

# Audit énergétique du réseau de chaleur des Hauts de Garonne

---

**Réalisation** : Ingévalor pour le compte de Bordeaux Métropole

**Date** : septembre 2017

**Cadre** : mission d'assistance à maîtrise d'ouvrage relative à la gestion de la fin des contrats de délégation du complexe technique de l'environnement de Bègles et du complexe thermique des Hauts de Garonne, et à la réalisation d'un schéma de référence technique et organisationnel pour la gestion des services publics de traitement des déchets ménagers et de chauffage urbain des Hauts de Garonne et au choix du mode de gestion.

## 1 SYNTHÈSE DES INDICATEURS DE FONCTIONNEMENT

Synthèse réseau de chaleur	Référence	Moyenne depuis 2011	Réalisé 2016	Commentaires
Puissance appelée	-		55 MW	<i>Puissance évaluée par calcul en attente données RDE. La marge de puissance disponible au niveau des moyens de production est correcte</i>
Taux de fuites réseau	< 5	> 20	30	 <i>Taux de fuites réseau anormalement élevé. De nombreux tronçons du réseau sont vétustes</i>
Taux d'ENR	50 %	79 %	77 %	 <i>Taux d'énergie renouvelable élevé grâce à la valorisation sur l'UVED et la fourniture par la chaufferie bois.</i>
Taux de déperditions thermiques	< 10 %	26 %	27 %	 <i>Taux de déperditions thermiques du réseau anormalement élevé. Le calorifuge du réseau est vétuste.</i>

## 2 POINTS FORTS ET POINTS DE VIGILANCE

Points forts	Points de vigilance
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Taux d'ENR élevé</li> <li>- Moyens de production de chaleur adéquats, marge de puissance disponible conséquente</li> <li>- Maillage du réseau permettant une continuité de fourniture en cas d'incident réseau</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Réseau de distribution vétuste : de nombreux tronçons sont à rénover</li> <li>- Performances thermiques très mauvaises dues à la vétusté des tuyauteries en place</li> </ul>

## 3 DESCRIPTIF DU RESEAU DE CHALEUR EXISTANT

### 3.1 Origine du réseau de chaleur

Le réseau de chaleur de Bordeaux Métropole a été construit en 1970 à l'origine de la construction de l'unité de traitement des déchets de Cenon.

Le réseau développé était alors un réseau fonctionnant en eau surchauffée (haute pression) avec les conditions de dimensionnement suivantes :

- Température départ eau surchauffée : 180°C
- Température retour eau surchauffée : 160°C
- Pression de service : 16 bars

Le réseau qui s'étend sur les communes de Cenon, Floirac et Lormont, est ainsi constitué de tuyauteries traditionnelles en caniveau :

- Caniveau en béton armé
- Tuyauterie acier calorifugées en laine de roche

En 2009, lors du renouvellement de la concession de chauffage urbain, le réseau de chaleur a donc été déclassé en basse pression et un certain nombre de travaux « adaptatifs » ont été réalisés :

- Rénovation de l'intégralité des sous stations abonnés
- Création de bouclages divers
- Création de liaisons de raccordement entre divers secteurs (chaufferie Ramade, Lormont).

Ces extensions de réseaux ont été réalisées en tuyauteries pré-isolées enterrées. Nous notons que lors du développement de ces extensions réseaux, l'exploitant n'a pas mis en œuvre le système de détection de fuites.

Le réseau dans sa configuration actuelle fonctionne sur un régime de température de 105/70°C.

### 3.2 Architecture du réseau de chaleur

Le réseau de chaleur de Cenon s'étend sur 23 km et dessert 114 sous-stations ce qui en fait un réseau relativement dense.

Le réseau se développe principalement sur les communes de Cenon et Lormont. Le réseau peut être séparé en deux parties principales séparées par l'Avenue Carnot : une partie Nord et une Partie Sud. Chaque partie dispose de moyens de production de chaleur :

- Le centre principal des hauts de Garonne sur la partie Sud
- La chaufferie de la Ramade et la chaufferie de secours de Lormont sur la partie Nord

Le réseau est constitué d'une antenne principale en DN350 qui dessert la quasi-totalité du réseau de chaleur : du centre des hauts de Garonne jusqu'à la partie Nord du réseau. De nombreux bouclages sont également existants sur les zones Nord et Sud permettant l'alimentation de plusieurs tronçons d'un côté ou de l'autre.

De nombreuses chambres de vannes sont également présentes sur le réseau de chaleur permettant d'isoler un certain nombre de tronçons.

Le réseau dessert de nombreuses sous stations produisant de l'eau chaude sanitaire (ECS) ce qui représente une véritable contrainte dans l'optique d'arrêts de réseau pour fuite ou rénovation.

### 3.3 Points de fourniture du réseau de chaleur

Actuellement, le réseau de chaleur est alimenté en chaleur via trois sources de production fixes ainsi que des moyens de production mobiles en cas d'urgence ou de fuite réseau.

#### Centre de production de Cenon :

C'est le point de fourniture principal du réseau de chaleur. La base de fourniture est assurée via un échangeur de récupération sur l'usine de valorisation des déchets ménagers qui assure une puissance de 22 MW en continu toute l'année (indépendamment d'arrêt de l'unité de valorisation énergétique - UVE).

La chaufferie de Cenon est également équipée de plusieurs générateurs :

- Chaudières gaz basse pression :
  - Nombre : 2
  - Marque : Buderus
  - Brûleur : CUENOD
  - Puissance unitaire : 19200 kW
  - mises en service : 2009
  
- Système de cogénération :
  - Turbine : ALLISON CX501 – KB7
  - Puissance électrique : 5 000 kW
  - Chaudière récupération : BABCOCK WANSON
  - Puissance thermique : 9 457 kW
- **Puissance totale centre production : 69 857 kW**



Figure 1: chaudières gaz CENON



Figure 2: cogénération CENON

Le centre de production principal de Cenon dispose ainsi d'une capacité de production de 69 857 kW. Ces installations sont récentes puisque rénovées au démarrage de la concession en 2009. Elles demeurent en bon état de fonctionnement.

La turbine de cogénération est utilisée uniquement en « dispatch » sur le marché libre. Elle n'est démarrée qu'à la demande d'EDF.

Deux autres productions de chaleur sont disponibles pour assurer le besoin en chaleur du réseau :

La chaufferie de La Ramade disposée à l'autre extrémité du réseau est constituée de :

- Chaudière biomasse :
  - Nombre : 1
  - Marque : COMPTE-R
  - Puissance : 5 500 kW



Figure 3: Parc à bois chaufferie La Ramade

La chaufferie est constituée d'un parc à bois aérien permettant une autonomie d'environ trois jours. Le parc se décompose en :

- Une fosse de dépotage enterrée
- Un parc à bois aérien géré par un ensemble pont/grappin
- Un silo actif avec échelles racleuses carrossables

- Chaudière gaz :
  - Nombre : 1
  - Marque : ATLANTIC GUILLOT
  - Brûleur : CUENOD
  - Puissance : 10 000 kW
- **Puissance total chaufferie : 15 500 kW**



Figure 4: chaudières gaz La Ramade

Cette chaufferie est également récente puisque mise en service en 2015. Les équipements peuvent être qualifiés de « neufs ».

Enfin, une chaufferie de secours « outdoor » est installée sur la commune de Lormont. Cette chaufferie, rénovée en 2009, est constituée de deux chaudières BABCOCK WANSON initialement prévues en eau surchauffée et déclassées en eau chaude. La puissance de cette chaufferie de secours est de 2 x 9 900 kW = 19 800 kW

La capacité totale de production sur le réseau de Cenon est d'environ 105 157 kW (hors chaufferies mobiles).

En complément des moyens de production « fixes », le réseau dispose de cinq chaufferies mobiles de secours d'une puissance unitaire de 1 650 kW.

