



Schéma directeur du réseau de froid parisien

Mai 2019





CONSEIL ET INGÉNIERIE EN DÉVELOPPEMENT DURABLE

RÉDACTEURS



Gaëtan REMOND
Sylvain REBILLAT
Edouard NOUVELLON

SIÈGE SOCIAL - 367, avenue du Grand Ariétaz
73024 CHAMBÉRY CEDEX
INDDIGO SAS au capital de 1 500 000 €
RCS CHAMBÉRY - APE 7112B
SIRET 402 250 427 00026

Inddigo
40, rue de l'Échiquier
75010 PARIS

Tél. : 01 42 46 29 00
Fax : 01 45 23 49 01
E-mail : paris@inddigo.com

www.inddigo.com



SOMMAIRE

Liminaire	7
Préambule	8
1. Synthèse	10
2. présentation du réseau de froid	12
2.1 Schéma et historique du montage juridique	12
2.2 Plan du réseau	14
2.3 Principales caractéristiques du réseau de froid.....	15
2.3.1 <i>Mix énergétique</i>	15
2.3.2 <i>Diffusion de chaleur</i>	15
2.3.3 <i>Installation sur eau non potable et eaux usées</i>	16
2.3.4 <i>Electricité verte</i>	17
2.3.5 <i>Le réseau de distribution</i>	17
2.3.6 <i>Les usagers du réseau</i>	18
2.3.7 <i>Le contenu CO₂</i>	19
2.4 Typologies d'abonnés	20
2.5 Note sur la gestion du réseau de froid	21
2.6 Caractéristiques des centrales de production	22
2.7 Structure tarifaire	23
2.8 Plan pluriannuel d'investissement du réseau.....	24
3. Grille d'indicateurs du réseau	25
3.1 La disponibilité du froid.....	25
3.2 La durabilité	30
3.3 La pérennité des installations	35
3.4 La satisfaction des usagers.....	36
3.5 Gestion de la facturation du service	38
4. Analyse du contexte contractuel	39
4.1 Les pièces contractuelles.....	39
4.2 Les polices d'abonnement	41
4.3 Les contrats d'achat d'énergie	42
4.4 Les contrats de vente d'électricité.....	42
4.5 Les contrats de vente de chaleur	43
5. Audit technique	44
5.1 Les centrales de production.....	44
5.1.1 <i>Caractéristiques des équipements de production</i>	44
5.1.2 <i>Organisation générale pour la conduite et l'exploitation</i>	52

5.1.3	<i>Situation des centrales au regard de la réglementation</i>	53
5.1.4	<i>Suivi de la marche des équipements</i>	56
5.1.5	<i>Fuites de fluide frigorigène</i>	59
5.1.6	<i>Bilan des consommations d'énergie</i>	59
5.1.7	<i>Travaux de rénovation ou de mise à niveau à programmer</i>	62
5.2	Le réseau de distribution et les sous-stations	63
5.2.1	<i>Données caractéristiques du réseau</i>	63
5.2.2	<i>Principaux travaux de réparation, de renouvellement et d'extensions réalisés</i>	66
5.2.3	<i>Analyse des incidents majeurs</i>	68
5.2.4	<i>Caractéristiques techniques des sous-stations</i>	71
5.2.5	<i>Rendement du réseau</i>	74
5.2.6	<i>Adéquation des puissances</i>	75
5.2.7	<i>Moyens de comptage</i>	75
5.2.8	<i>Sécurisation de la fourniture d'énergie</i>	76
5.2.9	<i>Organisation générale pour la conduite et l'exploitation</i>	76
5.3	Patrimoine raccordé.....	77
5.4	Audit économique.....	78
5.4.1	<i>Compte d'exploitation</i>	78
5.4.2	<i>Bilan comptable</i>	80
5.4.3	<i>Structure tarifaire</i>	81
6.	La concertation	83
6.1	Atelier n°1 - La réflexion sur les ressources mobilisées	84
6.2	Atelier n°2 - Le niveau d'ambition de développement du réseau de froid	85
6.3	Atelier n°3 - Les opportunités de mutualisation avec les réseaux existants	86
6.4	Atelier n°4 et n°5 – Citoyens « Volontaires du climat » et abonnés.....	86
6.4.1	<i>Risques soulignés sur l'évolution du réseau froid</i>	86
6.4.2	<i>Opportunités de développement identifiées</i>	87
6.4.3	<i>Synthèse de l'atelier</i>	87
7.	Le scénario d'évolution du réseau de froid	88
7.1	Les besoins de froid Parisiens.....	88
7.2	Etude comparative de 6 scénarios	91
7.3	Le potentiel de développement du réseau	93
7.3.1	<i>Potentiel de densification</i>	93
7.3.2	<i>Le potentiel d'extensions et créations de nouveau réseau</i>	95
7.3.3	<i>L'opportunité liée au développement de parcours fraîcheur</i>	97
7.3.4	<i>Les besoins de froid par arrondissement</i>	97
7.4	Projection des évolutions du réseau.....	98
7.4.1	<i>Les quantités d'énergie livrées par le réseau</i>	99
7.4.2	<i>Le développement des unités de production</i>	102
7.4.3	<i>Le développement du stockage de froid</i>	104
7.4.4	<i>Focus sur les monotones de puissance</i>	105
7.4.5	<i>Le réseau et les abonnés</i>	107
7.4.6	<i>Les indicateurs de suivi</i>	108

8.	Conclusion	109
9.	Annexes	110
9.1	Annexe 1 : Plan du réseau de froid	110
9.2	Annexe 2 : Plan Pluriannuel d'Investissement	110
9.3	Annexe 3 : Note sur la résilience du réseau de froid Parisien	110
9.4	Annexe 4 : Plan de financement	111
9.5	Annexe 5 : 6 scénarios analysés et comparés	113
9.6	Annexe 6 : Comptes rendus des ateliers de concertation	113
9.7	Annexe 7 : Définition ADEME du froid nécessaire (politique Fonds Chaleur)	113
9.8	Annexe 8 : Tableaux d'hypothèses	113

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 :	Plan du réseau de distribution de froid Parisien	14
Figure 2 :	Principe de climatisation à partir de l'eau non potable	17
Figure 3 :	Répartition des abonnés, source CRAC 2017	18
Figure 4 :	Segmentation des abonnés, source CRAC 2017	20
Figure 5 :	Puissance souscrite par type d'abonné	20
Figure 6 :	Répartition des contrats et puissances souscrites cumulées par tranche de puissance	21
Figure 7 :	Suivi de l'évolution de la différence de température, source rapport analyse CRAC 2016	22
Figure 8 :	Suivi du temps de fonctionnement par kW souscrit, Source rapport analyse CRAC 2016	25
Figure 9 :	Durée d'utilisation par kW froid sortie centrale	26
Figure 10 :	Suivi du taux d'interruption du service, Source rapport analyse 2016	27
Figure 11 :	Suivi du nombre d'arrêts par cause, Source rapport analyse CRAC 2016	28
Figure 12 :	Suivi du taux d'arrêts programmés	28
Figure 13 :	Evolution de la puissance souscrite par km de réseau	29
Figure 14 :	Suivi du taux de développement du réseau	30
Figure 15 :	Suivi des émissions de GES, Source rapport analyse CRAC 2016	30
Figure 16 :	Evolution du taux de fuite de fluide frigorigène, source rapport analyse CRAC 2016	31
Figure 17 :	Evolution des consommations d'eau pour le réseau de distribution, Source rapport analyse CRAC 2016	31
Figure 18 :	Répartition des consommations d'eau	32
Figure 19 :	taux de dissipation de chaleur par type d'exutoire	33
Figure 20 :	Suivi des accidents du travail, Source rapport analyse CRAC 2016	34
Figure 21 :	Evolution du prix moyen du MWh, Source rapport analyse CRAC 2016	36
Figure 22 :	Suivi des réclamations et avoirs, Source rapport analyse CRAC 2016	37
Figure 23 :	Suivi des litiges, Source CRAC 2017	38
Figure 24 :	Puissance installée par centrale de production	46
Figure 25 :	Schéma d'une centrale de production de froid, Source CRAC 2016	49
Figure 26 :	Suivi du BNO injecté dans les circuits TAR – Source : CRAC 2017	54

Figure 27 : Graphique de suivi des performances mensuelles des sites de la DSP - Source Analyse CRAC 2016	56
Figure 28 : Suivi des consommations en électricité des centrales - Source Analyse CRAC 2016.....	57
Figure 29 : Evaluation des économies d'électricité et niveau d'engagement des centrales EDS	58
Figure 30 : Suivi de l'injection de biocide, Source CRAC 2017	58
Figure 31 : Courbes de charge de production de froids et consommations en électricité	61
Figure 32 : Répartition par matériau des longueurs de réseau installées depuis le début de la concession - Source CRAC 2017	63
Figure 33 : Décomposition par période des longueurs de réseau posées et matériaux utilisés	64
Figure 34 : Répartition des investissements de développement et renouvellement.....	66
Figure 35 : Répartition des longueurs de réseau posées par tranche de 5 ans.....	66
Figure 36 : Suivi des fuites de fluide frigorigène, Source rapport analyse CRAC 2016.....	69
Figure 37 : Suivi échantillons legionella pneumophila - source CRAC 2015.....	69
Figure 38: Suivi de la puissance produite en juin 2017, Source CRAC 2017	71
Figure 39 : Nombre heures fonctionnement par kW souscrit, Source rapport analyse CRAC 2016	75
Figure 40 : Graphique d'évolution des résultats depuis 1991, source CRAC 2016	79
Figure 41 : Suivi de la rentabilité de la DSP, Source rapport d'analyse CRAC 2016.....	80
Figure 42 : Evolution de la surface climatisée en Europe - Source APUR/Commission Européenne	88
Figure 43 : Evolution de la surface climatisée en Europe - Source APUR/Commission Européenne	88
Figure 44 : Répartition des surfaces raccordées ou non au Réseau de froid	93
Figure 45 : Cartographie des renforcements de réseau pour la densification	94
Figure 46 : cartographie des gros consommateurs de froid	95
Figure 47 : cartographie des 20 secteurs de développement potentiel	96
Figure 48 : Secteurs de développement potentiel du réseau de froid	102
Figure 49 : Durée d'utilisation par kW froid sortie centrale	104

