naturel  | 67  | 0,241   | 2807  | 3315  |
|                  | gaz naturel liquéfié                                 | 70  | 0,253   | 2950  | 3483  |
|                  | gaz naturel véhicule                                 | 70  | 0,250   | 2920  | 3448  |
|                  | gaz de haut fourneau                                 | 269   | 0,968   | 11288   | 618   |
|                  | gaz de cokerie                                       | 48  | 0,171   | 2006  | 1504  |
| Eur. Gaz naturel | 66   | 0,239   | 2783  | 3180  |   |

**Facteurs d'émissions amont et combustion des combustibles fossiles gazeux (tCO<sub>2e</sub>/ unité énergétique – PCI- , massique et volumique) pour le périmètre France et Europe**

Pour l'électricité : 53 kg de CO<sub>2</sub> / MWh

**Figure 4 : base des facteurs de conversion de la BASE CARBONE - ADEME**

Analyse coûts avantages

Chaleur Fatale Fds Chal 2017 06-04-17



**c. Description des équipements prévus**

- Système de captage,
- système de stockage de chaleur (horaire ou journalier) / remontée de température,
- transport et distribution,
- valorisation.

Préciser les principales caractéristiques techniques des équipements envisagés (rendements, matériaux, fluide...) ainsi que le nom des équipementiers pressentis pour le projet.

**d. Dans le cas spécifique de la récupération de chaleur fatale sur unités d'incinération (UIOM et UIDD)**

**Sur le volet « déchets », préciser :**

**Pour les Unités d'Incinération des Ordures Ménagères (UIOM)**

- La répartition et l'origine des déchets actuellement incinérés, et son évolution attendue, date de construction, principales étapes de développement et d'investissements passés, régime juridique d'exploitation, ainsi qu'une validation de la conformité de l'utilisation de l'UIOM avec les plans "déchets" départementaux ou régionaux.
- le volume de déchets incinérés et le mix déchets (OMR, DAE, Boues de STEP, DASRI),
- le nombre d'habitants de référence
- le ratio kg/hab d'OMR incinérées
- une projection sur 12 ans qui correspond à la durée prévue pour les plans régionaux de gestion des déchets (6 ans + 6 ans de perspective) du volume et du mix, Nb hab et ratio kg/hab

**Pour les Unités d'Incinérations de Déchets Dangereux (UIDD)**

- La répartition et l'origine des déchets actuellement incinérés, et son évolution attendue, date de construction, principales étapes de développement et d'investissements passés, régime juridique d'exploitation,
- le volume de déchets incinérés et le mix déchets (dangereux, non dangereux le cas échéant)

**Sur le volet « énergétique », préciser :**

- le type de turboalternateur existant : à contre pression ou à condensation ainsi que les courbes constructeurs,
- le schéma de principe d'utilisation de la vapeur au sein de l'unité d'incinération faisant apparaître les débits de vapeur soutirés en sortie ainsi qu'à l'entrée (en sortie de chaudières),
- les bilans de vapeur (entrée, sortie, soutirage ... ..).

**Bilan énergétique :** dresser le bilan énergétique annuel de l'unité d'incinération avant et après opération, intégrant notamment :

- l'éventuelle perte de production électrique annuelle (avec détail sur le soutirage de débits de vapeur pris en compte) et l'impact économique associé
- le calcul du R1 et de l'EEMA : leur signification et les hypothèses de calcul avant et après travaux

Spécifiquement pour les UIOMs :

- l'impact potentiel sur la TGAP de l'optimisation énergétique de l'UIOM

|  | Avant opération | Après opération |
|--|-----------------|-----------------|
| <b>Energie contenue dans les déchets (issue du PCI pris en compte)</b> |                 |                 |
| <b>Energie électrique produite</b>                                     |                 |                 |
| vendue   |                 |                 |
| Autoconsommée  |                 |                 |
| <b>Energie thermique produite</b>                                      |                 |                 |
| vendue   |                 |                 |
| Autoconsommée  |                 |                 |
| <b>Rendement global (EEMA - cf. 2.2.4)</b>                             |                 |                 |
| <b>R1</b>  |                 |                 |