Nous notons également que la sous station N°1 (réseau Carriet) dispose de sa propre production de chaleur et a donc la possibilité de s'effacer du réseau grâce à sa production.

### 3.4 Distribution du réseau de chaleur

#### 3.4.1 Système de pompage

La distribution de chaleur est assurée par le groupe de pompage présent dans la chaufferie des Hauts de Garonne. La chaufferie de la Ramade dispose également de son propre groupe de pompage

Les caractéristiques des groupes de pompage en place sont les suivantes :

- Chaufferie des Hauts de Garonne :
  - Marque : KSB
  - Référence : CPK s200/500
  - Nombre : 2
  - Année : 2008
  - Débit : 800 m<sup>3</sup>/h
  - HMT : 115 mCE

Le groupe de pompage est complété par une troisième pompe KSB WK300/250/2 ayant des caractéristiques différentes : 750 m<sup>3</sup>/h – 150 mCE.

- Chaufferie de la Ramade :
  - Marque : KSB
  - Référence : MCPK 125-100-315
  - Nombre : 2
  - Année : 2015
  - Débit : 270 m<sup>3</sup>/h
  - HMT : 125 mCE

Les groupes de pompage des chaufferies sont tous récents et en bon état de fonctionnement.

#### *3.4.2 Système de maintien de pression*

Chaque chaufferie est équipée d'un système de maintien de pression. Le système de maintien de pression principal est implanté sur le centre de production de Cenon.

Il est constitué de deux bâches de 32 m<sup>3</sup> unitaire. Ces bâches sont couplées à :

- Pompes de maintien de pression :
  - Marque : SIHI STERLING
  - Référence : MSLA50069
  - Nombre : 3 + 1 secours
  - Débit : 20 m<sup>3</sup>/h
  - HMT : 180 mCE
- Déverseurs :
  - Marque : Masoneillan
  - Référence : Varipak 1 type A182 GR F316
  - Nombre : 2

La chaufferie de la Ramade dispose également d'un système de maintien de pression de secours de marque Collard et Trolart mis en place en 2015.

### *3.5 Abonnés du réseau de chaleur*

Le réseau actuel de distribution de chaleur de Cenon permet d'alimenter 130 sous-stations clients délivrant aussi bien de la chaleur pour le chauffage que pour l'eau chaude sanitaire.

Les sous-stations, rénovées en 2009 lors du passage en basse pression du réseau, disposent d'une uniformité de la configuration hydraulique.

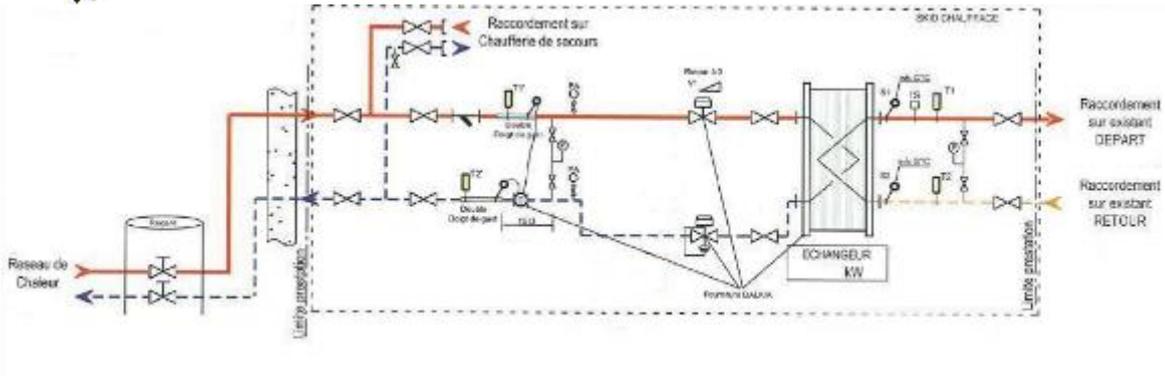


Figure 5: Sous-station chauffage seul

Le schéma de distribution en sous-station est classique :

- Echangeur à plaques
- Vanne de régulation deux voies
- Vanne d'équilibrage de pression et de réglage de débit
- Compteur d'énergie
- Robinetterie d'isolement et instrumentation

Une cinquantaine de sous-stations abonnés disposent également d'un échangeur spécifique pour l'eau chaude sanitaire. La configuration des sous-stations ECS est également standard.

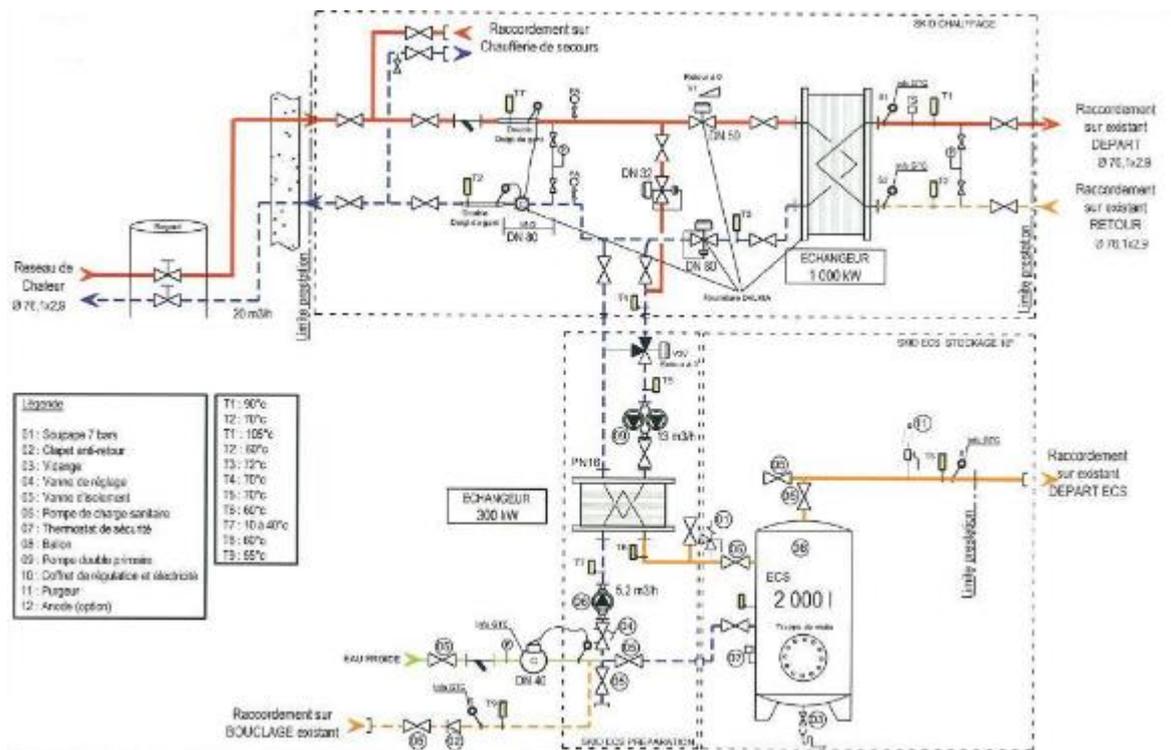


Figure 6: Sous station chauffage + ECS

L'intégralité des sous-stations dispose de piquages disponibles pour le raccordement d'une chaufferie mobile de secours.

Le niveau de puissance souscrite par les abonnés du réseau est au 31 décembre 2016 de 103 011 kW.

Nous avons découpé le réseau en six secteurs afin d'évaluer la répartition de puissance par secteur.