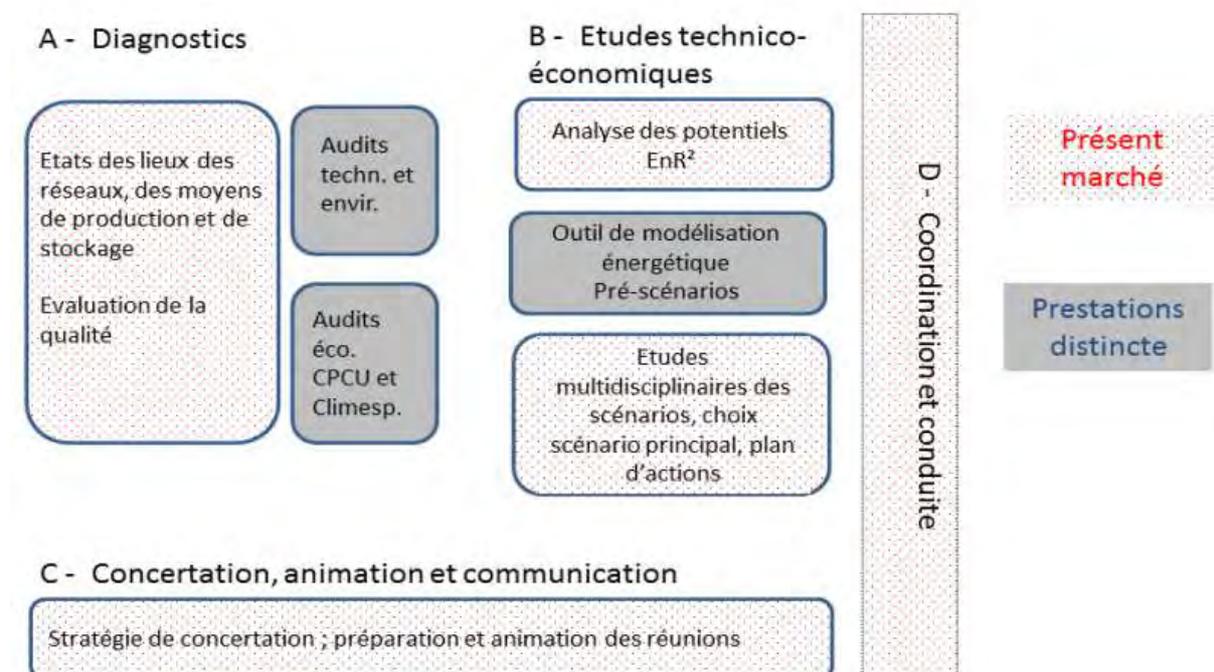
Tableau 1 : Tableau de suivi des recettes R1 et R2, Source rapport analyse CRAC 2016	36
Tableau 2 : Suivi des puissances souscrites par typologie d'abonnés, source CRAC 2017	72
Tableau 3 : Répartition des contrats par tranche de puissance, Source CRAC 2017.....	73
Tableau 4 : Compte d'exploitation, source rapport Ville de Paris d'analyse de la DSP 2016.....	79
Tableau 5 : Suivi du résultat net sur la période 2012-2016, source Rapport analyse CRAC 2016.....	80
Tableau 6 : suivi du poids des termes de facturation, source rapport analyse CRAC 2016 Ville Paris ..	81

LIMINAIRE

La Ville de Paris a confié au cabinet de conseil et ingénierie Inddigo la mission d'accompagnement pour l'élaboration de son schéma directeur des réseaux de chaleur et de froid. Cette réflexion vise à établir une stratégie de pilotage de l'évolution des réseaux. Le contexte Parisien présente des singularités, avec un réseau de chaleur très ancien (délégation de service public datant de 1927) et véhiculant de la vapeur pour valoriser la chaleur fatale des Unités de Valorisation Énergétique des Déchets (UVED). Le réseau de froid est en revanche beaucoup plus récent (DSP datant de 1991). Ce réseau est encore en phase de croissance forte et régulière.

L'étude concomitante de l'évolution des deux réseaux permet de faire émerger et favoriser les synergies entre ces deux infrastructures irriguant le territoire parisien. La production de froid nécessaire à l'alimentation du réseau de froid induit l'émission de chaleur, qui peut être utile au réseau de chaleur. Sur ce principe une centrale de production simultanée de chaud et de froid s'est développée sur le secteur de Paris Nord-Est, à partir d'une ressource géothermale.

Les différents volets menant à la construction des schémas directeurs sont présentés ci-dessous.



Le présent rapport constitue dans une première étape le schéma directeur du seul réseau de froid parisien. Cette présentation s'appuie sur la trame définie par AMORCE pour la réalisation d'un schéma directeur de réseau de chaleur ou de froid, recommandée par l'ADEME

PRÉAMBULE

Le Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'évolution du Climat (GIEC) alerte les Etats, dans son rapport publié le 8 octobre 2018, des lourdes conséquences d'une augmentation des températures au-delà de 1,5 °C.

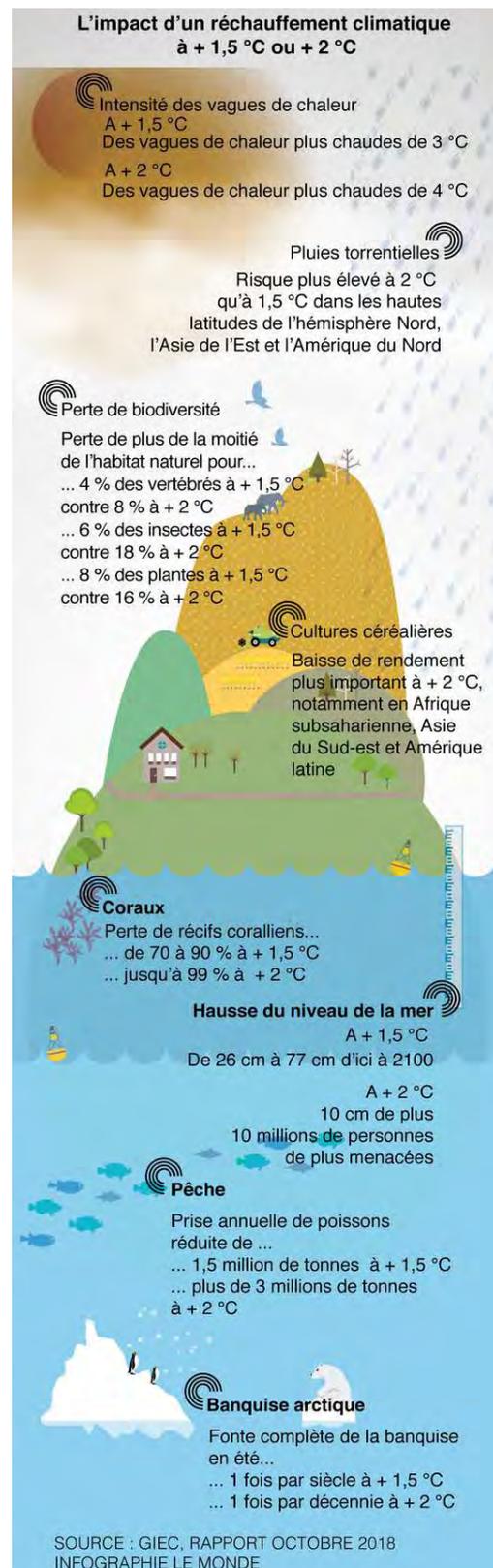
Ce rapport sur le réchauffement mondial de 1,5°C (par rapport à l'époque préindustrielle) commandé lors de la conférence des Nations unies de décembre 2015 en France (COP 21), est le premier rapport spécial jamais produit. Il donne à voir l'état de notre planète si l'accord de Paris rédigé lors de cette conférence était respecté. Ce traité international, signé par 197 Etats et ratifié par 188, vise à faire le maximum pour limiter le réchauffement du climat provoqué par les activités humaines à 2 °C, voire 1,5 °C.

Les émissions de gaz à effet de serre (GES) des activités humaines sont la principale cause du réchauffement climatique. Il n'y a plus de doute là-dessus. Ce dernier se produit à un taux de 0,17 °C par décennie depuis 1950. Ainsi, au rythme actuel, le monde connaîtrait une hausse de 1,5 °C de la moyenne des températures entre 2030 et 2052. En 2017-2018, nous avons déjà atteint 1 °C d'augmentation du mercure depuis l'époque préindustrielle. L'objectif de l'accord de Paris est donc de ne « gagner » que 0,5 °C maximum d'ici à 2100.

