AMORCE

DÉCHETS | ÉNERGIE | EAU

Enquête sur la rénovation des réseaux de chaleur anciens – défectueux

Série technique
Réf. AMORCE RCT 47
Février 2019

Cerema

Avec le soutien

ADEME
Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

PRÉSENTATION D'AMORCE

Rassemblant plus de 900 adhérents pour 60 millions d'habitants représentés, AMORCE constitue le premier réseau français d'information, de partage d'expériences et d'accompagnement des collectivités (communes, intercommunalités, conseils départementaux, conseils régionaux) et autres acteurs locaux (entreprises, associations, fédérations professionnelles) en matière de transition énergétique (maîtrise de l'énergie, lutte contre la précarité énergétique, production d'énergie décentralisée, distribution d'énergie, planification) et de gestion territoriale des déchets (planification, prévention, collecte, valorisation, traitement des déchets).

Force de proposition indépendante et interlocutrice privilégiée des pouvoirs publics (ministères, agences d'État et du Parlement, AMORCE est aujourd'hui la principale représentante des territoires engagés dans la transition énergétique et l'économie circulaire. Partenaire privilégiée des autres associations représentatives des collectivités, des fédérations professionnelles et des organisations non gouvernementales, elle a joué un rôle majeur dans la défense des intérêts des acteurs locaux lors de l'élaboration de la loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte ou précédemment des lois relatives au Grenelle de l'environnement.

Créée en 1987, elle est largement reconnue au niveau national pour sa représentativité, son indépendance et son expertise, qui lui valent d'obtenir régulièrement des avancées majeures (TVA réduite sur les déchets et sur les réseaux de chaleur, création du Fonds Chaleur, éligibilité des collectivités aux certificats d'économie d'énergie, création de nouvelles filières de responsabilité élargie des producteurs, signalétique de tri sur les produits de grande consommation, généralisation des plans climat-énergie, obligation de rénovation des logements énergivores, réduction de la précarité énergétique, renforcement de la coordination des réseaux de distribution d'énergie, etc.…).

Contact pour cette note : Laurène DAGALLIER

PRÉSENTATION DU CEREMA

Le Cerema est un centre de ressources et d'expertises scientifiques et techniques intervenant en appui à la conception, la mise en œuvre et l'évaluation des politiques publiques portées par les services de l'État et des collectivités territoriales.

Il intervient dans les grands domaines techniques : aménagement, habitat, politique de la ville, transport, mobilité, sécurité routière, environnement, ville durable, bâtiments, risques, infrastructures publiques, *etc.* Sa spécificité repose sur un ancrage territorial fort et sur sa capacité de faire le lien entre les administrations centrales, les services déconcentrés de l'État et les collectivités territoriales.

Cet établissement public regroupe près de 3 000 agents répartis sur le territoire national. Son budget de fonctionnement est supérieur à 240 M€.

Contact pour cette note : Muriel LABONNE

www.cerema.fr et site thématique www.reseaux-chaleur.cerema.fr

PRÉSENTATION DE L'ADEME

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME) participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable. Elle met ses capacités d'expertise et de conseil à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale.

L'Agence aide en outre au financement de projets, de la recherche à la mise en œuvre et ce, dans les domaines suivants : la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, les économies de matières premières, la qualité de l'air, la lutte contre le bruit, la transition vers l'économie circulaire et la lutte contre le gaspillage alimentaire.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle conjointe du ministère de la Transition écologique et solidaire et du ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation.

Contact pour cette note : David CANAL

ADEME
20, avenue du Grésillé, BP 90406 - 49004 Angers Cedex 01
Tel : 02 41 20 41 20
www.ademe.fr - @ademe

REMERCIEMENTS

Nous remercions l'ensemble des collectivités/professionnels ayant participé à notre travail, en particulier celles et ceux qui nous ont fait part de leurs retours d'expérience et qui nous ont fourni des éléments pour illustrer cette note, basée sur :

- Les retours de 11 collectivités[1] et 7 professionnels[2] à l'enquête[3] sur la rénovation des réseaux, lancée par le Cerema et AMORCE, avec le soutien de l'ADEME. Cela concerne les réseaux suivants, ainsi que d'autres réseaux non nommés par les répondants à l'enquête :
- Réseau principal de Grenoble
  - Réseau de Châteaubriant
  - Réseau La Chapelle St Luc & Les Noës près Troyes
  - Réseau Pont Neuf Mireuil Énergie, à La Rochelle
  - Réseau des Bords de l'Huisne, au Mans
  - Réseau du Val de l'Aurence, à Limoges
  - Réseau des Hauts de Garonne, à Bordeaux
  - Réseau de Carrières-sur-Seine, Chatou et Houilles
  - Réseau CYEL, à Cergy-Pontoise
  - Réseau de Saint-Varent
  - Réseau Tremblay Géothermie, à Tremblay-en-France
  - Réseau du Blanc Mesnil
  - Réseau d'Évreux
  - Réseau Enertherm, à La Défense
  - Réseau SCCU, à Colmar
  - Réseau de l'Esplanade, à Strasbourg
  - Réseau d'Autun

- Les expériences partagées[4] lors du groupe d'échanges « développement des réseaux de chaleur » organisé par AMORCE, en partenariat avec l'ADEME, le 31 mai 2018 ;
- et sur des échanges plus approfondis entre le Cerema, AMORCE, et des collectivités[5] et professionnels du secteur.

---

[1] Grenoble Alpes Métropole, Chateaubriand, La Rochelle, Le Mans, Limoges, Bordeaux Métropole, Cergy Pontoise, Evreux, Colmar, Strasbourg et Autun

[2] Cabinet Merlin, Sermet, la SEM énergie de La Chapelle St Luc/Les Noës (près de Troyes), le Sitru, Idex pour le réseau Tremblay Géothermie, le Groupe-Coriance pour le réseau du Blanc-Mesnil et Enertherm

[3] Enquête qui s'est déroulée de fin avril à début juillet 2018 : https://reseauxchaleur.wordpress.com/2018/04/20/enquete-sur-la-renovation-des-reseaux-de-chaleur/

[4] Bureau d'études Girus, Ville de Versailles, Ville de Limoges

[5] Grand Nancy, métropole de Bordeaux, Ville de Dole, Ville de Champigny-sur-Marne, SICSEF, Régie de Fontenay-sous-Bois

RÉDACTEURS

Riza ZAINUDIN, étudiant en L3 à l'Université de Grenoble-Alpes, stagiaire au Cerema, en 2018

Muriel LABONNE, Cerema muriel.labonne@cerema.fr

Laurène DAGALLIER, AMORCE ldagallier@amorce.asso.fr

Romain ROY, AMORCE rroy@amorce.asso.fr

Comité de relecture : Julie PURDUE, AMORCE ; David CANAL, ADEME ; Teddy CONNAN, Cerema ; Anne-Claire IMPENS, GIRUS

MENTIONS LÉGALES

©AMORCE – janvier 2019

Les propos tenus dans cette publication ne représentent que l'opinion de leurs auteurs. AMORCE et le Cerema ne sont pas responsables de l'usage qui pourrait être fait des informations qui y sont contenues.

Les chiffres avancés (ordres de grandeur de coûts et de performance) sont tirés de cas par définition particuliers, et ne sauraient se substituer à un diagnostic pour déterminer l'état d'un réseau et le montant d'éventuels travaux de rénovation.

Reproduction interdite, en tout ou en partie, par quelque procédé que ce soit, sans l'autorisation écrite d'AMORCE.

Possibilité de faire état de cette publication en citant explicitement les références.

PRÉAMBULE

Aujourd'hui, les réseaux de chaleur apparaissent comme un moyen efficace d'utiliser massivement certaines énergies renouvelables et de récupération (EnR&R), comme la chaleur issue de la valorisation énergétique des déchets, la biomasse, le biogaz, la chaleur industrielle…

Malgré tout, ce mode de chauffage ne fournit que 6% de la chaleur (chauffage et eau chaude sanitaire) des secteurs résidentiel et tertiaire en France. Afin de contribuer à l'objectif de la loi de transition énergétique de multiplier par cinq la quantité de chaleur renouvelable et de récupération livrée par les réseaux, ceux-ci devront livrer près de 40TWh à partir d'énergie renouvelable et de récupération d'ici 2030, contre 14 TWh en 2017[6].