Une analyse a été faite sur le différentiel entre les puissances souscrites et les puissances réellement appelées en sous station. A partir des relevés en sous-station, nous avons pu vérifier l'adéquation des puissances souscrites en sous-station. Sur le panel des relevés disponibles, nous constatons que presque la moitié des

sous-stations disposent d'une puissance souscrite supérieure de plus de 15 % à la puissance maximale appelée. Sur certaines sous-stations, des écarts importants sont constatés (> 40 %).

Un réajustement des puissances souscrites serait à réaliser, ce dernier serait favorable pour certains abonnés du réseau.

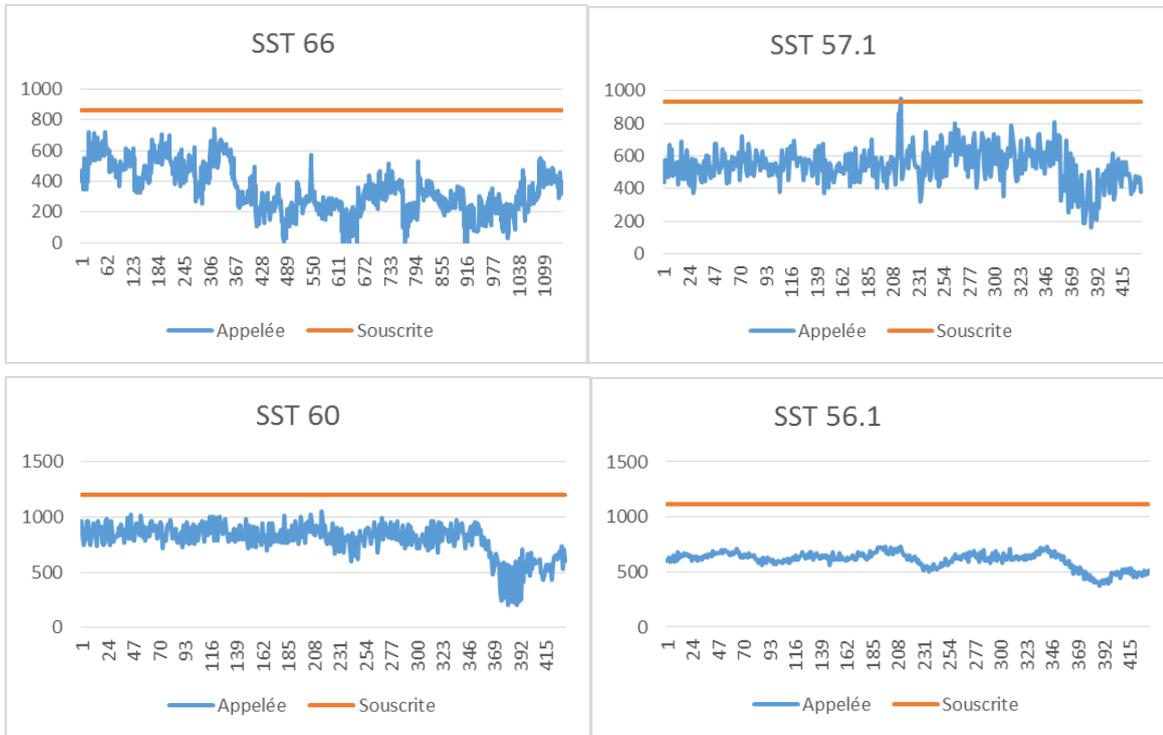


Figure 7: Exemple relevés puissances en sous stations

Il apparaît que la répartition est relativement homogène sur l'ensemble du réseau de chaleur. Le secteur aux abords de la chaufferie de la Ramade demeure toutefois le plus dense thermiquement.

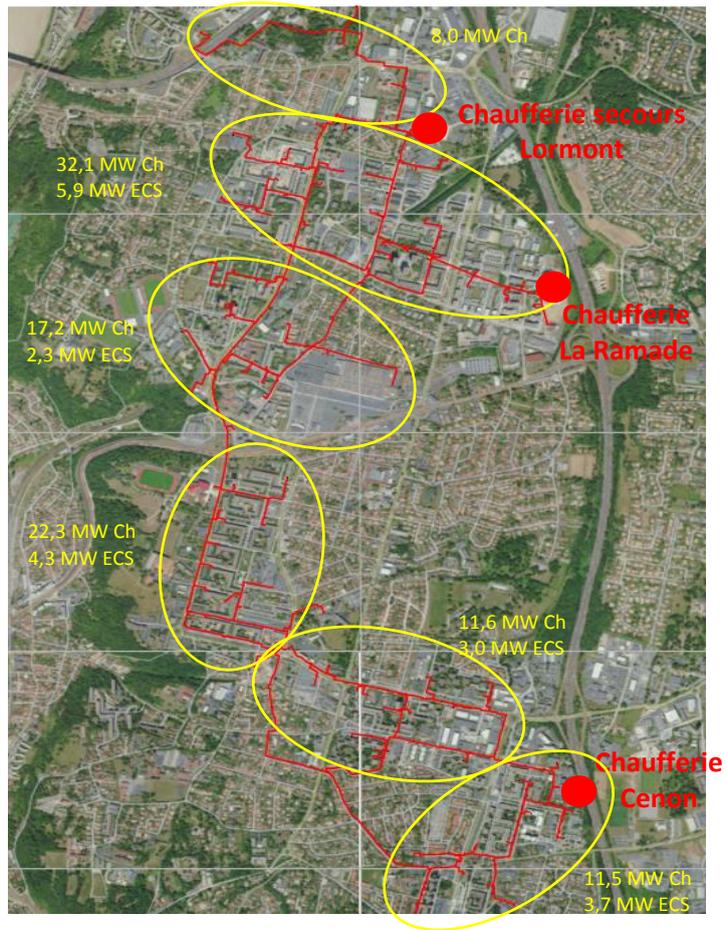


Figure 8: Répartition des puissances installées

## 4 FONCTIONNEMENT ACTUEL DU RESEAU DE CHALEUR

### 4.1 Cascades production et principes de régulation

#### 4.1.1 Cascades production de chaleur

La fourniture de chaleur sur le réseau de Cenon est assurée en base par la récupération de chaleur sur l'unité de valorisation énergétique des déchets (UVED). La production via l'échangeur UVED assure une couverture d'environ 75-80% de la fourniture totale de chaleur.

Le complément de chaleur nécessaire au réseau est assuré dans l'ordre par :

- La chaufferie de la Ramade : chaudière bois puis chaudière gaz
- La chaufferie gaz de Cenon

La turbine de cogénération n'est démarrée qu'à la demande d'EDF en général par période de grand froid.

La chaufferie outdoor de Lormont est une chaufferie de secours utilisée en secours ultime.

#### 4.1.2 Principes de régulation du réseau

Les pompes réseaux sont régulées sur une consigne de Delta P départ réseau avec un ajustement en fonction de la température. Ce type de régulation est habituellement utilisé sur les réseaux de chaleur. Le débit d'eau est ajusté au strict besoin des sous-stations des abonnés.

Les pompes réseaux sont toutes équipées de variateurs de vitesse.

Dans le cas d'un fonctionnement mixte : chaufferie des Hauts de Garonne + chaufferie de la Ramade, le deuxième groupe de pompage fonctionne avec une consigne fixe.



Figure 9: Pompes réseau Cenon

#### 4.1.3 Principes de régulation en sous stations abonnés

Le fonctionnement des sous-stations abonnés est assez classique. Une consigne de température de départ secondaire est définie dans l'automate de la sous station.

La vanne de régulation positionnée au primaire de la sous station régule pour assurer cette consigne de température.

Sur les sous-stations mixtes (chauffage + eau chaude sanitaire), les retours de l'échangeur de chauffage sont réutilisés pour la production d'eau chaude sanitaire. Une vanne de régulation permet de réaliser l'appoint en cas de besoin via l'arrivée du réseau de chaleur.