Or la trajectoire est mal engagée pour limiter la hausse à 1,5 °C. **Même si les Etats respectent leurs engagements pris à la COP 21**, ce qui n'est pour l'instant pas le cas pour la majorité des pays, **la planète se réchaufferait de 3 °C** d'ici à la fin du siècle. Ce qui entraînerait des catastrophes irréversibles autant pour les humains que pour beaucoup d'autres espèces vivantes. Le rapport du GIEC analyse les écarts d'impact entre un monde à +1,5°C et un monde à +2°C, illustrés ci-contre.

Il est donc plus qu'urgent d'agir et le Schéma Directeur du Réseau de froid Parisien s'inscrit dans cette démarche.

La gravité de la menace appelle des mesures immédiates, courageuses et ambitieuses, elle interpelle chacun sur ses responsabilités, à l'échelle de sa sphère d'influence et d'action.

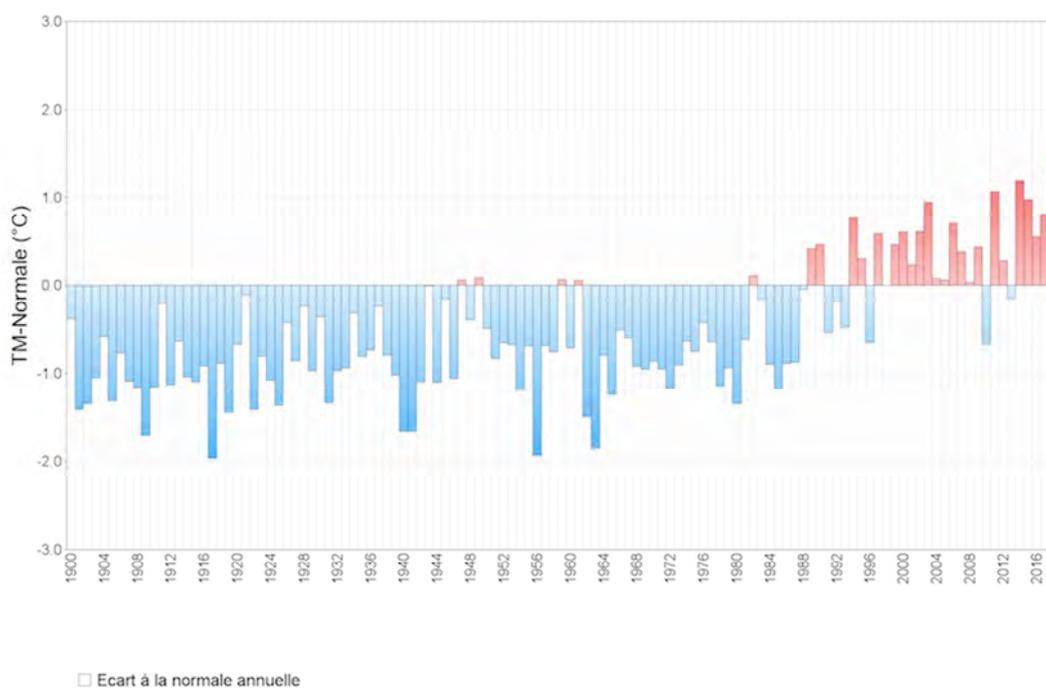


L'année 2018 est la plus chaude jamais mesurée en France métropolitaine. La moyenne annuelle des températures de l'Hexagone s'est élevée à 13,9 °C, du jamais vu depuis les premières mesures météorologiques recueillies en 1900. C'est 1,4 °C au-dessus des moyennes de la période de référence 1981-2010. Les précédents records avaient été enregistrés en 2014 (+ 1,2 °C) et en 2011 (+1,1 °C).

« 1,4 °C d'excédent par rapport aux températures moyennes, ça peut paraître peu, concède François Jobard, prévisionniste à Météo France, mais en réalité ça correspond à la différence thermique entre Paris et Toulouse. Or, en 2018, la capitale a justement expérimenté l'équivalent d'une année à Toulouse. »¹

Ecart à la moyenne annuelle de référence 1981-2010 de l'indicateur de température moyenne Zone climatique : France

1900 à 2018



Édité le : 04/01/2019 - Données du : 04/01/2019 à 15:49 UTC

Dans cette perspective de bouleversement climatique, le réseau de froid parisien devient un outil précieux d'inclusion et de résilience. De toute évidence les orientations du présent schéma directeur devront être réexaminées régulièrement pour s'adapter à des besoins émergents de protection de la population.

¹ Source [Alexandre-Reza Kokabi \(Reporterre\)](#), 7 janvier 2019

1. SYNTHÈSE

Le schéma directeur du réseau de froid parisien s'inscrit dans le plan d'actions du Plan Climat de la Ville de Paris. Déclinaison de la stratégie énergétique globale de la Ville, il doit définir les grandes lignes du renouvellement de la concession du service public de production et distribution de froid dans Paris. Cette étude a été menée de manière concomitante avec le schéma directeur du réseau de chaleur, afin de garantir une vision cohérente et de favoriser les synergies. Par la suite, le schéma directeur des réseaux de chaleur et de froid sera articulé par les schémas directeurs relatifs au gaz et à l'électricité.

Pour l'élaboration de ce schéma directeur, un travail d'audit des gisements et des besoins, ainsi qu'un travail de scénarisation a été engagé depuis le début de l'année 2018, suivi par des temps de concertation et d'échanges avec les principales parties prenantes (opérateurs, usagers, collectivités métropolitaines, aménageurs, mairies d'arrondissement, organismes et associations de l'énergie, ...). Les contours possibles du service public de livraison de froid aux horizons 2030 et 2050 ont été esquissés, un scénario mettant en œuvre ces orientations est proposé dans ce rapport.

Problématique

L'évolution de la quantité de froid livrée par le réseau détermine les moyens et les investissements à mettre en œuvre. Cette quantité de froid est déterminée par :

- l'évaluation des besoins des bâtiments à raccorder, en prenant en compte les efforts de sobriété et d'efficacité des bâtiments qui seront progressivement rénovés, mais aussi une évolution des besoins de froid en lien avec le bouleversement climatique ;
- le périmètre géographique desservi par le réseau, s'étendant à l'ensemble du territoire parisien ;
- l'ambition « commerciale » pour un service centralisé de froid face à des solutions autonomes voire individuelles à l'échelle de chaque bâtiment.

L'ambition est à mesurer au regard des investissements à engager par le futur délégataire, une trop forte capitalisation pouvant réduire le jeu de la concurrence, et surenchérir le prix de vente du froid au détriment de sa compétitivité et de son accessibilité pour les Parisiens. Au-delà, l'implantation de nouvelles centrales de production participe à la pression foncière, et les travaux de voirie à engager pour la distribution doivent rester acceptables pour le métabolisme de la ville.

Le réseau de froid est une infrastructure d'attractivité du territoire, mais aussi de résilience et d'inclusion pour faire face au bouleversement climatique et notamment aux pics de chaleur estivaux. Il devra nécessairement étendre son offre vers de nouveaux usages (logement) pour protéger les populations les plus sensibles et les plus exposées.

Déclinaison du Plan Climat, le scénario de son évolution considère comme point d'entrée les efforts de réductions des consommations de froid de chaque abonné. La résistance de l'infrastructure sera néanmoins testée par des études de sensibilité en cas de dérive dans le temps de l'effort de rénovation.

Cette hypothèse est intrinsèquement défavorable au modèle économique d'un réseau de froid, qui trouve mieux son équilibre en maximisant la quantité de froid délivrée et le nombre d'abonnés desservis. En considérant que le réseau présente des avantages indéniables face à des solutions autonomes (en termes d'émissions de gaz à effet de serre, de performance globale, de maîtrise du bruit), il est proposé d'envisager un fort développement du nombre d'abonnés desservis pour pérenniser l'outil.

Orientations

Par rapport au rythme de développement déjà dynamique de ces dernières années, il est proposé une multiplication par deux du nombre de nouveaux abonnés chaque année (50 nouveaux abonnés par an au lieu de 27 jusqu'alors), et une accélération de l'extension du périmètre desservi en multipliant par 2,5 l'augmentation annuelle des adresses desservies (installation de 5 km de réseau chaque année au lieu de 2 en moyenne durant la première DSP).

Pour maximiser l'usage du réseau, la diversification des usages et des usagers est recherchée, afin de contribuer à l'adaptation au dérèglement climatique (raccordement du résidentiel soumis à des contraintes de bruit). Cette diversification, accompagnée par la montée en puissance des établissements hospitaliers raccordés au réseau renforcera la dimension de service public de la distribution de froid.

Ce sont de l'ordre de 16 nouvelles installations de production à construire d'ici 2050 qui devront diversifier les exutoires de la chaleur fatale inhérente à la production de froid (vers le réseau d'eau non potable par exemple) de façon à renforcer la résilience du réseau. La mutualisation des ouvrages avec le réseau de chaleur parisien sera privilégiée (production géothermique combinée chaud/froid par exemple). En particulier, la chaleur fatale issue de la production de froid sera redirigée autant que possible vers le réseau de chaleur. A ce titre, le taux de valorisation de la chaleur fatale constituera un critère discriminant de la performance environnementale du réseau de froid. Le niveau d'investissement à réaliser pour développer les infrastructures de production et de distribution du réseau de froid est évalué à environ 1 170 millions d'euros, à horizon 2050.