Selon l'enquête AMORCE sur le prix de vente de la chaleur en 2016, qui s'appuie sur un échantillon de 410 réseaux ayant répondu à l'enquête annuelle sur les réseaux de chaleur et de froid, près de 50% des réseaux de chaleur ont été créés avant les années 1980 :

Décennie de création	< 1960	1960	1970	1980	1990	2000	2010
Nombre de réseaux	21	113	59	48	27	83	59
Part des livraisons	30%	34%	12%	10%	3%	4%	4%

Tableau 1 : Réseaux créés par décennie

On peut rappeler qu'un réseau créé avant 1980 peut comporter des extensions beaucoup plus récentes.

Ainsi, la mutation vers les EnR&R, la densification, et les extensions de ces réseaux de chaleur anciens est essentielle pour l'atteinte du Facteur 5. Si bon nombre de ces réseaux sont toujours en bon état, d'autres peuvent présenter des signes de vieillissement (fuites de plus en plus récurrentes et importantes, *etc.*), ou ont d'ores et déjà fait l'objet de travaux de rénovation.

[6] Livraisons totales en 2017 : 25 TWh de chaleur, dont 56% issus d'EnR&R. Source : SNCU, enquête nationale sur les réseaux de chaleur et de froid édition 2018

La présente note s'adresse aux collectivités, exploitants et bureaux d'études et a pour objectif de répondre aux questions qu'ils peuvent se poser sur la rénovation d'un réseau de chaleur. Ce document s'appuie sur des retours d'expérience techniques, juridiques, économiques et environnementaux (phasage des travaux, ordre de grandeur de coûts, méthodes de diagnostic, détails techniques…) pour dresser un état des lieux des dégradations les plus courantes sur les réseaux de chaleur anciens, et apporter des éléments de réponse aux questions suivantes : quelles sources/causes de dégradation ? Comment diagnostiquer l'état d'un réseau et à quel coût ? Pourquoi et comment améliorer l'état d'un réseau défectueux ?

SOMMAIRE

PRÉSENTATION D'AMORCE 2

PRÉSENTATION DU CEREMA 3

PRÉSENTATION DE L'ADEME 4

REMERCIEMENTS 5

RÉDACTEURS 6

MENTIONS LÉGALES 6

PRÉAMBULE 7

SOMMAIRE 9

1. ÉCHANTILLON ENQUÊTÉ 11

2. LOCALISATION ET PRINCIPALES CAUSES DE DÉGRADATION 15

2.1. LES CHAMBRES DE VANNES 15
2.2. LES SUPPORTS DE FIXATION DES RESEAUX EN CANIVEAU 16
2.3. LES JONCTIONS ENTRE TUYAUX 17
2.4. LES BRAS-MORTS 18
2.5. AUTRES LOCALISATIONS ET SOURCES DE FUITES 18
2.5.1. POINTS HAUTS ET BAS 18
2.5.2. EXCES DE DEBIT – PRESSION 19
2.5.3. DILATATION DES CANALISATIONS 20
2.5.4. AUTRES CAUSES 21

3. MÉTHODES DE DIAGNOSTIC 22

3.1. INDICATEURS CARACTERISANT LA PERFORMANCE DES RESEAUX 23
3.1.1. LA CONSOMMATION D'EAU DU RESEAU PRIMAIRE 23
3.1.2. LE RENDEMENT DE DISTRIBUTION 24
3.1.3. LE TAUX D'INTERRUPTION DU SERVICE 25
3.1.4. AUTRES INDICATEURS 26
3.2. LE REPERAGE ET LA DETECTION DES FUITES 27
3.2.1. LA THERMOGRAPHIE 27
3.2.2. L'ENDOSCOPIE 29
3.2.3. LA DETECTION PAR FIL CONDUCTEUR 30
3.2.4. L'INJECTION D'HELIUM 31
3.2.5. SYNTHESE DES DIFFERENTES SOLUTIONS 31

4. TRAVAUX DE RÉNOVATION 32

4.1. TYPES DE TRAVAUX DE RENOVATION EFFECTUES 32
4.1.1. REPARATION DES FUITES ET REMPLACEMENT DE TRONÇONS 32
4.1.2. PASSAGE DE HAUTE PRESSION A BASSE PRESSION 34
4.1.3. SECURISATION DE RESEAU 35
4.1.4 PRINCIPAUX TRAVAUX EFFECTUES SUR L'ECHANTILLON ENQUETE 36
4.2. PROGRAMMATION ET FINANCEMENT DES TRAVAUX 37

4.2.1. PROGRAMMATION DES TRAVAUX DE RENOVATION 37
4.2.2. FINANCEMENT DES TRAVAUX DE RENOVATION 38
4.3. PROBLEMES RESOLUS ET AMELIORATIONS CONSTATEES 40
CONCLUSION 41
BIBLIOGRAPHIE 42
GLOSSAIRE 43
TABLE DES ILLUSTRATIONS 44
ANNEXE – EXEMPLE DE PASSAGE HP A BP 45

1. ÉCHANTILLON ENQUÊTÉ

L'enquête porte sur une vingtaine de réseaux de chaleur dont les principales caractéristiques (année de création, longueur, régime de distribution) sont présentées ci-après, dans un cercle dont la taille traduit la quantité d'énergie livrée et la couleur le régime de température.

Figure 1 : Caractéristiques des réseaux enquêtés

Nota : pour les réseaux en eau surchauffée, haute pression, il peut tout de même déjà y avoir des extensions en eau chaude basse pression. La couleur représente le régime historique et majoritaire de distribution du réseau.

Le tableau suivant détaille, pour chaque réseau ayant répondu à l'enquête, les travaux, coûts et gains réalisés.

Panorama des réseaux enquêtés en 2018 – Travaux, coûts et gains

7 réseaux avec entretien curatif	3 réseaux avec rénovation planifiée	4 réseaux en cours de rénovation	3 réseaux rénovés
Blanc Mesnil 1983 – 4,5km – eau chaude Pas de diagnostic et peu de problèmes	Bordeaux Hauts de Garonne 1960 – 24 km – eau chaude 20 M€ / Remplacement des 15km de réseau de 1960 / Moins de fuites	Grenoble 1960 – 170km – eau surchauffée Changement des réseaux > 50 ans Projet : 40km d'extension en 2032, majoritairement basse pression. Renouvellement de 10% du réseau avec mutation partielle en basse pression. Densification possible Moins de fuites	Châteaubriand 2011 – 10 km – eau chaude Réfection soudures après vidange (suite à des malfaçons) Remplacement de 50m de réseau Extension de 2km
Tremblay Géothermie 1984 – 10km – eau chaude Réparation de fuites	Colmar 1965 – 22km – eau surchauffée 500 k€/an / Remplacement d'isolation, dalle, caniveaux… / Moins de déperdition réseaux 6 M€ / Projet de passage haute pression → basse pression / Baisse des consommations Densification		Évreux 1964 – 25km – eau chaude 500 € HT/ml / Extension 13km Remplacement de certains tronçons Passage en basse pression / Moins de fuites Récupération chaleur déchets et bois Meilleur rendement
St Varent 2001 – 0,5km – eau chaude Réparation de fuites (en régie)		Carrières sur Seine Chatou Houilles SITRU 1988 – 8km – eau surchauffée Remplacement total du feeder / Densification Moins de fuites	
Cergy Pontoise 1971 – 48 km – eau surchauffée Remplacement de canalisations Réfection d'isolant	Le Mans bords de l'Huisne 1966 – 10km – eau surchauffée	Strasbourg Esplanade 1970 – 14km – eau surchauffée	La Rochelle PNM Energie 1988 – 14 km – eau chaude
Enertherm La Défense 1963 – 30km – eau surchauffée	6,9 M€ / Connexion usine déchets avec feeder	65,1 k€ / Réparation 4 fuites Remplacement d'automates Aménagement pour 2 pompes sur réseau bois Remise en état des tuyaux eau, refroidissement, pompes Conformité foudre Peu de gain car aucune rénovation généralisée	12,6 M€ / Création d'un nouveau réseau et abandon de l'ancien Passage en basse température Nouvelles sous-stations Nouvelle chaufferie (gaz) / Baisse tarif (5-10%) Moins d'interruption dues aux fuites Plus de récupération de chaleur d'incinération des déchets
Réfection dalles de caniveau et tuyaux	1,4 M€ / Passage en basse température Réfection des sous-stations	Récupération de chaleur de l'incinération des déchets Densification possibles Baisse de tarif	
La Chapelle St Luc/Les Noës 1970 – 5km – eau surchauffée Isolation partielle Envisagé : passage eau surchauffée en eau chaude + raccordement usine de traitement des déchets	5 M€ / Modernisation chaufferie 1,5 M€ / Renforcement 3 km de réseau		
Autun 1970 – 12km – eau chaude 450 k€ / Remplacement des canalisations *+ thermographie*	80 k€ / Ajout chambres vannes et purges 25m tuyaux perforées par courants vagabonds tramway	Limoges Val de l'Aurence 1968 – 18km – eau chaude 1,8 M€ / Passage basse t°C (2009) Mise en service bois (2012) Remplacement 1km feeder / Sécurisation du réseau Moins de fuites	

Figure 2 : Synthèse détaillée des réponses à l'enquête - source : Cerema

Des retours d'expérience de bureaux d'études portant sur plusieurs réseaux de chaleur, viennent compléter ces exemples.