Les sous-stations sont équipées de vannes de régulation « indépendantes de la pression » permettant d'assurer un équilibrage de pression différentielle. Ce matériel permet d'assurer un équilibrage hydraulique de l'ensemble du réseau et d'assurer un fonctionnement optimal quel que soit le point de fourniture de la chaleur.

Le fonctionnement actuel des sous-stations est optimisé. La source d'amélioration principale envisageable se situe au niveau du secondaire de l'échangeur (côté abonné).

#### 4.2 Mix énergétique et capacité départs réseaux

Les données de fonctionnement transmises par l'exploitant du réseau ont permis d'apprécier le comportement actuel du réseau de chaleur.

Sur les dernières années de fonctionnement (2010 à 2016), la fourniture de chaleur oscille entre 120 000 et 160 000 MWh.

La fourniture est assurée principalement par le centre de production des Hauts de Garonne (>85%) dont plus de 70% issue de la récupération de chaleur sur l'Unité de Valorisation des Déchets.

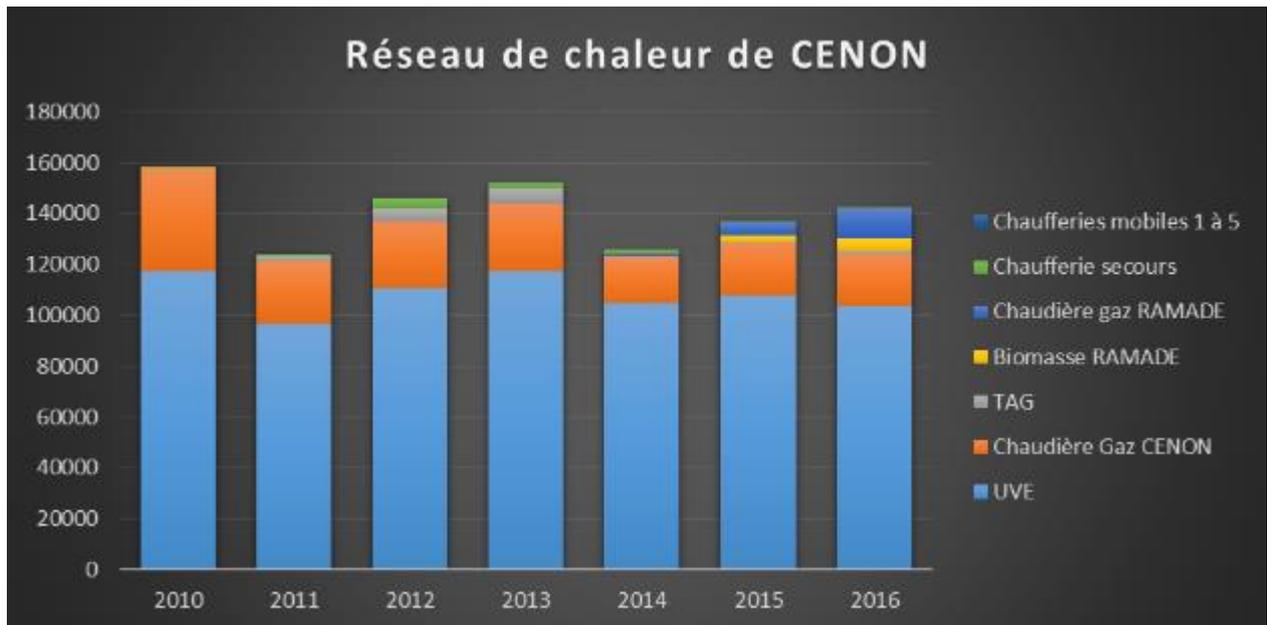


Figure 10: Evolution de la production de chaleur

Le réseau de chaleur est alimenté depuis la chaufferie des Hauts de Garonne via deux départs distincts :

- Une branche en DN250 qui alimente la zone Sud Cenon / Floirac et les bouclages réalisés en 2009
- Une branche en DN350 qui alimente la majorité du réseau. Ce diamètre de tuyauterie est développé jusqu'à la deuxième partie du réseau, au-delà de l'avenue Carnot.

Ces branches du réseau n'ont jamais été rénovées depuis la création du réseau de chaleur.

En considérant un delta de température de fonctionnement de 35 °C (105/70°C) et une perte de charge linéique de 15 mmCE/m, nous pouvons apprécier la capacité de fourniture des branches réseau :

- |                             |                              |    |                    |
|-----------------------------|------------------------------|----|--------------------|
| • Branche Sud :             | 450 m <sup>3</sup> /h        | -> | ≈ 18 000 kW        |
| • Branche Nord :            | 900 m <sup>3</sup> /h        | -> | ≈ 36 500 kW        |
| • <b>TOTAL production :</b> | <b>1 350 m<sup>3</sup>/h</b> | -> | <b>≈ 54 500 kW</b> |

Nota : Les capacités d'export de chaleur peuvent être augmentées cependant, il sera observé des vitesses et des pertes de charges élevées dans les tuyauteries.

Nous réalisons la même approche au niveau de la chaufferie de la Ramade qui de son côté ne dispose que d'un départ réseau en DN300 qui permet d'alimenter la partie Nord du réseau de chaleur. En considérant les mêmes hypothèses de fonctionnement, nous obtenons les résultats suivants :

- |                                   |                            |    |                    |
|-----------------------------------|----------------------------|----|--------------------|
| • <b>Capacité réseau Ramade :</b> | <b>700 m<sup>3</sup>/h</b> | -> | <b>≈ 28 500 kW</b> |
|-----------------------------------|----------------------------|----|--------------------|

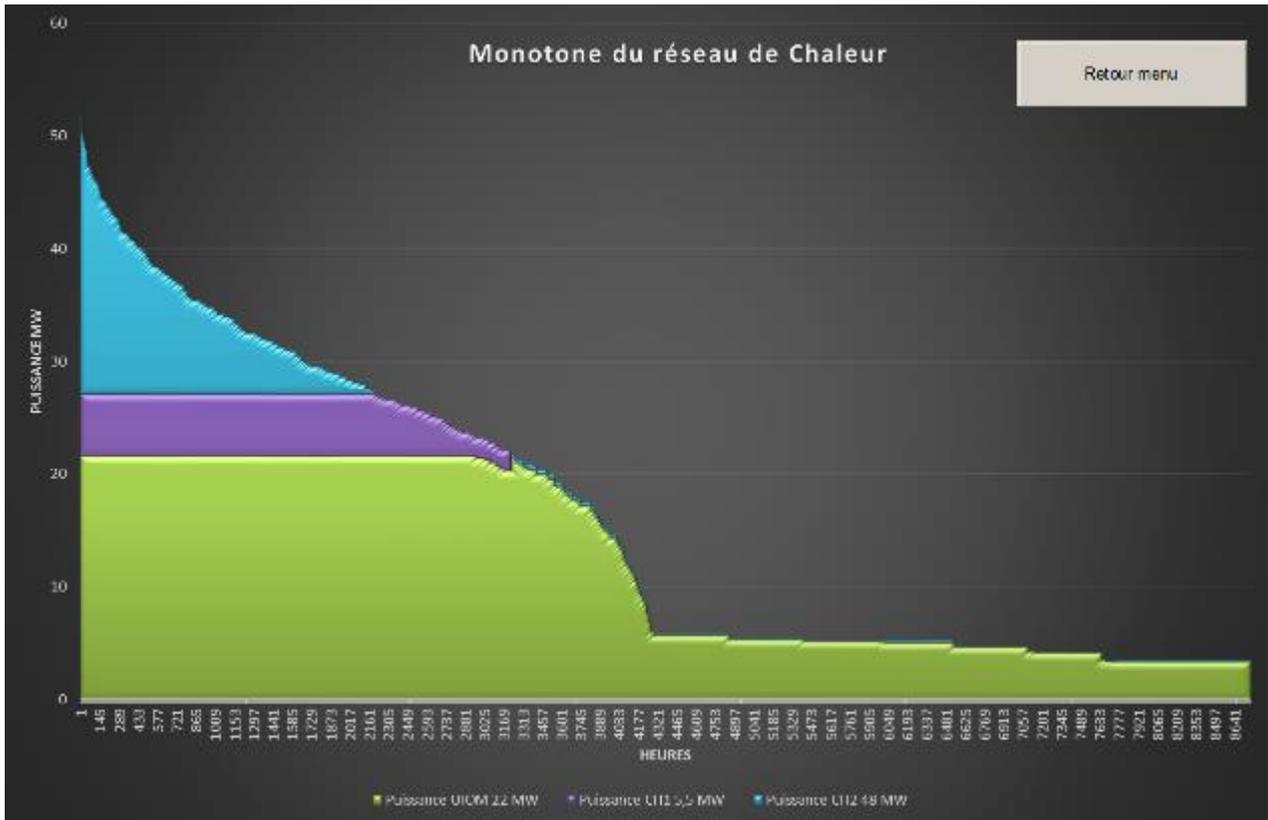
***A partir de cette première analyse et en tenant compte des moyens de production décrits au chapitre 1.3, il apparaît que les canalisations au départ du centre de production des Hauts de Garonne ne sont pas suffisamment dimensionnées pour permettre la distribution de l'intégralité de la capacité de production. Le***