Cette ambition est cohérente avec l'objectif de contenir le coût de production à un niveau stable pour l'abonné (hors inflation) à l'échelle d'un pas de temps de 30 ans, pour un froid parisien accessible et compétitif.

2. PRÉSENTATION DU RÉSEAU DE FROID

2.1 SCHÉMA ET HISTORIQUE DU MONTAGE JURIDIQUE

Le réseau de froid Parisien est exploité par le délégataire CLIMESPACE, pour l'autorité délégante, la Ville de Paris, via une délégation de service publique (DSP). L'objet de la DSP comprend la production, le transport, le stockage et la distribution d'énergie frigorifique par le réseau d'eau glacée sur un périmètre concédé délimité par la zone Seine Rive Gauche et le Centre de Paris, aux termes d'une Convention signée le 28 janvier 1991 pour une durée de 30 ans. Ce périmètre représente actuellement environ 43% du territoire Parisien (hors bois de Boulogne et bois de Vincennes).

La Convention initiale a été modifiée par 6 avenants. La date et l'objet des avenants est synthétisée ci-dessous :

- Avenant n°1 du 20 mai **1992** : complément de la police d'abonnement sur les périodes d'interruption de fourniture ; modification de la tarification dans la police d'abonnement ; modification de l'article du cahier des charges et de la police d'abonnement relatif à la facturation ;
- Avenant n°2 du 29 septembre **1992** : **élargissement du périmètre de la concession** ; modification des articles du cahier des charges relatifs au programme de travaux et à l'instruction des projets de réseaux et des implantations de centrale de production frigorifique ;
- Avenant n°3 du 25 octobre **1996** : modification de l'article relatif à la définition des biens de retour ;
- Avenant n°4 du 21 janvier **2004** : inclusion dans le périmètre concédé du service public de fourniture d'eau glacée, d'eau chaude, d'électricité de secours pour le forum des Halles, ses équipements publics, la voirie souterraine et une partie de l'établissement public du musée du Louvre ; complément des articles relatifs à l'exploitation et la gestion du service, de l'article relatif à la gestion environnementale, de l'article relatif à l'entretien et au renouvellement des installations, de l'article relatif à la redevance d'occupation du domaine public, et de l'article relatif au financement des travaux ;
- Avenant n°5 du 30 avril **2008** : incite le délégataire à poursuivre sa démarche de certification ISO, la politique de **développement des réseaux de froid dans Paris** ; renforce la transparence financière, technique, comptable et environnementale ; met à jour les modalités de tarification du service ;
- Avenant n°6 du 21 décembre **2015** : **extension du périmètre concédé sur les secteurs Paris Nord-Est (PNE), la Villette et Montparnasse** ; révision de la police d'abonnement et de la grille tarifaire avec la création d'une **offre pour les petites puissances comprises entre 50 et 120 kW** ; clarification des modalités de contrôle exercées par l'autorité délégante.



Le réseau s'est développé autour de la centrale historique des Halles. Construite en 1978, elle était destinée initialement à fournir l'énergie frigorifique et l'électricité de secours au Forum des Halles. Cette centrale est à présent maillée au réseau « Centre » de froid Parisien et contribue à fournir l'eau glacée sur ce réseau (réseau principal). La Centrale des Halles est équipée non seulement de 10 groupes frigorifiques pour alimenter le réseau de froid mais également de 5 groupes électrogènes qui alimentent en électricité le Forum des Halles et le Musée du Louvre. Cette situation est singulière.

La distribution de froid dans Paris est assurée par 4 réseaux non interconnectés à ce jour. Le réseau principal est le réseau « Centre ». 3 autres réseaux de distribution assurent la distribution d'énergie aux abonnés sur les secteurs Bercy, Paris Nord-Est et Philharmonie.

L'ensemble de ces réseaux est alimenté par 10 centrales de production de froid. L'ensemble des centrales ont été développées dans le cadre de la DSP, hormis la Centrale des Halles (datant de 1978). Cette dernière a fait l'objet d'importants travaux de rénovation sur la période 2004-2008.

La réalisation des centrales de production d'énergie frigorifique a accompagné le développement des réseaux :

- En 1995, livraison de la Centrale Opéra sur le réseau « Centre » et de la centrale Bercy sur le réseau « Bercy »
- En 1998, livraison de la centrale Etoile sur le réseau « Centre »
- En 2002, livraison de la Centrale Canada sur le réseau « Centre »
- En 2007, livraison de la centrale Tokyo sur le réseau « Centre »
- En 2010, livraison de la centrale Auber sur le réseau « Centre »
- En 2014, livraison des centrales BNF et Philharmonie sur les réseaux « Bercy » et Philharmonie
- En 2016, installation sur réseau d'Eau Non Potable de l'Hôtel de Ville

2.2 PLAN DU RÉSEAU

Le Plan du réseau de froid est joint en annexe au présent schéma directeur. La visualisation synthétique du réseau de distribution de froid est présentée sur le plan de la Ville de Paris suivant :

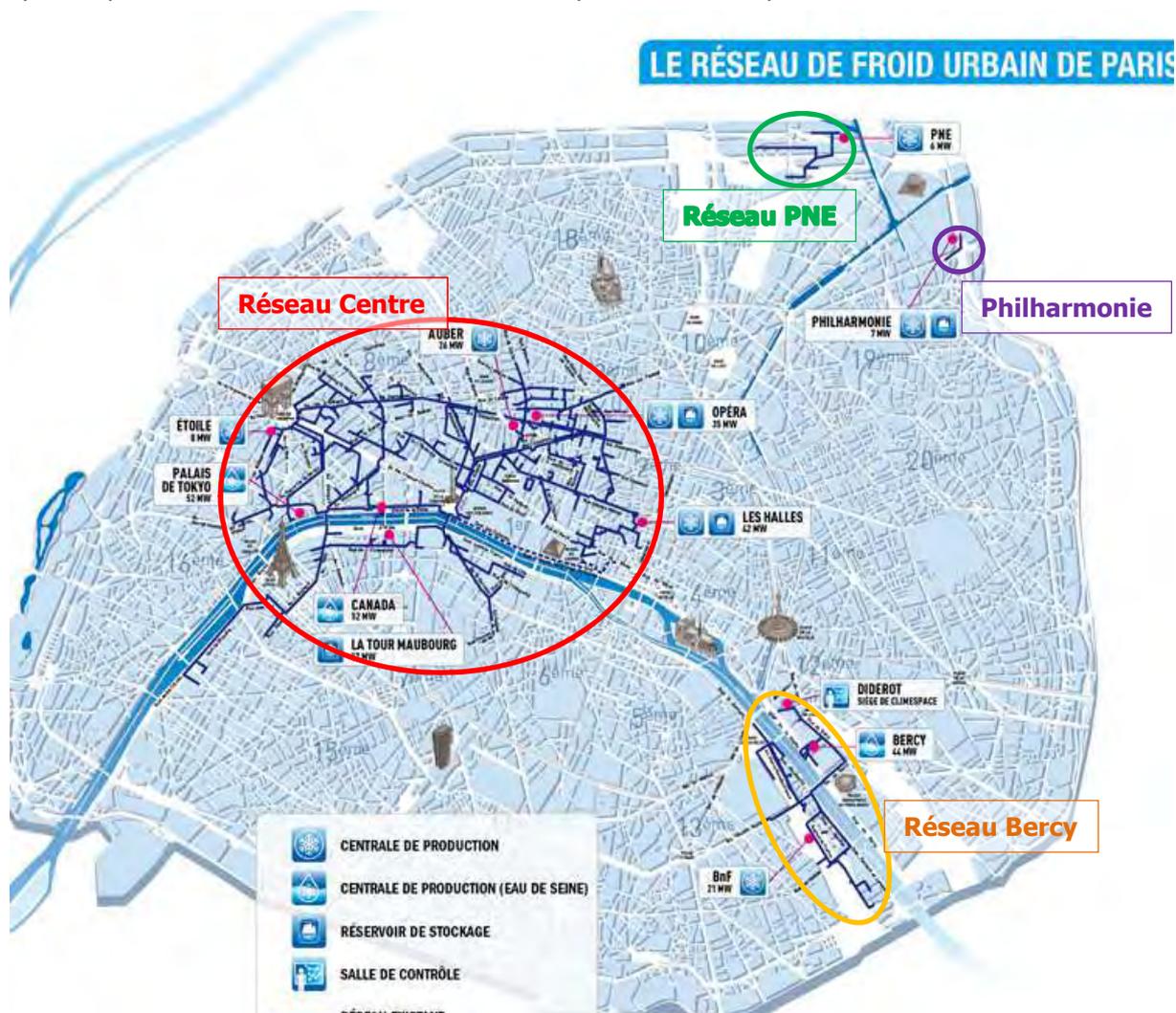


Figure 1 : Plan du réseau de distribution de froid Parisien

Les centrales de production et de stockage d'énergie frigorifique sont identifiées sur le plan.

- Le réseau Centre compte 6 centrales de production et 3 unités de stockage
- Le réseau Bercy est alimenté par deux centrales de production
- Le réseau Paris Nord-Est est alimenté par une centrale de production externe à la DSP
- Une centrale de production fournit l'énergie nécessaire à la philharmonie

En outre, une unité sur Eau Non Potable alimente l'Hôtel de Ville, sur le réseau Centre.