Le panel ayant répondu est représentatif des deux principaux types de réseaux réalisés ces dernières décennies :

- **Régime eau surchauffée** (>110°C haute pression) : plus d'une soixantaine de réseaux, essentiellement créés dans les années 1960, puis 70 et 80, fonctionnent encore avec ce régime de distribution, qui nécessite une **mise en œuvre en caniveau des canalisations de distribution** ;
- **Régime eau chaude** (<110°C basse pression) : en France, la plupart des réseaux[7] fonctionnent avec de l'eau chaude qui transite à travers un **réseau de canalisations enterrées** sous le sol.

Du fait de leur régime de température, mais aussi de la qualité des canalisations et de leur mise en œuvre, de la maintenance, des conditions extérieures... les réseaux de chaleur évoluent tous différemment dans le temps. En l'occurrence il est important de préciser que certains réseaux, bien qu'étant très âgés, demeurent en très bon état :

- Parmi les répondants **deux réseaux anciens ne rencontrent pas – ou très peu – de difficultés** liées au vieillissement des canalisations (très peu voire pas de fuites) ;
- Un autre réseau a rencontré de nombreuses fuites liées à des défauts de mise en œuvre qui, une fois traités, ont permis de résoudre les problèmes.

Pour le reste, de nombreux réseaux anciens révèlent une dégradation du réseau primaire. Le présent rapport expose successivement les principales causes de fuites, les indicateurs permettant de caractériser la performance des réseaux, les outils permettant de détecter les zones de défaillance, et les actions mises en œuvre pour y remédier.

[7] En 2017, 89% des réseaux de chaleur ont un régime de distribution en eau chaude < 110°C. Source : SNCU, enquête nationale sur les réseaux de chaleur et de froid édition 2018

2. LOCALISATION ET PRINCIPALES CAUSES DE DÉGRADATION

Aucun matériau de tuyauterie ne dure éternellement, et les canalisations des réseaux de chaleur n'échappent pas à la règle.

Les causes de fuites au niveau des canalisations de réseau de chaleur sont quasi systématiquement externes : travaux à proximité (par exemple sur d'autres réseaux enterrés), inondation de caniveau, infiltration au niveau de chambre de vannes, *etc.* Alors que la face interne des canalisations reste souvent en bon état, la corrosion ronge les canalisations par l'extérieur jusqu'à créer des ouvertures qui permettent au fluide véhiculé de s'échapper.

***Nota** : les fuites sont compensées par des appoints d'eau sur le réseau primaire, lesquels entrainent une très légère surconsommation d'énergie en chaufferie pour répondre aux besoins finaux des usagers[8]. En cas de très grosse fuite les principales conséquences sont surtout les risques de voir la fourniture de chaleur perturbée, voire totalement interrompue, dans certains cas[9].*

2.1. Les chambres de vannes

Les infiltrations d'eau dans et aux abords des chambres de vannes en font un des endroits où peuvent survenir des fuites. Facilement accessibles, les chambres de vannes ont l'avantage de permettre une identification ainsi qu'un traitement rapide des fuites.

Elles permettent aussi de surveiller l'état des équipements qu'elles sont supposées protéger, et d'anticiper un éventuel plan de rénovation (maintenance prédictive).

Figure 3 : Chambre de vanne du réseau Hauts de Garonne, source : Bordeaux Métropole

[8] Le réchauffage de l'eau de remplissage a une incidence marginale sur les consommations, de l'ordre de < 1% sur des réseaux dégradés

[9] Par exemple en cas d'absence de maillage du réseau

2.2. Les supports de fixation des réseaux en caniveau

Les réseaux de chaleur en eau surchauffée sont disposés en caniveau, et présentent la particularité de ne pas reposer à même le sol, mais sur des supports de fixation. Les vieux réseaux ont souvent été mis en place dans un contexte urbain qui a beaucoup évolué au cours des décennies. Ainsi les réseaux installés sous des axes de transport peuvent être impactés par des augmentations et diversifications de trafic (poids lourds, tramway, *etc.*), entraînant des pressions verticales plus importantes et répétitives.

Au fil du temps cela peut entraîner la casse des dalles de caniveau, puis des infiltrations d'eau dans celui-ci. Dès lors, deux effets principaux sont constatés :

- Lorsque les supports de fixation prennent l'eau, ils sont progressivement attaqués par la corrosion, et petit à petit la rouille se propage sur la canalisation, jusqu'à la percer ;
- Lorsque les supports de fixation sont totalement rongés, ils ne remplissent plus leur fonction : le réseau frotte au sol, entraînant une abrasion qui peut finir là aussi par détériorer la canalisation.

Les effets de la dilatation peuvent également contribuer à la dégradation des tuyaux, mais cela est rare car celle-ci est généralement bien prise en compte dans la conception et ne pose plus de problème actuellement. (voir paragraphe 2.5.2).

Figure 4 : Réseau en caniveau - SEAPFA

Nota
Malgré la vulnérabilité des points de fixation, les réseaux en eau surchauffée présentent un avantage non négligeable pour empêcher la corrosion. Du fait de la température du fluide qu'ils véhiculent au niveau de la tuyauterie aller, et de la surface externe de la canalisation, toutes deux supérieures à 100°C, l'eau qui entre en contact du tuyau s'évapore très rapidement et empêche la corrosion. Cet avantage devient problématique lors du passage d'un réseau en eau surchauffée à un régime basse pression / basse température, puisque, dans ces conditions l'eau ne s'évapore plus et dégrade la canalisation et les supports. La tuyauterie retour, dont la température est plutôt autour de 80°C, présente davantage de risque de corrosion.

Retour d'expérience
Cela a été le cas pour le réseau des Hauts de Garonne : en 2009, le passage en basse pression du réseau a entraîné une baisse de la température ambiante en caniveau qui a contribué à l'augmentation du taux d'humidité ambiant. Les corrosions externes ont d'abord attaqué les parties les plus froides : supports de tuyauterie, tuyauterie retour puis tuyauterie départ. Les fuites constatées sur la période 2013-2016 sont concentrées sur les tuyauteries retour (les plus froides).

2.3. Les jonctions entre tuyaux

Les canalisations en acier sont très largement répandues sur les réseaux de chaleur. Depuis de nombreuses années, ces canalisations peuvent être fournies pré-isolées, c'est-à-dire qu'à leur livraison sur chantier les tubes sont déjà munis d'une couche isolante elle-même revêtue d'une protection[10]. Afin de pouvoir souder entre eux, les tubes ne sont pas pré-isolés à leurs extrémités, ce qui nécessite la mise en œuvre d'un manchon[11], qui peut être thermosoudé ou électrosoudé, assurant la continuité de l'isolation. Si cette jonction d'isolant n'est pas correctement mise en œuvre, elle peut laisser l'eau s'infiltrer et entrer en contact avec la face externe de la canalisation, et finir par provoquer des fuites.

Figure 5 : Soudure –Smedar Vesuve

Nota : une vigilance accrue est donc indispensable lors des travaux, concernant la mise en œuvre des manchons. Cela passe notamment par des inspections visuelles, des tests, ainsi que par la formation du personnel intervenant. Ce dernier point explique d'ailleurs le très faible nombre de fuites constatées au niveau des soudures. En effet la réalisation des soudures sur des canalisation en acier nécessite l'intervention d'un personnel qualifié, ce qui n'est pas forcément le cas pour le personnel assurant la mise en œuvre des manchons isolants dans le cas de réseaux en tubes préisolés.