centre de production des Hauts de Garonne ne peut exporter qu'environ 54,5 MW sur les 69,8 MW installés et disponibles.

Les conduites de la chaufferie de la Ramade sont de leur côté suffisamment dimensionnées et permettent largement de véhiculer la chaleur disponible sur les divers moyens de production. Le dimensionnement actuel de la conduite principale permet une réserve de puissance d'environ 13 MW.

#### 4.3 Monotone du réseau de chaleur

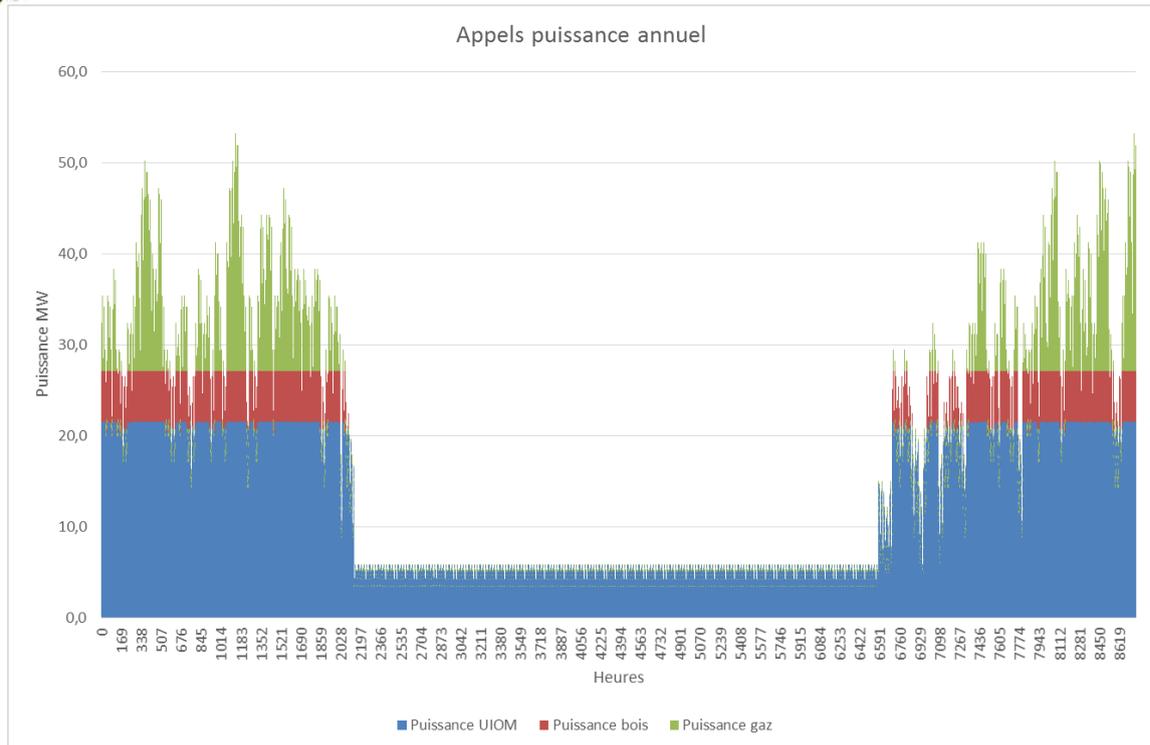
Figure 11: Monotone du réseau de chaleur



Nota : en l'absence d'informations transmises par RDE, la monotone du réseau de chaleur a été recalculée.

La cascade de fonctionnement actuelle est optimisée pour la valorisation de chaleur sur l'UED et la chaufferie bois. Nous pouvons cependant constater qu'une quantité de chaleur assez importante n'est pas valorisée du fait des demandes faibles du réseau en été et mi-saison.

Figure 12: Appel de puissance sur l'année



#### 4.4 Performances énergétiques du réseau

Le fonctionnement sur la période 2011-2016 a également permis d'évaluer la performance du réseau de chaleur et le niveau de pertes thermiques.