2.3 PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES DU RÉSEAU DE FROID

2.3.1 MIX ÉNERGÉTIQUE

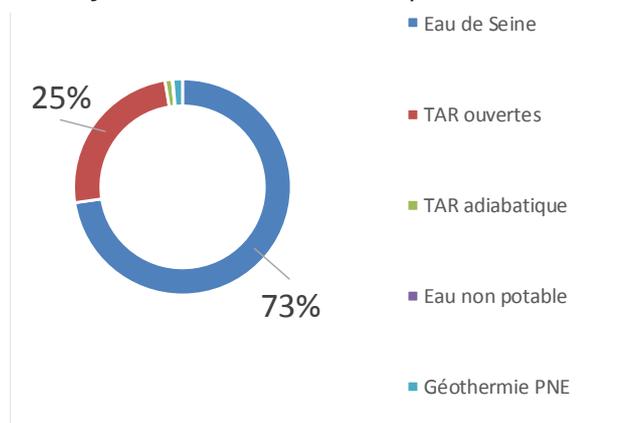
La production de froid est aujourd'hui très majoritairement réalisée par des machines thermiques alimentée à l'électricité (de l'ordre de 95%), et par échange direct avec l'eau de Seine lorsque sa température est suffisamment basse (période hivernale). La politique d'achat d'électricité Climespace avec des garanties d'origine permet d'affirmer que la ressource énergétique primaire est 100 % renouvelable et il n'existe pas de réel débat sur cet état de fait.

2.3.2 DIFFUSION DE CHALEUR

La production de froid pour le réseau génère des productions de chaleur « fatale » qu'il est nécessaire de « dissiper ».

Le graphique ci-dessous illustre les solutions techniques actuelles et les exutoires de chaleur :

- La majorité de la chaleur est rejetée à la Seine par des systèmes de pompes à chaleur, sauf lorsque la Seine est déjà trop chaude pour **protéger le fleuve** (centrales Canada, Tokyo et Bercy),
- L'autre grande part de la chaleur est dissipée dans l'air ambiant parisien, par des tours aéroréfrigérantes (rejet de chaleur et dispersion d'eau avec un risque légionelle, installation ICPE 2921)
- Une faible part de la chaleur est rejetée à l'air ambiant par des tours adiabatique sans dispersion d'eau,
- Une faible part est valorisée pour alimenter une boucle d'eau chaude de chauffage et ECS (géothermie PNE)
- Une part minime est rejetée au réseau d'eau non potable



. Au niveau de Paris-Nord-Est, l'installation de production de froid est en dehors du périmètre de la délégation de service public. Cette installation est exploitée par Géométropole, filiale de CLIMESPACE et CPCU et produit simultanément de la chaleur et du froid grâce à des thermofrigopompes exploitant la ressource géothermale du Dogger.

L'installation de l'Hôtel de Ville est raccordée au réseau d'eau non potable pour la dissipation de la chaleur fatale, des précisions sont apportés au chapitre suivant sur cette installation.

Les autres installations sont équipées de tours aéroréfrigérantes, dissipant la chaleur dans l'air extérieur. Ce type d'équipements est installé dans les centrales des Halles, Opéra et Etoile. Enfin, la Philharmonie est équipée de tours aéroréfrigérantes adiabatiques.

Le tableau suivant présente le bilan de l'énergie frigorifique produite sur le réseau de froid parisien. La ressource Eau de Seine est très majoritairement sollicitée (près de 74%). La production issue de l'eau Non Potable et des Tours adiabatiques est mineure (de l'ordre de 1%). Le complément est assuré grâce aux tours aéroréfrigérantes.

Données 2016						
Type	Centrale	MWh Froid produits	Electricité consommée (MWh)	COP	Part production	Puissance installée (MW)
EDS	Canada	153 670	34 464	4,46	33,3%	52
	Tokyo	138 520	28 818	4,81	30,0%	52
	Bercy	47 759	11 407	4,19	10,4%	43
	TOTAL EDS	339 949	74 689	4,55	73,7%	147
TAR ouvertes	Halles	28 675	10 539	2,72	6,2%	42
	Opéra	10 154	3 531	2,88	2,2%	35
	Auber	76 558	19 341	3,96	16,6%	26
	Etoile	5	209	0,02	0,0%	8
	BNF	464	122	3,80	0,1%	
	TOTAL TAR	115 856	33 742	3,43	25,1%	111
Autre	Philharmonie (TAR adiabatique Paris Nord Est)	5 019	1 973	2,54	1,1%	3
	Hôtel de Ville (Eau non potable)	376	196	1,92	0,1%	1
	Tour Maubourg (stockage)	0	196	0,00	0,0%	
	TOTAL AUTRES	5 395	2 365	2,28	1,2%	
TOTAL		461 200	110 796	4,16	100%	

La diversité des exutoires de chaleur est assez faible. Bien que les conditions climatiques aient une incidence sur les performances des équipements, le taux de dissipation de la chaleur vers l'Eau de Seine est compris entre 74 et 76%, le complément étant très majoritairement assuré par les tours aéroréfrigérantes.

2.3.3 INSTALLATION SUR EAU NON POTABLE ET EAUX USÉES

Pour sa production de froid, l'Hôtel de ville profite du réseau d'eau non potable d'Eau de Paris. Conçu par le délégataire, le dispositif de climatisation repose sur un système d'échangeur relié à la conduite d'eau non potable qui extrait des calories de l'eau, permettant le refroidissement d'un fluide caloporteur.

Après être passée par l'échangeur, l'eau est restituée au réseau d'eau non potable via un branchement de réinjection : aucun volume d'eau n'est consommé, seule sa température est modifiée.

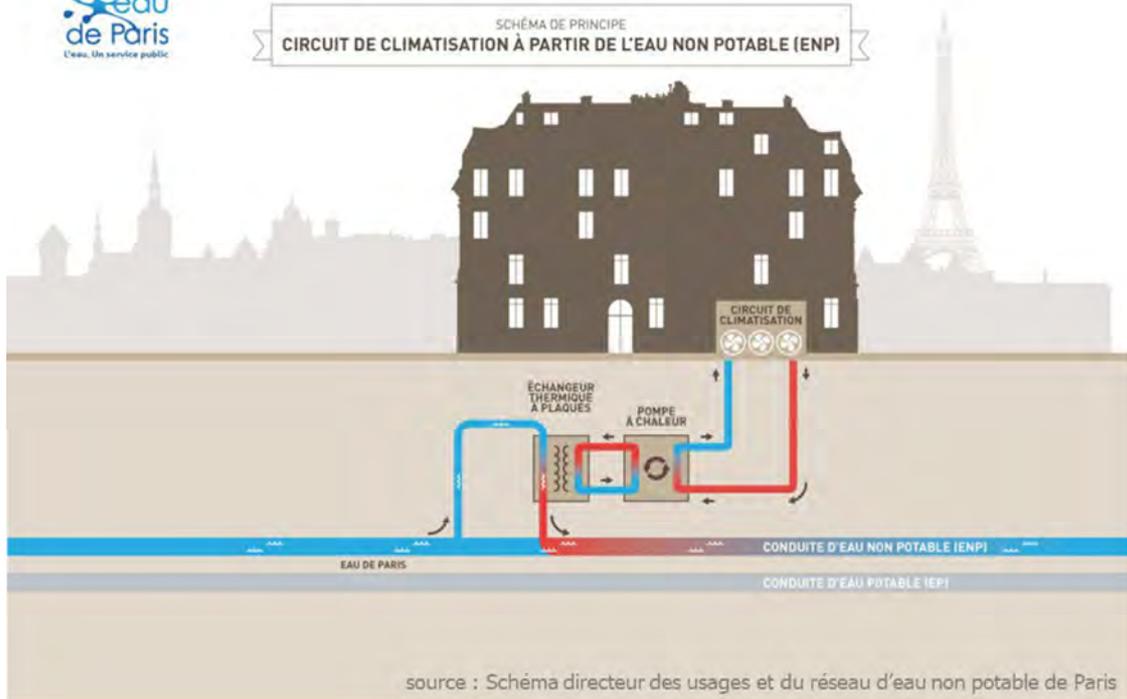


Figure 2 : Principe de climatisation à partir de l'eau non potable

De la même manière, les eaux usées peuvent être utilisées comme exutoire de chaleur. Dans ce cas, les équipements de l'installation, notamment l'échangeur, sont adaptés en fonction des caractéristiques de l'eau.

2.3.4 ELECTRICITÉ VERTE

Le froid est produit grâce aux groupes frigorifiques installés dans les centrales. Ces groupes consomment de l'électricité pour fonctionner. Le COP moyen de production observé est compris entre 3,91 et 4,16 sur la période 2012-2016 (4,16 en 2016). Les installations sur Eau de Seine présentent des COP particulièrement élevés et permettent de garantir un très bon niveau de performance. Néanmoins, le poste des consommations en électricité est important (110 GWh en 2016).

Ainsi, dans un souci d'amélioration du bilan environnemental, le délégataire consomme exclusivement de l'électricité avec certificats de garanties d'origine (électricité verte). En effet, depuis 2013, l'ensemble des besoins électriques des sites de production est couvert par des garanties d'origine 100% renouvelable.