[10] Le revêtement de protection externe est souvent en PEHD
[11] https://www.dhcnews.com/poser-manchons-reseau-de-chaleur/

Les joints en caoutchouc, faisant par exemple la liaison entre canalisations et/ou équipements de nature différente (ex : flexible / acier), peuvent se dégrader avec le temps, entraînant des fuites. Les joints trop secs et anciens sont particulièrement fragiles.

2.4. Les bras-morts

Certaines parties du réseau peuvent se trouver en eau et sous pression, sans pour autant qu'il y ait une circulation. C'est le cas des tronçons ou piquages posés par anticipation lors de développement de réseau, en attendant que des bâtiments soient raccordés, voire construits s'il s'agit de zones neuves. La stagnation de l'eau au niveau de ces bras morts peut être propice à une dégradation, cette fois-ci par l'intérieur, de la canalisation et/ou d'organes hydrauliques. Du point de vue du développement du réseau, il est tout de même intéressant de prévoir des piquages pour anticiper le développement, d'autant plus que ceux-ci sont généralement conservés sans circulation d'eau chaude pendant une période maitrisée de l'ordre de la durée de l'aménagement du quartier.

2.5. Autres localisations et sources de fuites

Dans les faits, des fuites sont susceptibles d'apparaître – et apparaissent – en tout point du réseau de distribution : au niveau de coudes, comme en plein linéaire… Elles sont d'ailleurs plus problématiques lorsqu'elles surviennent sur des **zones non visitables**, où elles vont nécessiter l'utilisation de techniques de repérage pour pouvoir être traitées.

***Nota** : les zones inondables et les zones ayant subi des travaux de voirie sont autant de secteurs où peuvent survenir des fuites à répétition.*

2.5.1. Points hauts et bas

Les points hauts et bas des réseaux sont des localisations possibles de fuites, qui nécessitent d'être traités par des purges d'air (points haut) ou des vidanges (points bas). Il arrive que les purges et vidanges soient mal conçues ou mal réalisées ce qui provoque l'apparition de fuites. En particulier les points bas peuvent être noyés une grande partie de l'année et être des points d'entrée d'humidité dans les tuyauteries préisolées.

2.5.2. Excès de débit – pression

De nombreux réseaux existants font l'objet de programmes de développement, qui consistent à étendre et/ou densifier le réseau en raccordant de nouveaux bâtiments. Certains tronçons peuvent voir leur charge augmenter sensiblement sous l'effet de ces nouveaux besoins, ce qui se traduit par exemple par des vitesses de circulation plus élevées, ou encore une pression plus importante. S'ils ne sont pas renforcés, voire remplacés, ces tronçons peuvent subir des casses à répétition, d'autant plus s'ils étaient déjà fragilisés.

Outre les augmentations de charge liées aux développements, les pointes d'appel de puissance en hiver, l'intermittence des besoins, ou encore l'interruption du fonctionnement en été, sont aussi des facteurs de variation du régime de distribution pouvant avoir une incidence sur la pérennité du réseau à plus ou moins long terme.

Retour d'expérience

À La Rochelle, le réseau de chaleur des quartiers Port-Neuf et Mireuil est historiquement alimenté par la chaleur issue d'une usine de traitement thermique des déchets. Suite à des travaux de rénovation des chaudières de récupération, la quantité d'énergie valorisée sur le réseau a pu être augmentée. L'augmentation des débits véhiculés a entrainé l'apparition de casses à répétition sur un secteur fragile, et sous dimensionné.

La communauté d'agglomération de La Rochelle a donc décidé de refaire le réseau primaire intégralement à neuf, pour garantir une fourniture de qualité tout en valorisant la chaleur de récupération disponible.

2.5.3. Dilatation des canalisations

La température de distribution de la chaleur à travers le réseau est elle aussi étroitement liée aux paramètres précités. Sous l'effet des variations de température, les canalisations se dilatent ou se rétractent, et subissent donc d'importantes **contraintes mécaniques** associées à ces déformations.

Les casses liées aux efforts de dilatation sont donc plus fréquentes lors des changements de température de distribution (phases de montée / descente en température) : à l'intersaison lors de passage d'un régime haute température en hiver à basse température en été.

Pour être acceptables, les contraintes engendrées supposent une conception adaptée, qui passe par exemple par la mise en place :

- De **coudes** et changements de directions ;
- De **lyres** de dilatation pour les réseaux vapeur et U dans les canalisations enterrées ;
- De **compensateurs** de dilatation : cylindres munis d'un soufflet absorbant les mouvements ;

Figure 6 : Compensateur de dilatation – CA Grand Paris Sud

- De coussins de dilatation : matelas de mousse autour des tuyaux et vers l'extérieur des tuyaux au niveau des changements de direction, créant une réserve de mouvement ;

- Lorsqu'il n'y a pas de point fixe naturel formé par le terrain, de points fixes permettant de contraindre dans un sens particulier le déplacement des tuyaux : bague métallique fixée au tube et ancrée dans du béton armé[12].

2.5.4. Autres causes

Des causes plus spécifiques ont été identifiées sur quelques réseaux ayant subi des fuites à répétition sur un ou plusieurs tronçons. Citons par exemple :

- Les **contraintes verticales**, déjà évoquées pour leurs effets indirects sur les plaques de caniveau, peuvent aussi avoir des effets directs sur les réseaux enterrés ;
- Les **malfaçons / défauts de conception / réalisation** des travaux de pose et/ou des tests préalables à la mise en service ;
- Les **courants vagabonds** pouvant survenir au voisinage de voies ferrées ou encore de lignes de tramway (voir retour d'expérience ci-après)

Retour d'expérience

Au Mans, une conduite placée dans un caniveau - régulièrement inondé - au croisement d'une ligne de tramway a fait l'objet de nombreux percements. En près d'un an, une première conduite a été dégradée et remplacée par une nouvelle conduite, qui a connu les mêmes percements en un an également. Une pompe de relevage a été installée lors du remplacement de la seconde conduite, et la Métropole du Mans a fait réaliser une étude et des mesures afin d'évaluer la présence d'éventuels courants vagabonds.

L'étude a révélé que les conduites, et plus particulièrement les supports de fixation, subissaient des courants vagabonds durant les phases d'exploitation du tramway, qui disparaissaient pendant la nuit (corrélation avec l'arrêt du tramway). Associés à la présence d'eau en certains points du caniveau, ces courants vagabonds ont pu contribuer à la corrosion rapide des réseaux.

[12] Pour plus d'informations sur la gestion de la dilatation des réseaux de chaleur : https://www.dhcnews.com/la-gestion-de-la-dilatation/

3. MÉTHODES DE DIAGNOSTIC

Les graphiques présentés dans cette partie s'appuient sur l'analyse de 17 réseaux pour lesquels les données transmises étaient suffisamment exploitables. Le premier graphique informe sur la densité thermique linéaire de ces réseaux, qui varie entre 2 MWh/ml pour les moins denses, jusqu'à près de 9 MWh/ml pour les plus denses.

Figure 7 : Densité thermique linéaire des réseaux – source : Amorce

Pour rappel, les barres bleues correspondent à des réseaux de chaleur en régime de distribution « eau chaude », tandis que les barres orange correspondent aux réseaux en « eau surchauffée ».

***Nota** : les indicateurs de performance présentés et calculés dans la sous-partie suivante sont accessibles sur la publication de l'IGD et l'AMF, réalisée en partenariat avec AMORCE, le SNCU et l'USH : indicateurs de performance des réseaux de chaleur et de froid.*[13]

[13] http://www.amorce.asso.fr/media/filer_public/d0/f8/d0f88157-3941-4501-b6dc-f2384a114c7c/rct_31_igd-rdc-indic-perf.pdf

3.1. Indicateurs caractérisant la performance des réseaux

3.1.1. La consommation d'eau du réseau primaire

L'un des premiers indicateurs permettant de caractériser la **performance des réseaux** de chaleur est le taux d'appoint en eau du réseau. Révélateur du nombre et de l'ampleur des fuites, il se calcule en rapportant la quantité de mètres cubes d'eau « injectés » dans le réseau pour le maintenir en pression, sur la quantité d'énergie livrée par celui-ci au niveau des sous-stations.

Figure 8 : Taux d'appoint en eau des réseaux – source : Amorce

Les valeurs constatées pour ces réseaux de chaleur anciens sont pour la plupart proches de 0,1 m^3/MWh soit 100 litres d'eau consommés pour 1 MWh de chaleur livré. Les réseaux n°1 et 7 présentent un ratio très élevé, ce qui semble traduire un état particulièrement dégradé du réseau primaire de distribution, avec des fuites importantes.