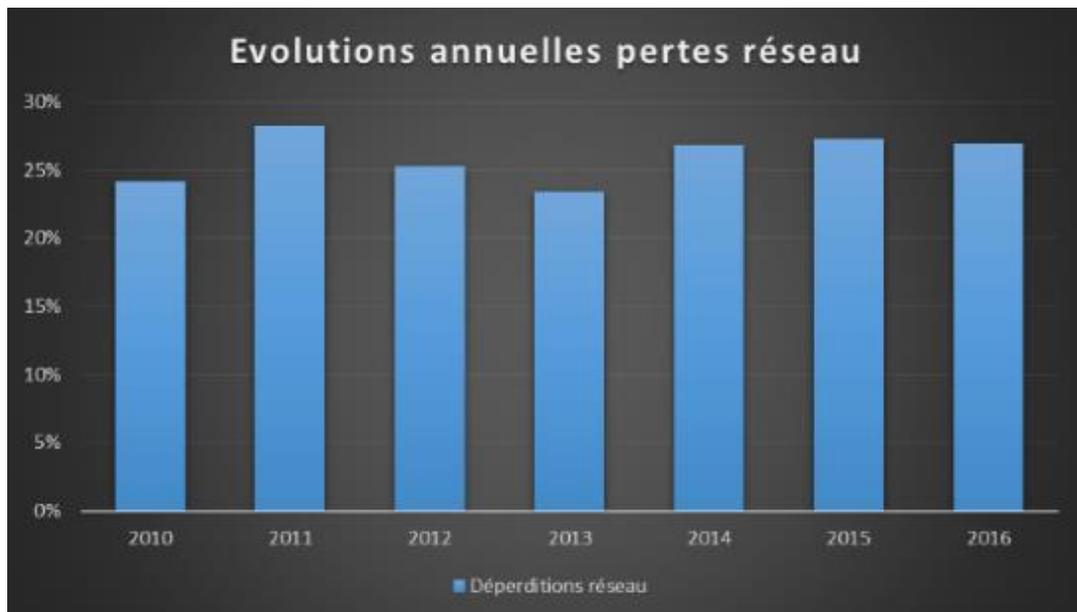


Figure 13: Evolution annuelle des pertes thermiques réseau

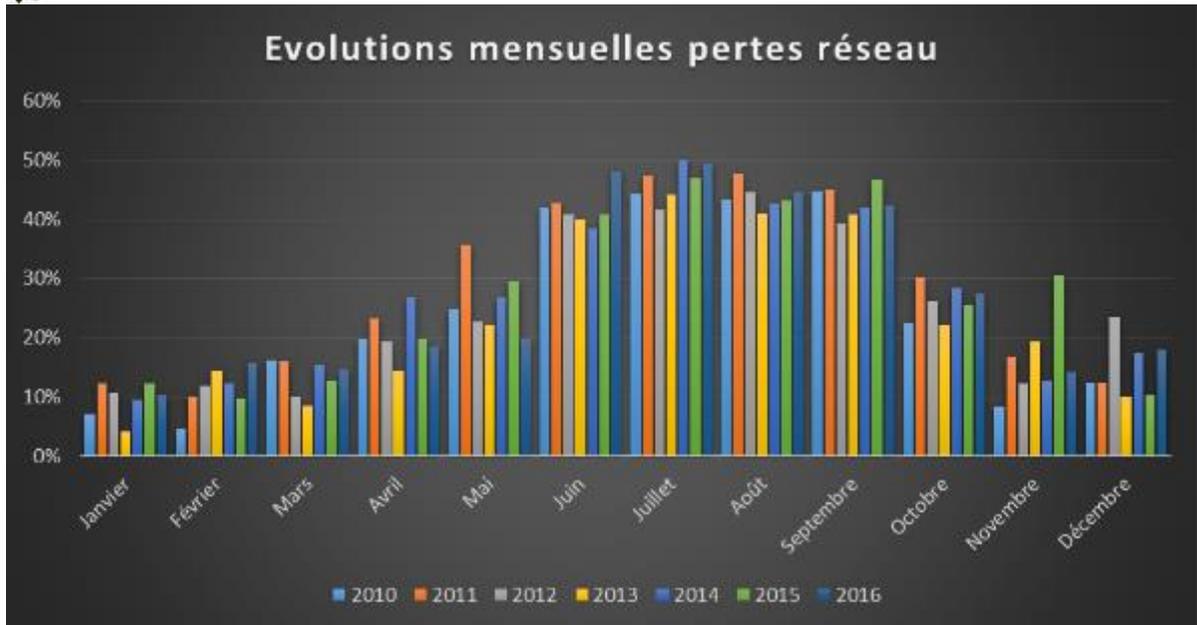


Figure 14: Evolution mensuelle des pertes thermiques

Nous constatons que le niveau de déperditions thermiques sur le réseau de chaleur de Bordeaux Métropole est très élevé. Les niveaux de pertes moyens constatés sont les suivants :

- Moyenne annuelle : 26 %
- Moyenne période de chauffe : 10-15 %
- Moyenne hors période de chauffe : 40-50 %

**Les niveaux constatés traduisent un niveau de vétusté important du réseau de chaleur. Par analogie, un réseau de chaleur traditionnel en bon état présente des niveaux de déperditions thermiques inférieurs à 10 % de pertes en énergie par an. Sur les aspects saisonniers, les niveaux de déperditions thermiques sont de l'ordre de 5% en période de chauffe et 20-30% hors période de chauffe.**

#### 4.5 Répartition abonnés sur le réseau

Le réseau de chaleur de Bordeaux Métropole peut être physiquement décomposé en deux grands ensembles séparés par l'Avenue Carnot.

Les deux ensembles sont interconnectés.

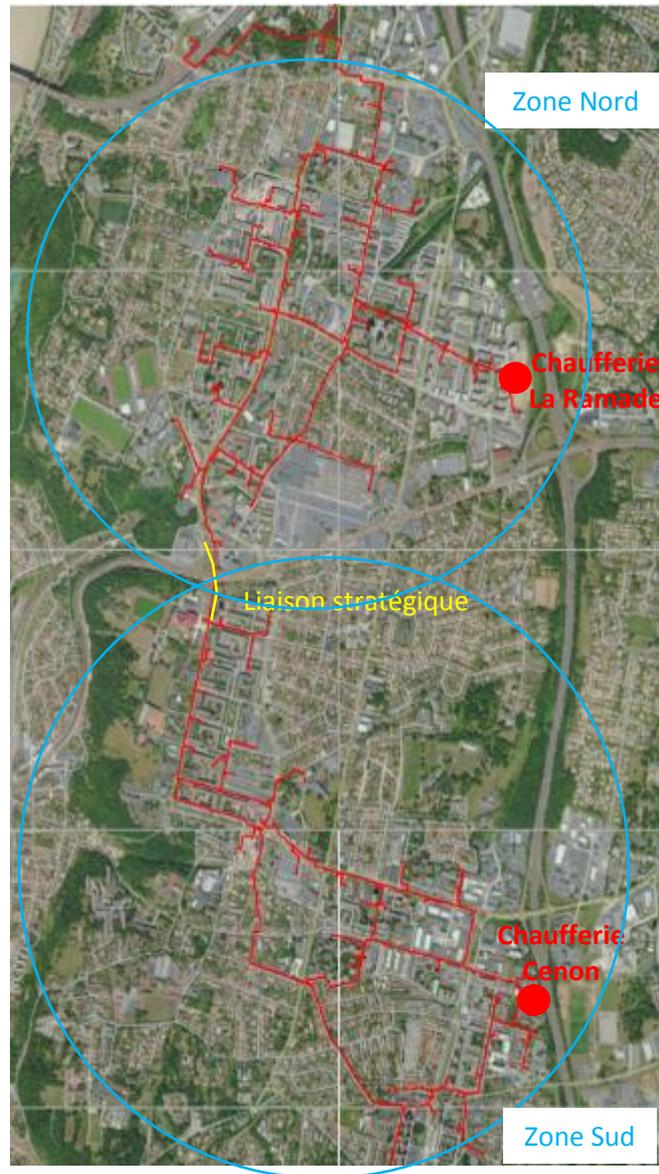


Figure 15: Structure du réseau de chaleur

La chaufferie principale des hauts de Garonne est connectée sur la partie Sud alors que la chaufferie de la Ramade et la chaufferie de secours de Lormont sont connectées sur la partie Nord.

Au niveau de la répartition de puissance sur les deux ensembles, la partie Nord est plus dense avec des puissances installées de 58 MW en chauffage et 8 MW en ECS alors que la partie Sud représente 45 MW en chauffage et 11 MW en ECS.

En tenant en compte la répartition des moyens de production, qui sont plus importants sur la zone Sud, il apparaît que le tronçon de jonction entre les deux zones est stratégique et prioritaire pour le bon fonctionnement global du réseau.



Cette portion du réseau permet d'une part d'exporter la chaleur du centre de production de Cenon (UVED) vers la zone Nord mais également d'assurer un secours de fourniture vers l'un ou l'autre des tronçons en cas de panne d'un des centres de production.

## PARTIE II - Etat actuel du réseau

---

### 1 CARTOGRAPHIE SUR L'ETAT DU RESEAU

L'historique des fuites réalisé sur la période 2011-2016 donne une vision assez précise de l'état du réseau.