2.3.5 LE RÉSEAU DE DISTRIBUTION

Le principe du réseau de froid est de transporter l'eau refroidie par les centrales de production frigorifiques jusqu'aux sous-stations en pied de bâtiment des abonnés puis de retourner l'eau réchauffée dans les sous-stations jusqu'aux centrales. Les sous-stations sont équipées d'un échangeur garantissant la séparation physique du réseau de transport souterrain (inclus dans le périmètre de la délégation de service public) et du réseau de distribution secondaire (géré par les abonnés). Le réseau est composé d'une canalisation aller véhiculant de l'eau à une température comprise entre 1°C et 5°C. La canalisation retour véhicule de l'eau à une température comprise entre 12 et 15°C.

Fin 2017, la longueur cumulée de réseau de froid atteint près de 75 km, pour 666 abonnés. Entièrement souterrain, le réseau de froid parisien emprunte les ouvrages d'assainissement de Paris ou circule sous les voies publiques. Maillé et interconnecté, le réseau est contrôlé quotidiennement.

2.3.6 LES USAGERS DU RÉSEAU



Le froid est livré aux abonnés du réseau (commerces, bureaux, musées, bâtiments publics, bâtiments industriels, logements...) à partir d'un branchement effectué sur le réseau principal de distribution. Le froid contenu dans l'eau glacée de la canalisation aller du réseau primaire est transféré vers le réseau secondaire via un échangeur installé dans le poste de livraison. Le débit de livraison est régulé en permanence dans

chaque sous-station pour s'adapter aux besoins des abonnés. L'énergie frigorifique et le volume consommé sont comptés au niveau du poste de livraison.

Le réseau de froid compte 638 contrats « froid », 16 contrats « chaud » et 12 contrats « électricité de secours ». Les abonnés sont très majoritairement des bureaux et commerces (plus de 80% en nombre de contrats et plus de 75% de la puissance souscrite).

PAR SEGMENTATION	NOMBRE DE CONTRATS	PUISSANCE SOUSCRITE (kW)	PART VS NB CONTRATS (%)	PART VS PUISSANCE (%)
Bureaux	334	219 394	52,35 %	51,99 %
Commerces	48	16 942	7,52 %	4,01 %
Commerces et bureaux	148	82 801	23,20 %	19,62 %
Divers	12	11 520	1,88 %	2,73 %
Grands magasins	9	29 580	1,41 %	7,01 %
Hôtels	49	29 357	7,68 %	6,96 %
Logements	15	5 145	2,35 %	1,22 %
Musées	9	20 100	1,41 %	4,76 %
Restaurants	6	1 960	0,94 %	0,47 %
Salle de spectacles	8	5 200	1,26 %	1,23 %
TOTAL	638	421 999	100 %	100 %

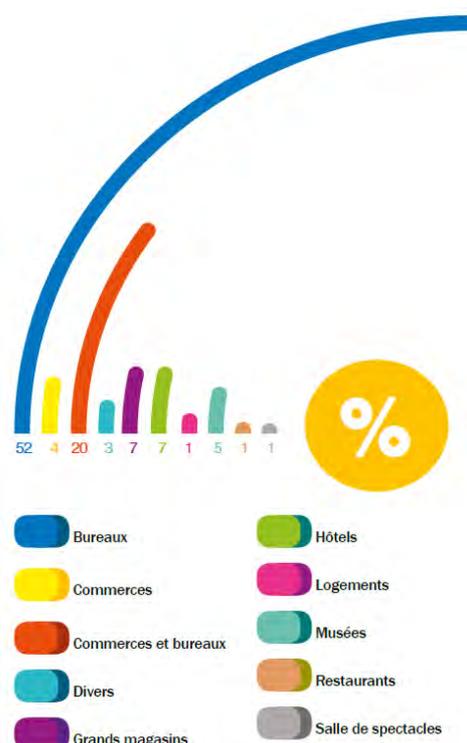


Figure 3 : Répartition des abonnés, source CRAC 2017

2.3.7 LE CONTENU CO₂

Le contenu CO₂ est évalué sur la base des émissions de CO₂ induites par la production d'électricité consommée par les groupes frigorifiques et l'ensemble des auxiliaires nécessaires au fonctionnement du réseau, comme le prévoit la méthode de calcul du diagnostic de performance énergétique (arrêté du 7 décembre 2007). Cette méthode n'intègre pas les émissions liées aux fuites de fluide frigorigène (gaz à effet de serre au pouvoir de réchauffement global très élevé). Des précautions sont prises pour éviter ces fuites, notamment grâce à la maintenance préventive réalisée sur les installations de production. La démarche suivie est présentée au chapitre 5.1.5.

Le bénéfice du réseau de froid avec production centralisée contrôlé est ainsi sous-évalué. En effet, les taux de fuite de fluide frigorigène de ces installations sont très nettement plus faibles que ceux des solutions autonomes.

Ainsi, le contenu carbone du froid livré sur le réseau s'élève à 0,006 kgeqCO₂/kWh. Le contenu carbone moyen des réseaux de froid Français s'élève à 0,011 kgeqCO₂/kWh.

En bref

La production et la distribution de froid est très peu émettrice de GES. L'impact environnemental de l'activité s'apprécie davantage dans les modalités de dissipation de la chaleur fatale générée, vers l'eau (impact sur la température de l'eau de Seine ou du réseau d'eau non potable) ou l'air (renforcement de l'effet d'îlot de chaleur urbain), la meilleure solution consistant à la valoriser vers des usages de chaleur (eau chaude sanitaire et chauffage).

2.4 TYPOLOGIES D'ABONNÉS

A fin 2017, le réseau compte 638 contrats « froid », 16 contrats « chaud » et 12 contrats « électricité de secours ». Le tableau suivant présente la synthèse du nombre d'abonnés par typologie ainsi que les quantités de froid livrées par typologie.

Près des 2/3 de l'énergie livrée par le réseau dessert des commerces et bureaux. Les Grands magasins et Musées sont des consommateurs importants de froid : chacune de ces typologies ne représente qu'1% des contrats mais respectivement 9% et 10% des quantités d'énergie livrée. Les Hôtels sont également des consommateurs importants de froid : 12% de l'énergie livrée par le réseau.

Les autres typologies représentent des parts nettement plus faibles en nombre de contrats comme en quantité d'énergie livrée. Seulement 15 contrats lient des bâtiments de logements au délégataire pour la mise à disposition de froid du réseau.

PAR SEGMENTATION	NOMBRE DE CONTRATS	PUISSANCE SOUSCRITE (kW)	CONS. ENERGIE 2017 (MW)	PART VS CONSO (%)
Bureaux	334	219 394	186 352	41,27 %
Commerces	48	16 942	16 939	3,76 %
Commerces et bureaux	148	85 801	85 529	18,96 %
Divers	12	11 520	8 226	1,82 %
Grands magasins	9	29 580	40 273	8,93 %
Hôtels	49	29 357	53 961	11,96 %
Logements	15	5 145	2 971	0,66 %
Musées	9	20 100	47 443	10,52 %
Restaurants	6	1 960	2 406	0,53 %
Salle de spectacles	8	5 200	7 476	1,66 %
TOTAL	638	421 999	451 576	100 %
Contrats Chaud	16	6 556		
Contrats Electricité	12	5 532		

Figure 4 : Segmentation des abonnés, source CRAC 2017

Le graphique ci-contre permet d'illustrer la puissance souscrite par typologie d'abonné. Bureaux et commerces représentent plus de 80% de la puissance souscrite sur le réseau.

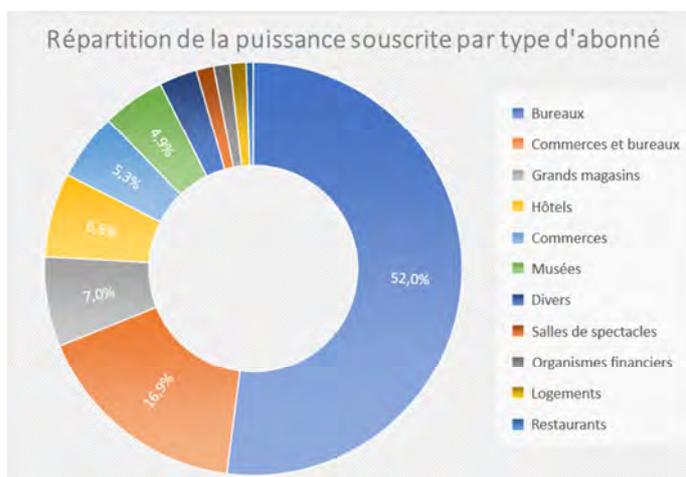


Figure 5 : Puissance souscrite par type d'abonné

Les deux graphiques suivants illustrent les données en fonction des tranches de puissance, en termes de nombre de contrats et en termes de puissance souscrite cumulée par tranche.



Figure 6 : Répartition des contrats et puissances souscrites cumulées par tranche de puissance

Le tableau suivant présente l'évolution de l'énergie vendue et du nombre d'abonnés au réseau de froid parisien. Le nombre d'abonnés a augmenté de 27 par an en moyenne sur la période 2008-2016.

On notera sur la même période une stabilité des quantités de froid livrées en sous-station, traduisant une réduction des quantités d'énergie livrée par point de livraison. Les abonnés ont engagé diverses actions afin de réduire leurs besoins : élévation de la température de consigne de la climatisation dans les bâtiments, actions d'efficacité énergétique, réhabilitation des bâtiments. Enfin, après des premières phases de développement de réseau autour d'abonnés majeurs avec des puissances souscrites élevées et des niveaux de besoins conséquents, la tendance est au raccordement d'abonnés avec des niveaux de besoins plus modestes.