Les valeurs constatées par AMORCE dans les rapports annuels d'exploitation d'autres réseaux de chaleur, ainsi que par des bureaux d'études dans le cadre de leurs missions de contrôle d'exploitation, ont permis de statuer sur les valeurs à partir desquelles un taux d'appoint en eau peut être considéré comme correct ou anormalement élevé :

- En dessous d'environ 0,050 m^3/MWh, le taux d'appoint en eau est considéré comme très bon ;
- Au-delà d'environ 0,150 m^3/MWh, le taux peut commencer à être considéré comme élevé.

Figure 9 : Exemples de taux d'appoint en eau d'un échantillon d'une vingtaine de réseaux de chaleur avec pour certains l'évolution avant et après rénovation en m3/MWh – source : Cerema

Attention, à état égal des tuyaux, le taux d'appoint en eau est plus élevé pour un réseau ayant une densité thermique plus faible. Il est ainsi pertinent d'indiquer la densité thermique du réseau en parallèle du taux d'appoint en eau.

Sur les réseaux neufs ou très récents, les appoints sont quasi uniquement dus aux raccordements (vidanges de branches).

3.1.2. Le rendement de distribution

Le rendement de distribution permet quant à lui d'apprécier la **qualité de l'isolation du réseau** de chaleur primaire (état du calorifuge). Il se calcule en rapportant la quantité d'énergie livrée au niveau des sous-stations, par la quantité d'énergie sortant de la chaufferie, ou des chaufferies le cas échéant.

Figure 10 : Rendement de distribution des réseaux primaires – source : Amorce

On remarque ici qu'aucun réseau de chaleur ayant répondu à l'enquête ne présente un rendement de distribution inférieur à 70%. Malgré leur âge avancé, certains réseaux présentent un rendement supérieur à 90%. C'est le cas des réseaux n° 9, 12, 14, 15 et 16 de l'échantillon.

Le rendement de distribution est à analyser au regard de la densité thermique et du régime de température (à densité thermique plus élevée ou régime de température plus bas, le rendement sera meilleur).

***Nota** : Le rendement de distribution indiqué sur ce graphe est le rendement moyen annuel. Le rendement de distribution peut varier entre l'hiver et l'été si le réseau livre une part importante de chaleur servant pour faire de l'eau chaude sanitaire. En effet, en été, le rendement des réseaux qui ne livrent que l'ECS est plus faible qu'en hiver. Il est donc possible qu'un réseau ait un rendement hivernal autour de 98%, mais un rendement moyen de distribution sur l'année plutôt autour de 85%, étant impacté par les pertes liées au puisage faible en été.*

3.1.3. Le taux d'interruption du service

Plus difficile à calculer, le taux d'interruption pondéré du service reste néanmoins un indicateur pertinent pour attester de la **qualité du service** rendu aux usagers. Exprimé en pourcent(s), il se calcule à l'échelle d'un réseau de chaleur en divisant :

- Le produit des heures d'interruption de service[14] (arrêt de fourniture pour maintenance, fuite, panne, *etc.*) par la puissance souscrite des abonnés impactés par ces interruptions ;
- Par le produit du nombre d'heures total de fonctionnement prévu, et de la puissance totale souscrite par les abonnés.

***Nota** : le taux d'interruption du service peut aussi se calculer à l'échelle d'un abonné en rapportant le nombre d'heures d'interruption de la fourniture, sur le nombre d'heures total de fourniture prévu.*

Figure 11 : Taux d'interruption pondéré du service – source : Amorce

Seuls 8 des réseaux ont renseigné cet indicateur dans le questionnaire. Cela peut tenir au fait que le taux d'interruption est parfois difficile à calculer : difficulté sur certains réseaux à distinguer les interruptions totales ou partielles de fourniture de chaleur, difficulté à estimer la durée effective d'interruption, difficulté à ne compter que les interruptions non maîtrisées (par rapport à des interruptions liées à des coupures pour nouveaux raccordement ou pannes en sous-station) *etc.* Toujours est-il que 4 des 8 répondants ont indiqué avoir eu un taux d'interruption du service nul sur le dernier exercice. C'est à dire qu'aucun abonné n'a subi d'interruption de la fourniture de chaleur. Les 4 autres réseaux ont un taux d'interruption de service infime (< 0,2%).

3.1.4. Autres indicateurs

[14] Absence de fourniture pendant plus de 4 heures de chauffage, et d'eau chaude sanitaire le cas échéant.

D'autres données d'exploitation, qui ne nécessitent pas de calcul particulier, peuvent être révélatrices de l'état d'un réseau de chaleur comme le **nombre de fuites traitées** dans l'année permet très rapidement d'apprécier une éventuelle dégradation du réseau de distribution.

***Nota** : il convient d'être prudent dans l'analyse et l'interprétation de l'évolution de ces indicateurs de performance pour un réseau ayant fait l'objet de développements (extensions, densifications, etc.).*

3.2. Le repérage et la détection des fuites

Outre la réalisation de sondages successifs le long du réseau, il existe des moyens non destructifs pour repérer les fuites.

3.2.1. La thermographie

Figure 12 : Thermographie par drone du réseau de Vénissieux, Dalkia

L'utilisation d'une caméra thermique permet de déceler des fuites ou défauts d'isolation sur le réseau (absence / dégradation de l'isolant). La thermographie aérienne met en évidence des **« tâches thermiques »** sur le tracé du réseau, qui peuvent révéler des zones fragiles ou déjà dégradées. Grâce à cette visualisation à distance, les programmes de rénovation peuvent être anticipés.

Le repérage des fuites est d'autant plus aisé que l'écart de température est important, d'où une utilisation accrue en hiver, et sur les réseaux haute pression / haute température.

Attention, une thermographie seule ne permet pas d'affirmer la présence ou non de fuites. En effet, une tâche thermique peut également correspondre à la localisation plus ou moins profonde des canalisations, la température plus ou moins élevée de l'eau circulant à l'intérieur... L'idéal est de comparer plusieurs thermographies dans le temps (par exemple d'une année sur l'autre) : une tâche présente l'année N+1 et absente l'année N indique un problème (fuite, dégradation d'isolant).

***Nota** : la thermographie aérienne permet en outre d'élaborer une cartographie précise du réseau, et de suivre son évolution dans le temps au fil des développements et travaux dont il peut faire l'objet en phase d'exploitation. La thermographie peut être utile aux exploitants dans le cadre de l'obligation de référencement des réseaux en classe A (précision < 40cm) qui leur incombe.*

Le tableau[15] ci-après présente une liste des principaux avantages et inconvénients de plusieurs modes de survol de réseau avec une caméra thermique :

Type de transport	Principaux avantages	Principaux inconvénients	Exemple de coût (indicatif)
Drone[16]	Basse altitude de vol : de 1 à 150 m Mise en place rapide	Obligation de bloquer l'axe du vol Autorisation préfectorale obligatoire	Environ 1000€HT/jour
ULM	Aperçu du réseau complet grâce à l'altitude de survol	Nuisances (pollution, bruit)	110€/heure

Type de transport	Principaux avantages	Principaux inconvénients	Exemple de coût (indicatif)
Hélicoptère	Aperçu du réseau complet grâce à l'altitude de survol	Nuisances (pollution, bruit) Altitude de vol de 500m minimum	1440€/heure

[15] Selon http://blogpeda.ac-poitiers.fr/lp2i-si/2014/09/29/analyse-fonctionnelle-dun-ballon-captif-pour-thermographie-aerienne-1s3-gr-2-equipe-2/

[16] Selon le Cerema – Département Laboratoire d'Autun (qui possède plusieurs drones)

		Autorisation préfectorale obligatoire	
Avion	Aperçu du réseau complet grâce à l'altitude de survol	Nuisances (pollution, bruit)	110€/heure
Ballon captif	Pas de nuisances (bruit, pollution)	Mise en œuvre limitée à des petites zones Contrainte des conditions extérieures (vent, température)	30€/heure

Tableau 2 : Modes de survol pour réaliser une thermographie aérienne

Il est aussi possible, lorsque le tracé du réseau est connu, de le thermographier en véhicule roulant (camion/voiture/vélo…) ou même à pied avec la caméra à la main pour les petits réseaux.