Analyse coûts avantages

8.2. Détail du calcul de la VAN

| Scénario 1 : alimentation réseau CPCU | Année | 2023       |           |           | 2025      |           |           |
|---------------------------------------|-------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                                       |       | 0          | 1         | 2         | 3         | 4         | 5         |
| Investissement                        | €     | 5 860 000  |           |           |           |           |           |
| Economies d'énergie                   | €     |            | 1 774 500 | 1 774 500 | 1 774 500 | 1 774 500 | 1 774 500 |
| Taxe CO2                              | €     |            | 76 178    | 82 129    | 83 320    | 108 315   | 133 311   |
| Cash flow brut                        | €     | -5 860 000 | 1 850 678 | 1 856 629 | 1 857 820 | 1 882 815 | 1 907 811 |
| Facteur d'actualisation               |       | 1.00       | 0.93      | 0.87      | 0.80      | 0.75      | 0.70      |
| Cash flow actualisé                   | €     | -5 860 000 | 1 721 561 | 1 606 602 | 1 495 472 | 1 409 853 | 1 328 902 |

| Scénario 1 : alimentation réseau CPCU | Année | 2030      |           |           | 2035      |           |           |
|---------------------------------------|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                                       |       | 6         | 7         | 8         | 9         | 10        | 11        |
| Investissement                        | €     |           |           |           |           |           |           |
| Economies d'énergie                   | €     | 1 774 500 | 1 774 500 | 1 774 500 | 1 774 500 | 1 774 500 | 1 774 500 |
| Taxe CO2                              | €     | 158 307   | 183 303   | 208 299   | 234 485   | 260 671   | 286 857   |
| Cash flow brut                        | €     | 1 932 807 | 1 957 803 | 1 982 799 | 2 008 985 | 2 035 171 | 2 061 357 |
| Facteur d'actualisation               |       | 0.65      | 0.60      | 0.56      | 0.52      | 0.49      | 0.45      |
| Cash flow actualisé                   | €     | 1 252 385 | 1 180 075 | 1 111 760 | 1 047 853 | 987 453   | 930 380   |

| Scénario 1 : alimentation réseau CPCU | Année | 2035      |           |           | 2040      |           |           |
|---------------------------------------|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                                       |       | 12        | 13        | 14        | 15        | 16        | 17        |
| Investissement                        | €     |           |           |           |           |           |           |
| Economies d'énergie                   | €     | 1 774 500 | 1 774 500 | 1 774 500 | 1 774 500 | 1 774 500 | 1 774 500 |
| Taxe CO2                              | €     | 313 044   | 339 230   | 364 226   | 389 222   | 414 217   | 439 213   |
| Cash flow brut                        | €     | 2 087 544 | 2 113 730 | 2 138 726 | 2 163 722 | 2 188 717 | 2 213 713 |
| Facteur d'actualisation               |       | 0.42      | 0.39      | 0.36      | 0.34      | 0.31      | 0.29      |
| Cash flow actualisé                   | €     | 876 464   | 825 542   | 777 028   | 731 264   | 688 104   | 647 407   |

| Scénario 1 : alimentation réseau CPCU | Année | 2040      |           |           | 2045      |           |           |
|---------------------------------------|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                                       |       | 18        | 19        | 20        | 21        | 22        | 23        |
| Investissement                        | €     |           |           |           |           |           |           |
| Economies d'énergie                   | €     | 1 774 500 | 1 774 500 | 1 774 500 | 1 774 500 | 1 774 500 | 1 774 500 |
| Taxe CO2                              | €     | 464 209   | 477 302   | 490 395   | 503 488   | 516 582   | 529 675   |
| Cash flow brut                        | €     | 2 238 709 | 2 251 802 | 2 264 895 | 2 277 988 | 2 291 082 | 2 304 175 |
| Facteur d'actualisation               |       | 0.27      | 0.25      | 0.24      | 0.22      | 0.20      | 0.19      |
| Cash flow actualisé                   | €     | 609 039   | 569 862   | 533 186   | 498 854   | 466 718   | 436 637   |

| Scénario 1 : alimentation réseau CPCU | Année | 2045      |           | Total      |
|---------------------------------------|-------|-----------|-----------|------------|
|                                       |       | 24        | 25        |            |
| Investissement                        | €     |           |           |            |
| Economies d'énergie                   | €     | 1 774 500 | 1 774 500 |            |
| Taxe CO2                              | €     | 542 768   | 555 861   |            |
| Cash flow brut                        | €     | 2 317 268 | 2 330 361 |            |
| Facteur d'actualisation               |       | 0.18      | 0.16      |            |
| Cash flow actualisé                   | €     | 408 482   | 382 130   | 16 663 015 |