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Energie vendue (GWh)	399	407	382	412	412	405	402	420	415
Clients raccordés	432	458	469	500	518	541	567	591	644
MWh/client	924	889	814	824	795	749	709	711	644
Evolution		-4%	-8%	1%	-3%	-6%	-5%	0%	-9%

2.5 NOTE SUR LA GESTION DU RÉSEAU DE FROID

Les « delta T = écart de température aller/retour » sont très faibles sur les réseaux de froid, comparés aux réseaux de chaleur. Au maximum, le delta T sur un réseau de froid pourra atteindre 10°C. L'augmentation du delta T permet de réduire les débits d'eau glacée à quantité d'énergie livrée équivalente. Ainsi, les consommations en électricité des pompes et auxiliaires sont plus faibles et le coefficient de performance global plus élevé. Pour optimiser le fonctionnement du réseau, le gestionnaire a tout intérêt à travailler sur les régimes de température aller et retour.

Dans cet objectif, le délégataire du réseau de froid parisien adresse à ses clients des lettres pour les sensibiliser à l'optimisation du delta T, en faisant valoir l'économie qui peut ainsi être générée sur leur facture. En effet, le tarif mis en place incite à économiser le volume d'eau utilisé, avec une tarification fonction de l'énergie frigorifique consommée (kWh) et du volume d'eau utilisée (m³).

Le graphique suivant permet de suivre l'évolution de la différence de température aller/retour sur la période 2008/2016. Selon les années, la différence moyenne annuelle oscille entre 6°C et 7,2°C. Le niveau observé en 2016 est de 6,65°C.

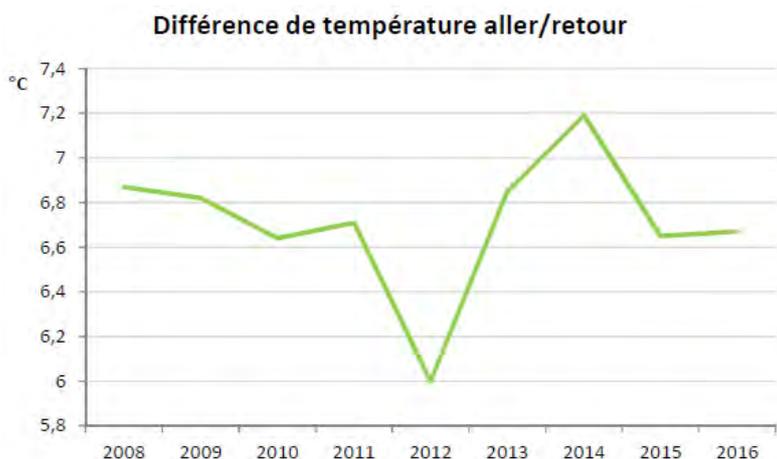


Figure 7 : Suivi de l'évolution de la différence de température, source rapport analyse CRAC 2016

2.6 CARACTÉRISTIQUES DES CENTRALES DE PRODUCTION

Le concessionnaire du réseau de froid exploite neuf centrales de production d'eau glacée : Les Halles, Bercy, Opéra, Etoile, Canada, Tokyo, Auber, BNF et Philharmonie, cumulant une puissance installée de 268 MW. Cette production centralisée, intégrée dans le périmètre de la concession et distribuée via le réseau de froid est complétée d'une solution dédiée à un bâtiment : l'Hôtel de Ville, pour une puissance installée de 1 MW. La branche de réseau développée à Paris Nord-Est est alimentée en eau glacée par une installation de 6 MW valorisant simultanément chaleur et froid à partir d'un doublet de géothermie au Dogger. Cette unité de production est extérieure à la présente DSP. Le réseau de froid achète l'eau glacée produite par cette installation.

Afin de limiter les besoins de puissance, 3 sites de stockage thermique sont intégrés au réseau Centre :

- Le stockage d'eau glacée de la Tour Maubourg (capacité de 90 MWh)
- Le stockage de glace du site de production des Halles (capacité de 30 MWh)
- Le stockage de glace du site de production Opéra (capacité de 20 MWh)

Les principales caractéristiques des sites de production sont synthétisées dans le tableau suivant. Les modes de production de froid y sont précisés :

- Utilisation de l'Eau de Seine comme exutoire de la chaleur résiduelle : EDS
- Evacuation de la chaleur dans l'air ambiant grâce à des tours aéroréfrigérantes : TAR

Les quantités d'énergie produites par centrale sont précisées dans ce tableau, de même que les puissances installées, les temps de fonctionnement à équivalent pleine puissance et les coefficients de performance (COP).

On notera que les installations sur Eau de Seine sont valorisées en priorité. Ces installations présentent des COP très élevées, notamment grâce à la valorisation de l'Eau de Seine en free cooling en hiver.

Données 2016									
Type	Centrale	MWh Froid produits	Electricité consommée (MWh)	COP	Part production	Puissance installée (MW)	MWh chaud dissipés	nb heures équivalent Pnom	Ancienneté installations
EDS	Canada	153 670	34 464	4,46	33,3%	52	188 134	2 955	2 002
	Tokyo	138 520	28 818	4,81	30,0%	52	167 338	2 664	2 007
	Bercy	47 759	11 407	4,19	10,4%	43	59 166	1 111	1 995
	TOTAL EDS	339 949	74 689	4,55	73,7%	147	414 638	2 313	
TAR ouvertes	Halles	28 675	10 539	2,72	6,2%	42	39 214	683	1978
	Opéra	10 154	3 531	2,88	2,2%	35	13 685	290	1995
	Auber	76 558	19 341	3,96	16,6%	26	95 899	2 945	2010
	Etoile	5	209	0,02	0,0%	8	214	1	1998
	BNF	464	122	3,80	0,1%	7	586	66	2014
	TOTAL TAR	115 856	33 742	3,43	25,1%	118	149 598	982	
Autre	Philharmonie (TAR adiabatique Paris Nord)	5 019	1 973	2,54	1,1%	3	6 992	1 673	2014
	Hôtel de Ville (Eau non potable)	376	196	1,92	0,1%	1	572	376	2015
	Tour Maubourg (stockage)	0	196	0,00	0,0%		196		1999
	TOTAL AUTRES	5 395	2 365	2,28	1,2%	4	7 760	2 049	
TOTAL		461 200	110 796	4,16	100%	269	571 996	5 343	

2.7 STRUCTURE TARIFAIRE

La structure tarifaire est définie dans la Convention de Délégation de Service Public. La structure appliquée est une tarification binôme, comprenant :

- Une part variable proportionnelle aux consommations de chaque abonné, appelée « R1 »
- Une part fixe (abonnement), déterminée en fonction de la puissance souscrite de chaque abonné, appelée « R2 »

L'article 32.1 de la Convention de DSP définit les charges couvertes par chacun des termes de facturation. Il est ainsi prévu que le terme R1, proportionnel aux consommations couvre :

- Les coûts variables, en particulier ceux de consommations d'électricité et d'eau
- Une partie des charges liées aux investissements

Le terme R2 couvre l'intégralité des charges fixes (hormis la part des investissements couverte dans le R1), à savoir :

- Les coûts des prestations de conduite, entretien et maintenance des installations intégrées dans le périmètre de la concession
- Les coûts de gros entretien et renouvellements des installations de la concession
- Les frais liés aux redevances et taxes
- La part restante des charges liées aux investissements

Depuis 2010, la part des charges couverte par le terme R1, proportionnel aux consommations, est de 60% environ. En conséquence, la part des charges couvertes par le terme fixe est de près de 40%. La tendance observée est une baisse de la part dédiée au R1.

En outre, une restructuration tarifaire a été mise en place par voie d'avenant, effective à compter du 1^{er} janvier 2014. Cette restructuration a introduit une différenciation des tarifs en 3 segments, avec pour objectifs :

- de fidéliser les gros consommateurs, avec une dégressivité de la part fixe pour les installations de plus de 6 000 kW souscrits
- de faciliter l'accès au réseau pour les petites puissances

Ainsi, les 3 segments de tarification adoptés depuis janvier 2014 sont les suivants :

- Puissances Mini : 50 à 120 kW
- Puissances classiques : 121 à 5 999 kW
- Puissances Maxi : supérieures à 6 000 kW

Les dispositions prises pour les puissances Mini sont les suivantes :

- Abattement sur le terme fixe « R2 » de 20% par rapport au tarif général
- Abattement sur le terme proportionnel « R1 » de 15% par rapport au tarif général

Le dispositif visant les puissances Maxi est le suivant :

- Dégressivité sur la part fixe « R2 » de 10% pour la puissance comprise entre 0 et 6 000 kW puis abattement de 20% par tranche de 2 000 kW supplémentaires
- Abattement sur le terme proportionnel de 15% sur le terme proportionnel R1 à partir de 6 000 kW et 12,5% d'abattement supplémentaire par tranche de 2 000 kW

2.8 PLAN PLURIANNUEL D'INVESTISSEMENT DU RÉSEAU

Le plan pluriannuel d'investissement du réseau sur la période 2017-2020 est joint en annexe au présent rapport.