3.2.2. L'endoscopie

La caméra endoscopique, méthode sur laquelle nous avons peu de retour, est un dispositif d'exploration et de visualisation de longue portée très performant, à la fois hermétique et souple, pouvant être utilisé pour introspecter les endroits cachés et difficiles d'accès, tels que les caniveaux. Une caméra endoscopique est un outil maniable, généralement équipé :

- D'une caméra vidéo miniature, à tête rotative ou figée, avec ou sans sonde, flexible, et capable de passer des coudes de 90° tels qu'on peut en retrouver sur des réseaux de chaleur ;
- D'un câble de longueur variable ;
- D'un compteur métrique et d'un écran de visualisation ;
- D'une source lumineuse LED à intensité variable ;
- D'un localisateur, et d'autres accessoires de précision.

Le choix de l'appareil varie en fonction du diamètre et de la nature des réseaux à examiner.

3.2.3. La détection par fil conducteur

La détection par fil est une méthode classique, désormais courante sur les réseaux récents. Nombre de réseaux pré-isolés sont équipés de ces fils qui, en cas de fuite, provoquent des variations de résistance électrique grâce auxquelles il est possible de connaître approximativement la localisation de la fuite. Bien qu'étant efficace, cette technique peut néanmoins s'avérer défaillante lorsque les fils se déconnectent, sous l'effet de la dilatation des réseaux après quelques années d'exploitation par exemple.

Figure 13 : Représentation de la détection par fil sur un tube préisolé

Exemple

Plusieurs technologies de détection par fil sont proposées par les principaux fabricants de tubes pré-isolés pour les réseaux de chaleur comme Isoplus, Logstor Wannitube, ou encore Brugg.

Par exemple, l'entreprise Wannitube propose deux systèmes de détection par fil : le système Delfin (fils Ni-Cr) et le système Nordique (Fils Cuivre).

Le système de détection Delfin se présente sous la forme de deux fils d'alarme Ni-Cr (Nickel Chrome) intégrés dans l'isolation des tubes et accessoires de jonction. La fonctionnalité du système est basée sur les propriétés de transmission de l'électricité de l'isolation, qui varient selon le degré d'humidité de la mousse isolante. La mesure de l'impédance fournit une indication sur la localisation de la zone humide. Les erreurs sont enregistrées à l'aide de boîtiers, qui peuvent transmettre l'information par modem à une centrale de surveillance. Ce procédé réalise également l'auto-diagnostic des pannes susceptibles d'apparaître sur le réseau.

Le système de détection Nordique se présente quant à lui sous la forme de fils d'alarme en cuivre. Il s'agit aujourd'hui d'un procédé répandu. Les fils d'alarme sont facilement installables durant l'assemblage des canalisations pré-isolées. La longueur maximale peut atteindre 7000m en détection et 2500m en localisation.

3.2.4. L'injection d'hélium

Cette technologie est particulièrement adaptée aux réseaux de gros diamètre et sur des linéaires importants, quelle que soit la nature du matériau (métallique ou plastique). Une quantité plus ou moins importante d'hélium (selon le volume et les débits de circulation du réseau) est injectée en amont du réseau en service à diagnostiquer, au niveau de la chaufferie, ou sur un point décentralisé, au niveau d'une sous-station. Une fois l'hélium dissout de manière homogène (moins d'une journée), s'il existe une fuite, l'eau et l'hélium s'en échappent et imprègnent le sol. Le cas échéant c'est la détection d'hélium en surface du sol, au droit des canalisations, qui indique la présence de la fuite.

Plusieurs kilomètres de réseau peuvent ainsi être vérifiés en une journée. Le phénomène physico-chimique débute moins d'une journée après l'injection, et peut durer plusieurs jours pendant lesquels le réseau va être inspecté à raison de quelques kilomètres par jour.

***Nota** : la recherche de fuite par injection d'hélium est adaptée aux réseaux enterrés, mais pas aux réseaux à eau surchauffée pour lesquels les fuites s'écoulent dans le caniveau.*

3.2.5. Synthèse des différentes solutions

Le tableau ci-dessous récapitule les principaux avantages et inconvénients de quelques moyens de détection de fuites :

Type de détection	Principaux avantages	Principaux inconvénients
Thermographie infrarouge	Pas d'intervention physique sur le réseau Couverture de l'ensemble du réseau	Précision des résultats (impact de la profondeur, etc.) Nécessité de multiplier les thermographies dans le temps
Endoscopie	Résultats très précis	Ne couvre qu'une partie du réseau Coût relativement élevé
Fil	Rapidité et précision de l'identification	Concerne les réseau pré-isolés récemment mis en œuvre
Hélium	Résultats précis	Ne couvre qu'une partie du réseau

Tableau 3 : Comparaison des principaux moyens de détection des fuites

***Nota** : quels que soient les moyens par lesquels ils ont pu être identifiés, les fuites et les autres problèmes rencontrés sur le réseau de distribution ont tout intérêt à être intégrés dans les systèmes d'information géographique (SIG), en complément des autres informations techniques essentielles (diamètre nominal, année de mise en œuvre, profondeur, regards, chambres de vannes et autres organes hydrauliques, etc.).*

4. TRAVAUX DE RÉNOVATION

4.1. Types de travaux de rénovation effectués

4.1.1. Réparation des fuites et remplacement de tronçons

Dans notre enquête, la majorité des travaux de rénovation réalisés ou prévus sont des remplacements de canalisations vétustes. En effet, outre le traitement curatif de fuites, effectué dans l'urgence et « au fil de l'eau », il est souvent prévu de remplacer des tronçons dans leur intégralité :

- Après détection de fuites et sondages à proximité, qui permettent de juger de la nécessité ou non de remplacer le tronçon ;
- Par anticipation, en remplaçant tous les tronçons d'un certain âge.

Retour d'expérience

Sur le réseau de chaleur des Hauts de Garonne à Bordeaux, il a été décidé de remplacer tous les tronçons historiques datant de la création du réseau.

Sur le réseau de chaleur principal de Grenoble, il a été décidé de procéder au remplacement de tous les tronçons qui ont plus de 50 ans.

Le coût de remplacement des tronçons varie en moyenne de 500 à 1000€/ml, voire plus lorsqu'il s'agit de travaux sur des diamètres importants en milieu urbain dense. En effet, le coût de remplacement dépend essentiellement du diamètre de la canalisation remplacée ainsi que des conditions de mise en œuvre (plus cher en zone urbaine dense).

Le remplacement des tuyaux :

Les anciennes canalisations sont enlevées, et de nouvelles sont mises en lieu et place. Pour cela, l'alimentation du tronçon concerné est coupée. Si ces travaux sont *a priori* plus coûteux et peuvent provoquer une interruption de la fourniture de chaleur (s'il n'est pas installé de chaufferie mobile provisoire), ils ont l'avantage de ne pas modifier le tracé du réseau, ni d'encombrer davantage le sous-sol. Aussi, les canalisations remplacées peuvent être traitées de façon appropriée.

Figure 14 : Remplacement de réseau à l'identique

Le « renforcement » de réseau :

Dans d'autres situations, qui semblent être très fréquentes, les nouvelles canalisations sont installées en parallèle des canalisations existantes. En procédant de cette manière, on évite d'interrompre la fourniture de chaleur aux abonnés puisque la canalisation vétuste est toujours en fonctionnement pendant la mise en place de la nouvelle. En revanche cette pratique contribue à l'encombrement du sous-sol si l'ancienne canalisation n'est pas enlevée mais laissée à même le sol. Les anciennes canalisations deviennent alors des déchets abandonnés, et non traités. De plus, le tracé du réseau se trouve être légèrement modifié.

Figure 15 : Mise en place d'un nouveau tronçon en parallèle

Nota : *cette pratique visant à laisser le réseau vétuste en place n'est pas toujours applicable, en particulier dans les zones urbaines denses et/ou en caniveau, où l'espace disponible est fortement contraint.*

4.1.2. Passage de haute pression à basse pression

Même s'il ne s'agit pas à proprement parler de travaux de rénovation, la diminution du régime de distribution de haute à basse pression et température peut entrainer jusqu'à 50% de diminution des pertes thermiques du réseau.