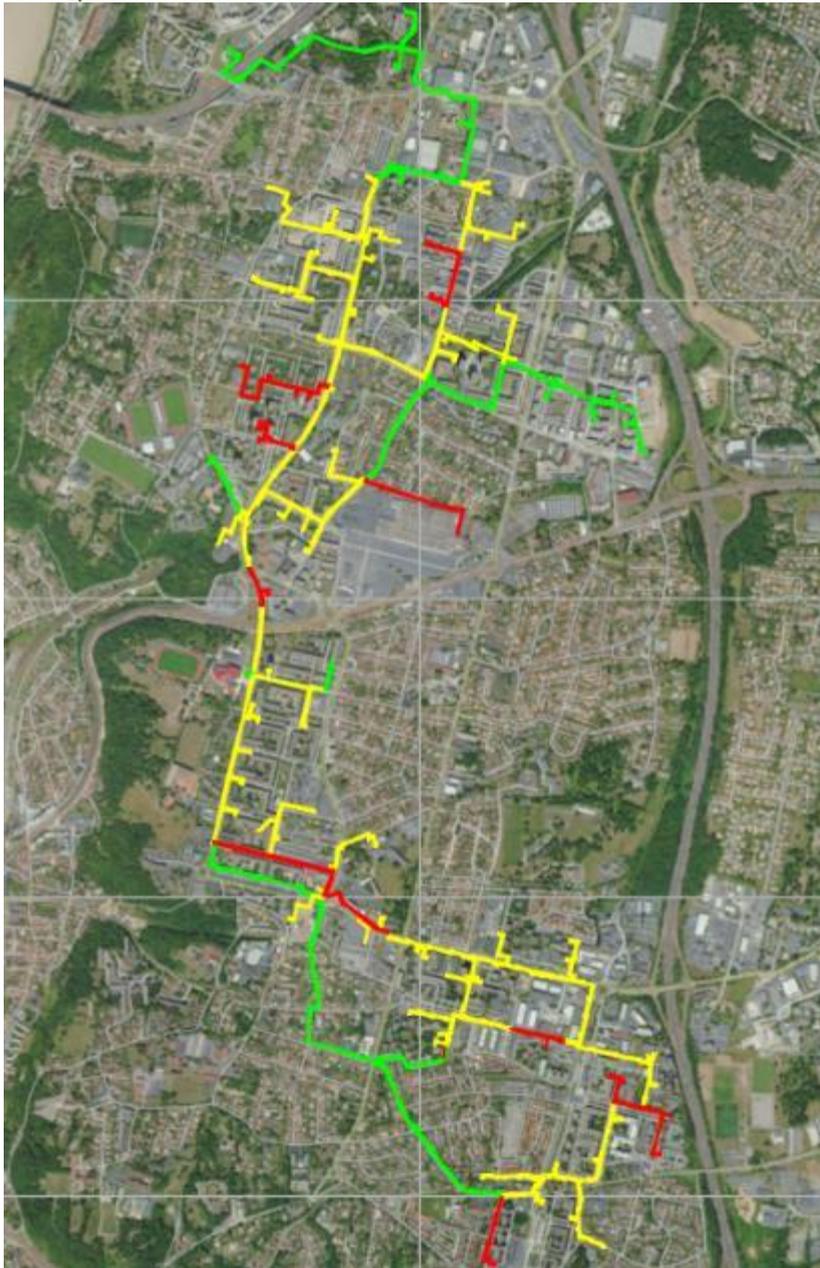
Le taux moyen de fuite constaté est de l'ordre de 30-40 fuites par an ce qui est particulièrement élevé pour un réseau de chaleur de ce type et de cette taille. Le taux de fuites par an pour un réseau en bon état devrait être de l'ordre d'au maximum 5-10 fuites par an.

L'autre aspect révélateur de l'état du réseau est le taux de déperditions thermiques constaté (Cf. chapitre 2.4) qui représente plus du double des niveaux de déperditions constatés sur des réseaux de chaleur en bon état.

L'historique des fuites permet de mettre en avant les tronçons de réseau les plus sensibles et donc les plus abimés. Le réseau dans sa globalité ayant le même âge, l'usure prématurée de certains tronçons peut s'expliquer par différents aspects :

- Malfaçon d'origine : supports, étanchéité caniveaux,...
- Défaut de calorifuge
- Travaux ultérieurs à la construction pouvant endommager les caniveaux

Les fuites généralement constatées sur des réseaux de chaleur proviennent pour la majorité d'une cause extérieure entraînant une présence d'eau et une corrosion externe (tubes ou support).



**Légende :**

- 1<sup>ère</sup> phase : tronçon de 1<sup>ère</sup> urgence
- 1<sup>ère</sup> phase : tronçon de 2<sup>ème</sup> urgence
- 2<sup>ème</sup> phase de rénovation
- Réseau en bon état

Figure 16: Cartographie de l'état du réseau

Lors de notre visite du 19 juin 2017, nous avons pu visiter un certain nombre de chambres de vannes afin d'évaluer l'état du réseau.

Ces visites ont permis de confirmer que le réseau de chaleur est dans un état de vétusté avancé. Certains tronçons sont plus critiques que d'autres.



Figure 17: Tuyauteries réseaux

L'origine des dégradations du réseau est très probablement des infiltrations d'eau au niveau des caniveaux (malfaçon d'origine, dégradations de l'étanchéité,...).

Le passage en basse pression du réseau a entraîné une baisse de la température ambiante en caniveau et donc contribué à l'augmentation du taux d'humidité ambiant.

Les corrosions externes attaquent en premier lieu les parties les plus froides : supports de tuyauterie, tuyauteries retour puis tuyauterie départ.

La majorité des fuites constatées sur le réseau sont des fuites dues à une corrosion externe au niveau des supports de tuyauterie. Les fuites constatées sur la période 2013-2016 sont concentrées sur les tuyauteries retour (les plus froides).

Lors de notre visite, nous avons également constaté que les calorifuges en place étaient fortement détériorés voire absents ce qui explique particulièrement les taux de déperditions thermiques constatés sur ce réseau. Les calorifuges absents au niveau des chambres de vannes sont dus aux interventions au fil des années et la descente en marchant sur le calorifuge. Les tronçons non accessibles mais « visibles » permettent eux de se faire une idée de l'état du calorifuge et confirme les taux de déperditions thermiques élevés.



Figure 18: Tuyauteries réseaux nues

Le concessionnaire actuel du réseau de chaleur « subit » les installations compte tenu du nombre de fuites constaté tous les ans. Le vieillissement et le comportement du réseau suite au passage en basse pression ne semblent pas avoir été anticipés.

De plus, d'un point de vue contractuel, Le concessionnaire doit la mise en place d'un plan de surveillance du réseau de chaleur. A ce titre, il doit :

- Une surveillance en continu grâce à une Gestion Technique Centralisée,
- Un suivi des appoints d'eau...
- Au minimum tous les trois ans et pour la première fois au cours du premier exercice, une thermographie infrarouge afin de surveiller l'état du réseau et de définir le cas échéant les travaux préventifs nécessaires,
- Une surveillance périodique de l'usure des canalisations par analyse vidéo des parois internes,
- Une visite systématique des points sensibles du réseau

Ce plan n'a à priori pas été mis en place par le délégataire. La surveillance en continu du réseau de chaleur aurait peut-être pu permettre d'anticiper la rénovation de tronçons critiques.

## 2 MESURE DE VERIFICATIONS DE L'ETAT DU RESEAU

Compte tenu de l'état de dégradation du réseau, il serait judicieux de réaliser des campagnes de vérification afin de déterminer les tronçons de réseau prioritaires (selon l'état de dégradation).

Il existe plusieurs méthodes de vérification possible sur un réseau de chaleur.

### 2.1 Campagne de thermographie infrarouge

Dans un premier temps, compte tenu des constats précédents sur les déperditions thermiques, il serait judicieux de réaliser une campagne de thermographie infrarouge sur l'intégralité du réseau.

Cette technologie permet de réaliser une photographie infrarouge représentant la répartition de température du sol. Ce type de campagne permet de traiter l'intégralité d'un réseau de chaleur et permet de repérer des « tâches thermiques » sur le tracé d'un réseau de chaleur qui peuvent correspondre à :

- Un défaut de calorifuge
- L'absence de calorifuge
- Une fuite réseau

Différentes méthodes sont utilisées pour réaliser ces campagnes : hélicoptère, drone, ballon gonflable,...

Ce type de mesure doit impérativement être réalisé en hiver afin de disposer de gradients de température importants.