Principaux avantages	Précautions à prendre
Possibilité d'exploiter de nouvelles sources d'énergie renouvelable et de récupération, disponibles à des températures plus basses	Nécessite l'adaptation des sous-stations, voire du secondaire (émetteurs, etc.)
Diminution des pertes thermiques	Vérifier le diamètre et éventuellement remplacer certains tronçons du réseau primaire pour l'adapter à une augmentation de débit
Moins de contraintes réglementaires/d'exploitation	Augmentation du risque de corrosion des supports et des canalisations

Tableau 4 Principaux avantages et inconvénients du passage en basse pression

Si certains réseaux existants passent l'intégralité du réseau de distribution en basse pression, d'autres se contentent d'effectuer les extensions en basse pression en mettant en place des sous stations d'échange HP/BP et en conservant le réseau historique en eau surchauffée.

Figure 16 : Sous-station d'échange HP/BP du réseau Centre Métropole de Lyon

→ Voir retour d'expérience de Bordeaux Métropole en annexe

4.1.3. Sécurisation de réseau

La sécurisation du réseau de distribution passe par l'installation **d'organes d'isolement**, disposés de telle sorte que la fourniture de chaleur puisse être maintenue sur un maximum de tronçons tout en stoppant la circulation de l'eau sur la zone problématique.

Le **maillage du réseau** est également un levier majeur de sécurisation de la fourniture :

Figure 17 : Principe du maillage d'un réseau de distribution – source : Cerema

Les réseaux de très grande envergure (ex : Paris, Grenoble, *etc.*) sont plus facilement disposés à être maillés, que de petits réseaux pour lesquels les abonnés sont éloignés les uns des autres.

Retour d'expérience

Dans le cadre du nouveau contrat de DSP confié par la Métropole du Grand Lyon à ELM (filiale de Dalkia), le réseau de chaleur et de froid « Centre Métropole » fait l'objet de travaux de sécurisation de la fourniture en cas d'aléa sur un tronçon. En créant 8 bouclages sur le réseau de chaleur, et 2 sur le réseau de froid, chaque point de livraison pourra être alimenté par 2 voire 3 solutions.

4.1.4. Principaux travaux effectués sur l'échantillon enquêté

Figure 18 : Répartition des principaux travaux de rénovation effectués sur l'échantillon enquêté

4.2. Programmation et financement des travaux

4.2.1. Programmation des travaux de rénovation

Une fois les problèmes connus et les diagnostics analysés, un programme pluriannuel de travaux de rénovation est souvent réalisé, en classant les tronçons par priorité d'intervention.

Retour d'expérience

Dans le cadre du nouveau contrat de DSP du réseau de chaleur des Hauts de Garonne à Bordeaux, une rénovation globale a été planifiée pour aller plus loin que les réparations ponctuelles des fuites. Elle est structurée selon une priorisation par tronçon :

- En rouge : tronçons de réseau les plus sinistrés, qui ont subi des fuites régulières sur les dernières années ;
- En orange : tronçons du réseau dans la continuité des tronçons de première urgence, présentant un risque fort à court terme, et tronçons stratégiques du réseau ;
- En jaune : tronçons dans un état moins critique mais dont le remplacement est prévu ;
- En vert : tronçons en bon état.

Figure 19 : Plan du réseau Hauts de Garonne avec priorisation des rénovations

***Nota** : pour définir le plan de renouvellement à prévoir lors du renouvellement d'une DSP, certains contrats prévoient la réalisation, par le délégataire, de sondages sur le réseau à l'approche de la fin du contrat.*

4.2.2. Financement des travaux de rénovation

Pour la plupart des répondants (9 réseaux), les travaux de rénovation du réseau primaire sont financés par le **compte P3** (composante R23 de l'abonnement) de provisions pour le **gros entretien et renouvellement** des équipements, tout au long du contrat.

Dans certains cas, le renouvellement du contrat de DSP prévoit la réalisation de nouveaux investissements par le délégataire pour rénover le réseau (remplacer ou renforcer des tronçons). Le cas échéant ces investissements (P4, composante R24 de l'abonnement) peuvent être associés à des programmes d'extension et/ou densification du réseau historique.

***Nota** : pour rappel, outre les créations de réseaux de chaleur, le Fonds chaleur de l'ADEME accompagne les projets d'extensions et de densification des réseaux existants. Aussi, plusieurs fiches CEE d'opérations standardisées sont dédiées à des actions de rénovation des réseaux de chaleur :*

- RES-CH-103 : Réhabilitation d'un poste de livraison de chaleur d'un bâtiment tertiaire
- RES-CH-104 : Réhabilitation d'un poste de livraison de chaleur d'un bâtiment résidentiel
*- RES-CH-105 : Passage d'un réseau de chaleur **en basse température***
*- RES-CH-106 : Mise en place d'u**n calorifugeage des canalisations** d'un réseau de chaleur*
*- RES-CH-107 : **Isolation de points singuliers** sur un réseau de chaleur*

Nota : Les actions d'économies d'énergie réalisées sur les réseaux de chaleur dont la production est soumise aux quotas de CO2 (installations classées pour la protection de l'environnement mentionnées à l'article L. 229-5 du code de l'environnement) ne peuvent pas donner lieu à la délivrance de CEE pour le moment mais cela devrait évoluer en 2019 dans le cadre de la loi PACTE.

Retours d'expérience

➔ *A La Rochelle : renouvellement d'une DSP pour créer un nouveau réseau intégralement.*

➔ *A Limoges, un avenant au contrat en cours a été signé pour procéder à une légère augmentation du prix de la chaleur et effectuer d'importants travaux de rénovation qui n'étaient pas prévus initialement.*

➔ *A Châteaubriant, de nombreuses fuites sont apparues sur le réseau pourtant récent. Il s'est avéré que des malfaçons sur les soudures pendant les travaux étaient à l'origine de ces défaillances. La reprise des points défaillants a été imputée à la charge de l'entreprise concernée.*

***Nota** : les coûts de rénovation des réseaux de chaleur dépendent de plusieurs paramètres, dont :*
- Le milieu dans lequel sont réalisés les travaux (rural, urbain dense, etc.)
- Le diamètre des canalisations concernées ;
- Le fait qu'il s'agisse de travaux par partie de tronçons ou de tronçons dans leur intégralité (ce qui n'implique pas la même mobilisation de moyens sur le chantier) ;
- La mutualisation ou non de ces travaux avec d'autres travaux (fibre optique, autres réseaux).

Figure 20 : Répartition des modes de financement des travaux sur l'échantillon enquêté

Enfin, il est apparu dans cette enquête que la réalisation du schéma directeur du réseau de chaleur intervenait assez peu sur la question du renouvellement du réseau de distribution (6 cas seulement sur l'échantillon). Cela étant, le schéma directeur d'un réseau de chaleur est un outil pertinent pour planifier au mieux la rénovation d'un réseau.

4.3. Problèmes résolus et améliorations constatées

Les réseaux ayant fait l'objet de ces travaux de rénovation ont évidemment vu le nombre de fuites diminuer, ce qui s'accompagne :

- D'une **diminution des appoints** d'eau sur le réseau, et donc d'économies de consommation d'eau et d'énergie ;
- D'une **augmentation du rendement** de distribution primaire du fait de la meilleure résistance thermique des canalisations, et donc là aussi d'économies d'énergies ;
- D'une **meilleure qualité de service** rendu aux usagers (moins d'interruptions de la fourniture, meilleure satisfaction clients) ;
- D'une **réduction des contraintes**, notamment réglementaires, pour les réseaux ayant fait l'objet d'un passage en basse pression ;
- Et dans certains cas, d'une **baisse de tarif**, notamment lorsque ces travaux s'insèrent dans un renouvellement de DSP (ex : - 30% en moyenne au Mans, - 5 / 10% à La Rochelle).

CONCLUSION

Près de la moitié des réseaux de chaleur français ont déjà plus de 40 ans. A l'heure où la chaleur renouvelable et de récupération se développe en masse sur ces réseaux structurants, la question du remplacement des réseaux vieillissant et défectueux se pose aux maîtres d'ouvrage.