L'analyse des résultats doit tenir compte de l'architecture du réseau (charge) afin d'être la plus précise possible.

Les résultats obtenus par une campagne de thermographie infrarouge sont d'une précision assez limitée. Toutefois, ce type de campagne est adapté pour réaliser un suivi annuel d'un réseau afin de visualiser assez simplement l'évolution thermique d'un tronçon ou du réseau entier au fil des années.

Une campagne de thermographie infrarouge peut être réalisée pour un montant d'environ 4 500 € pour des tronçons de 5-10 km

## 2.2 Inspection tuyauteries par ultrasons

Cette méthode consiste à réaliser une inspection des tuyauteries par mesure ultrasons. Cette méthode peut permettre d'analyser des tronçons de tuyauterie de longueurs importantes.

Deux puits sont réalisés sur le réseau pour insérer un furet dans la canalisation.

Ce furet dispose d'équipement permettant de réaliser une analyse par ultrason de la tuyauterie.

L'équipement a la capacité de passer également les coudes présents sur le tracé.



Figure 19: Furet pour inspection par ultrasons

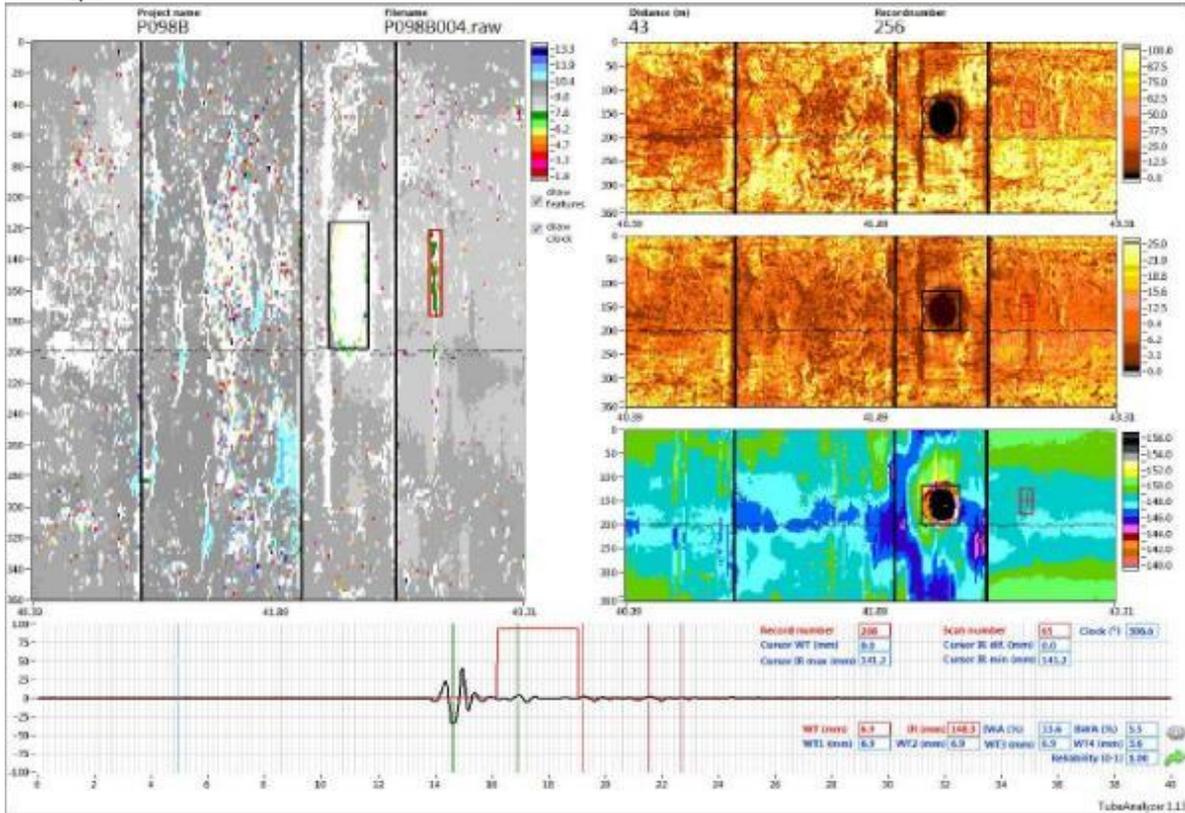
Ce type d'inspection permet de dresser une cartographie précise des tuyauteries et de déterminer les zones fragilisées du réseau.

Les résultats obtenus permettent de localiser précisément les zones endommagées et permettent une évaluation des épaisseurs de tuyauterie sur l'intégralité du tronçon inspecté.

Le tableau de résultat indique l'origine de la corrosion (interne ou externe).

Cette méthode est utilisée sur le réseau de chaleur de Compagnie Parisienne de Chauffage Urbain (CPCU) dans le cadre des opérations de rénovation des retours d'eau.

La réalisation d'une telle campagne de mesure peut être évaluée à environ 100 000 € / km pour la cartographie précise de la conduite de retour. La prestation consiste à réaliser une fouille et ouverture du caniveau, adapter la tuyauterie existante pour introduction du furet et injection d'air comprimé, réaliser les mesures et rédiger un compte rendu complet d'inspection.



Log distance (m)	Girth weld	Nominal t (mm)	Remaining t (mm)	Estimated Length (mm)	Estimated Width (mm)	Clock position (hh:mm)	Surface location	Comments
0.0	X	9.5						Start of inspection.
0.3		9.5		76	57	12:00	Not applicable	Off take.
2.0	X	9.5						
10.0	X	9.5						
25.7		9.5	7.4	38	75	10:26	Internal	corrosion, start Tee.
25.7	X	9.5						
41.0	X	9.5						
42.1	X	9.5						
42.3		9.5		204	208	10:40	Not applicable	Tee.
42.6	X	9.5						
42.8		9.5	6.9	79	145	10:18	External	corrosion, In HAZ.
48.8	X	9.5						
49.6	X	9.5						Bend begin.
50.7	X	9.5						Bend end.
51.1	X	9.5						
55.1		9.5	6.0	703	456	0:04	External	corrosion.
57.4	X	9.5						
71.9	X	9.5						
75.9	X	9.5						
90.7	X	9.5						
104.3	X	9.5						
108.5		9.5	7.4	3532	219	9:02	External	Area with corrosion .
113.4		9.5	7.4	6450	254	9:10	External	Area with corrosion .
119.3	X	9.5						
133.2	X	9.5						
147.9	X	9.5						
151.3		9.5	7.2	118	107	5:50	Internal	Corrosion.
151.8	X	9.5						
152.2	X	7.1						Change in wall thickness.
152.9	X	12.7						Change in wall thickness, Start of expansion joint.
153.9	X	7.1						Change in wall thickness.
154.8	X	9.5						Change in wall thickness, End of expansion joint.

Figure 20: exemple de résultats

## 2.1 Synthèse sur les mesures de vérification

	Avantages	Inconvénients
Thermographie infrarouge	<ul style="list-style-type: none"> <li>Facilité de mise en œuvre</li> <li>Pas de modifications / adaptations réseau nécessaires</li> <li>Mesures non destructives</li> <li>Coût réduit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gradient température élevé (température extérieure et température réseau)</li> <li>Connaissance parfaite du réseau nécessaire (architecture, charges)</li> <li>Analyse des résultats moyennement précise</li> </ul>
Technologie ultrasons	<ul style="list-style-type: none"> <li>Parfaite cartographie des tuyauteries</li> <li>Résultats très précis sur la vétusté des tuyauteries</li> <li>Mesures non destructives</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Création de puits d'entrée et de sortie de la sonde</li> <li>Arrêt du tronçon concerné pour mesures</li> <li>Coût élevé</li> </ul>