Cette enquête a permis de mettre en avant les principales agressions externes subies par les réseaux de chaleur, et les points les plus touchés par la corrosion, susceptibles de provoquer des fuites. Elle a également permis de souligner l'importance d'anticiper les échéances contractuelles pour définir et planifier au mieux les travaux de renouvellement à prévoir. C'est en ce sens que les retours d'expérience tirés de cette enquête apportent aux collectivités des références en matière d'indicateurs de performance, pour caractériser leurs réseaux anciens, des éclairages sur les outils existants pour le repérage et l'identification des fuites, des bonnes pratiques et des solutions pour rénover un réseau, et des éléments sur la programmation et le financement des travaux. En conséquence de la rénovation des réseaux, les fuites ont été diminuées, la consommation d'eau et d'énergie réduite, le rendement augmenté, la qualité de service rendu aux usagers a été améliorée, tout en réduisant les contraintes pour les réseaux passant en basse pression, et, notamment lorsque les travaux s'insèrent dans un renouvellement de DSP, en baissant le tarif à l'usager (-30 % en moyenne au Mans et -5 à 10 % à La Rochelle).

Au-delà des travaux de rénovation, il est essentiel pour les maîtres d'ouvrage de réseau de chaleur de mener une réflexion sur l'évolution et le développement de leur réseau prenant en compte la qualité du service, la recherche d'efficacité énergétique et d'intégration de nouvelles énergies vertes. Le schéma directeur du réseau de chaleur doit être mobilisé dans ce cas. Il permettra de dresser un état des lieux et un diagnostic des équipements et des besoins en énergie actuels et à venir et d'identifier les sources d'énergies locales pouvant être utilisées. A partir de ces éléments, il sera possible de tester plusieurs scénarios d'évolution et d'en retenir un qui intégrera les travaux de rénovation à engager.

Bibliographie

Indicateurs de performance :
http://www.amorce.asso.fr/fr/espace-adherents/publications/rdc/developpement/rct-31-indicateurs-de-performance-pour-les-reseaux-de-chaleur-et-de-froid/

Thermographie aérienne par ballon captif :
http://www.phodia.com/activites/thermographie-aerienne/

Dilatation des réseaux de chaleur :
https://www.dhcnews.com/la-gestion-de-la-dilatation/

Détection de fuite par injection d'hélium :
http://www.axeo-tp.fr/eau-potable-techniques-speciales/diagnostic

Détection de fuite par ultrasons :
http://www.uesystems.eu/fr/applications-fr/detection-de-fuite/

Techniques d'optimisation des réseaux de chaleur
http://reseaux-chaleur.cerema.fr/techniques-doptimisation-des-reseaux-de-chaleur

http://www.amorce.asso.fr/fr/espace-adherents/publications/rdc/developpement/rct-34-etude-inddigo-optimisation-des-reseaux-de-chaleur-pour-le-developpement-des-bbc/

Fiches CEE du secteur réseau de chaleur
https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/operations-standardisees-deconomies-denergie#e7

Glossaire

BP	Basse Pression
CEE	Certificat d'Économie d'Énergie
DSP	Délégation de Service Public
ECS	Eau Chaude Sanitaire
EnR&R	Énergie Renouvelable et de Récupération
GER	Gros Entretien et Renouvellement
HP	Haute Pression
LED	Diode électroluminescente
Ni-Cr	Nickel Chrome
P3	Renouvellement programmé des équipements
P4	Financement des installations
PEDH	Polyéthylène Haute Densité
SIG	Système d'Information Géographique
UIOM	Usine d'Incinération des Ordures Ménagères

Table des illustrations

- Figure 1 : Caractéristiques des réseaux enquêtés 11
- Figure 2 : Synthèse détaillée des réponses à l'enquête - source : Cerema 13
- Figure 3 : Chambre de vanne du réseau Hauts de Garonne, source : Bordeaux Métropole 15
- Figure 4 : Réseau en caniveau - SEAPFA 16
- Figure 5 : Soudure –Smedar Vesuve 17
- Figure 7 : Compensateur de dilatation – CA Grand Paris Sud 20
- Figure 8 : Densité thermique linéaire des réseaux – source : Amorce 22
- Figure 9 : Taux d'appoint en eau des réseaux – source : Amorce 23
- Figure 10 : Exemples de taux d'appoint en eau d'un échantillon d'une vingtaine de réseaux de chaleur avec pour certains l'évolution avant et après rénovation en m3/MWh – source : Cerema .. 24
- Figure 11 : Rendement de distribution des réseaux primaires – source : Amorce 25
- Figure 12 : Taux d'interruption pondéré du service – source : Amorce 26
- Figure 13 : Thermographie par drone du réseau de Vénissieux, Dalkia 27
- Figure 14 : Représentation de la détection par fil sur un tube préisolé 30
- Figure 15 : Remplacement de réseau à l'identique 33
- Figure 16 : Mise en place d'un nouveau tronçon en parallèle 33
- Figure 17 : Sous-station d'échange HP/BP du réseau Centre Métropole de Lyon 34
- Figure 18 : Principe du maillage d'un réseau de distribution – source : Cerema 35
- Figure 19 : Répartition des principaux travaux de rénovation effectués sur l'échantillon enquêté . 36
- Figure 20 : Plan du réseau Hauts de Garonne avec priorisation des rénovations 37
- Figure 21 : Répartition des modes de financement des travaux sur l'échantillon enquêté 39
- Figure 22 : Schéma de principe d'une sous-station rénovée, sans ECS, du réseau Hauts de Garonne de Bordeaux Métropole 46
- Figure 23 : Schéma de principe d'une sous-station rénovée, avec ECS, du réseau Hauts de Garonne de Bordeaux Métropole 46

- Tableau 1 : Réseaux créés par décennie 7
- Tableau 2 : Modes de survol pour réaliser une thermographie aérienne 29
- Tableau 3 : Comparaison des principaux moyens de détection des fuites 31
- Tableau 4 Principaux avantages et inconvénients du passage en basse pression 34

Annexe – Exemple de passage HP à BP

Le réseau de chaleur de Bordeaux Métropole a été construit en 1970, en même temps que l'usine d'incinération des déchets de Cenon. En 2009, lors du renouvellement de la concession, le réseau de chaleur est passé de haute à basse pression : d'un fonctionnement initial en eau surchauffée à 180°C départ / 160°C retour, à un fonctionnement en eau chaude à 105°C départ / 70°C retour. Un certain nombre de travaux d'adaptation, accompagnant ce changement de régime, ont dû été réalisés :

- Passage de la chaufferie en basse pression
  « Le passage en basse pression de la chaufferie a nécessité de remplacer les échangeurs d'interface avec l'UIOM afin de garantir un enlèvement de 24 MW maximum. Le départ principal est modifié pour obtenir deux départs séparés qui véhiculeront chacun 50 % de la puissance totale nécessaire. »
- Remplacement de toutes les sous-stations et des ballons de production d'ECS
  « Le changement des conditions de températures du réseau primaire, du delta de température et du débit nécessaire impose le <u>remplacement de tous les échangeurs primaires</u> et des organes de réglage et de sécurité. Les sous-stations sont entièrement revues et rénovées pour adopter ce nouveau mode de fonctionnement. »

  Installation d'un système de gestion technique centralisée avec accès en temps réel aux données de la sous-station, y compris pour les abonnés. Remplacement et installation de tous les ballons d'ECS sur le réseau primaire afin de réduire les risques sanitaires liés à la légionellose (température de stockage > 60°C).
- Bouclages du réseau sur 2 communes, avec la construction de 3 artères.
- Extension : raccordement de 8 sous-stations supplémentaires.
- Utilisation de chaufferies mobiles autonomes

Cinq chaufferies mobiles de moins de 2MW chacune fonctionnant au fuel domestique ont été utilisées.

***Nota** : Afin de limiter les émissions de gaz à effet de serre, et de contribuer aux enjeux de développement des énergies renouvelables, il existe également des chaufferies mobiles fonctionnant au bois. Cela permet d'assurer au maximum la continuité de service pendant les travaux.*

Au total, la rénovation de 97 sous-stations, avec passage en basse pression, a coûté 4 690 k€HT.

Figure 21 : Schéma de principe d'une sous-station rénovée, sans ECS, du réseau Hauts de Garonne de Bordeaux Métropole

Figure 22 : Schéma de principe d'une sous-station rénovée, avec ECS, du réseau Hauts de Garonne de Bordeaux Métropole

Une note de 4 pages reprenant les informations essentielles de la présente publication intitulée « Rénover un réseau de chaleur » est disponible sur www.amorce.asso.fr (référence RCT49) et sur www.reseaux-chaleur.fr .

AMORCE

18, rue Gabriel Péri – CS 20102 – 69623 Villeurbanne Cedex

Tel : 04.72.74.09.77 – **Fax** : 04.72.74.03.32 – **Mail** : amorce@amorce.asso.fr

www.amorce.asso.fr - @AMORCE