Les investissements de développement (travaux de premier établissement) prévisionnels concernent 3 projets d'extension du réseau Centre :

- Pont Morland : budget prévisionnel de 4 M€ HT
- Concorde Rivoli : budget prévisionnel de 17 M€ HT
- Porte Maillot : budget prévisionnel 17 M€ HT

Les investissements de renouvellement sont ainsi répartis

- Pour les centrales : 3,3 M€ HT
- Pour les sous-stations : 1,4 M€ HT
- Pour le réseau : 0,5 M€ HT

3. GRILLE D'INDICATEURS DU RÉSEAU

3.1 LA DISPONIBILITÉ DU FROID

L'indicateur du nombre d'heures de fonctionnement à pleine charge souscrite est suivi dans le cadre du suivi de la concession. Le graphique suivant présente l'évolution de cet indicateur sur la période 2006-2016. Il est en baisse constante sur cet intervalle. Le niveau de 2016 est inférieur de 31,5% à celui de 2006. Cette évolution est liée à deux phénomènes :

- La croissance annuelle régulière du nombre d'abonnés et de la puissance souscrite
- La baisse régulière des quantités d'énergie vendue à chaque abonné

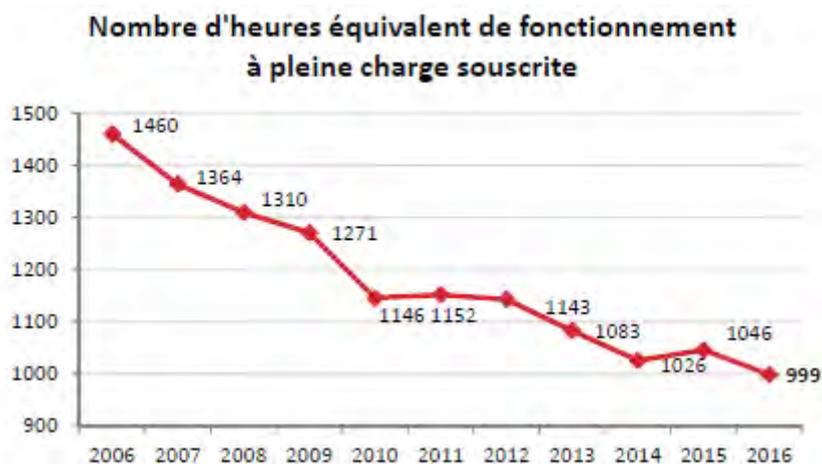


Figure 8 : Suivi du temps de fonctionnement par kW souscrit, Source rapport analyse CRAC 2016

Le phénomène de **baisse des quantités d'énergie vendue par abonné** s'explique par différents motifs. Les utilisateurs changent leur comportement vis-à-vis de l'énergie pour des raisons économiques et environnementales. Cela peut se traduire par un suivi des charges de fonctionnement plus draconien qui conduit à une élévation des points de consigne de la température intérieure de climatisation. En outre, une tendance croissante de mise à l'arrêt des installations de froid pendant la période hivernale, à l'initiative des abonnés est observée.

Les travaux d'amélioration des performances énergétiques des bâtiments engagés par les abonnés sont également de nature à limiter le besoin de rafraîchissement.

Par ailleurs, des taux d'occupation des locaux décroissants sont observés en raison du contexte économique ; certaines sociétés externalisent leurs services informatiques, fortement consommateurs de froid.

Cet indicateur peut être complété avec le suivi de la durée d'utilisation à équivalent pleine puissance. Dans ce cas, la quantité d'énergie vendue est divisée par la puissance disponible au niveau de la production (et non la puissance souscrite). Cet indicateur semble pertinent à analyser pour traduire la disponibilité effective du froid par rapport aux besoins des abonnés.

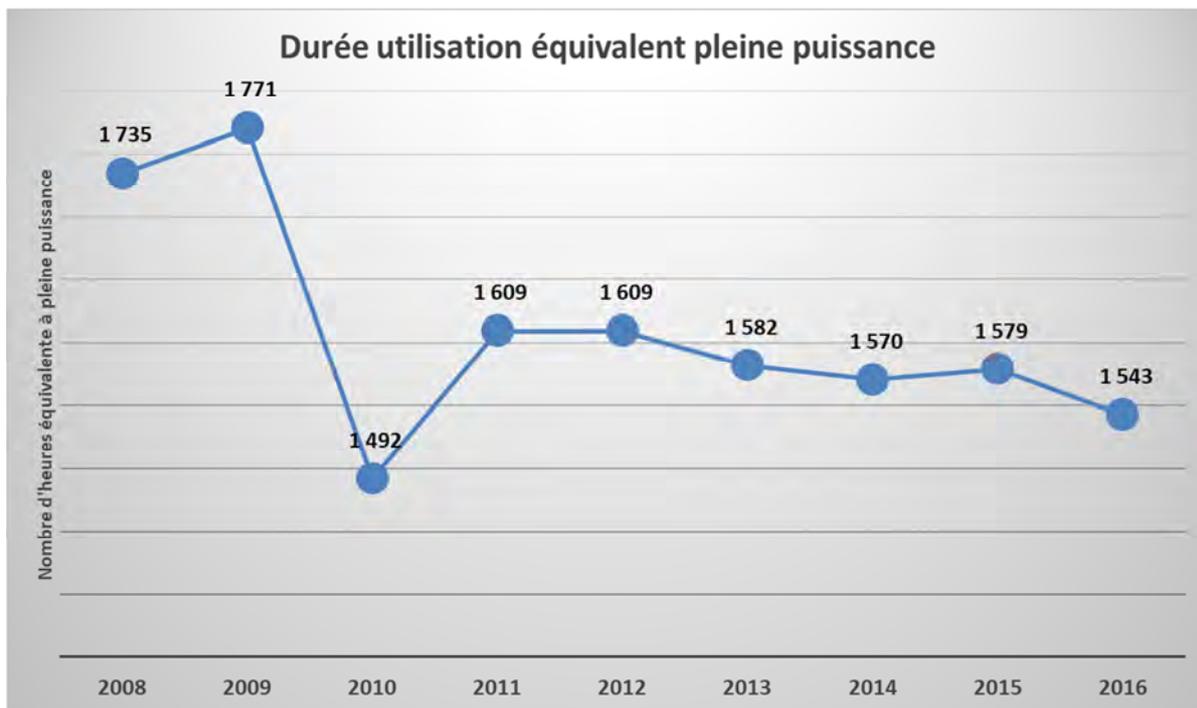


Figure 9 : Durée d'utilisation par kW froid sortie centrale

Cet indicateur permet de vérifier à l'échelle de l'ensemble du réseau la disponibilité de la puissance installée par rapport aux besoins des abonnés. Plus l'indicateur est faible, plus la production de froid est sécurisée. Un équilibre est néanmoins recherché pour un meilleur amortissement des installations. Ainsi, la courbe tendancielle ci-dessus montre un accroissement de l'écart entre puissance disponible et énergie vendue par le réseau. On observe un phénomène de « creux » de cet indicateur en 2010, avec la mise en service de la centrale Auber.

Il convient de traiter cet indicateur avec prudence pour les motifs suivants :

- Les besoins de froid sont largement dépendants de la saison
- Les performances des installations de production (et les puissances disponibles) se dégradent lors des périodes de plus forte demande
- Les situations sont hétérogènes selon les branches de réseau concernées

Le tableau suivant présente le détail de l'indicateur par branche de réseau. La capacité de stockage (sur le réseau Centre) n'est pas prise en compte pour le calcul qui est ramené à la seule capacité de production directe.

Réseau	Capacité de production (Pinstallée en MW)	Nombre d'heure équivalente à pleine puissance
Centre	216	1 887
Bercy	50	964
PNE	6	1 112
Philharmonie	3	1 673

On observe une forte réserve de puissance sur les réseaux Bercy et PNE. Il est possible de développer significativement ces réseaux sans nécessité d'investir dans de nouveaux moyens de production.

A ce jour, la puissance disponible de froid sur le réseau Centre est de 9 MW. Cette capacité doit être portée à 21 MW d'ici 2020, avec une quantité d'énergie stockée identique de 140 MWh. Dans ces conditions, l'indicateur atteint un niveau de 1720 heures au lieu de 1 887 heures/an à équivalent puissance nominale. Compte tenu de la multiplicité des moyens de production, de la sécurité apportée par le stockage et du foisonnement des appels de puissance du fait du grand nombre d'abonnés, la capacité de production du réseau Centre, bien que davantage sollicitée, présente une marge par rapport aux besoins.



Figure 10 : Suivi du taux d'interruption du service, Source rapport analyse 2016

Le taux d'interruption pondéré du service est un indicateur suivi depuis 2012 dans le cadre du contrôle de la concession, visant à vérifier la continuité de fourniture de froid effective pour les abonnés. Cet indicateur introduit une pondération visant à pénaliser davantage le résultat en cas d'absence de fourniture de froid pour une puissance souscrite élevée (grand nombre d'abonnés ou abonnés majeurs du réseau).

Cet indicateur présente des niveaux très faibles depuis 2013 et traduit une très bonne fiabilité du réseau. Les interruptions constatées sont liées à des arrêts techniques rendus nécessaires par la réalisation de travaux d'extension ou de branchements de nouveaux abonnés. La formule de calcul de l'indicateur est la suivante :

$$\frac{\Sigma(\text{heures d'arrêt des sous-stations} \times \text{puissance souscrite})}{(\text{période de fonctionnement} \times \text{puissance souscrite totale})}$$

Le graphique suivant permet de visualiser le nombre d'arrêts par cause sur la période 2013-2016. Le nombre d'arrêts non programmés est réduit (3 arrêts au maximum en 2013 et 2014).

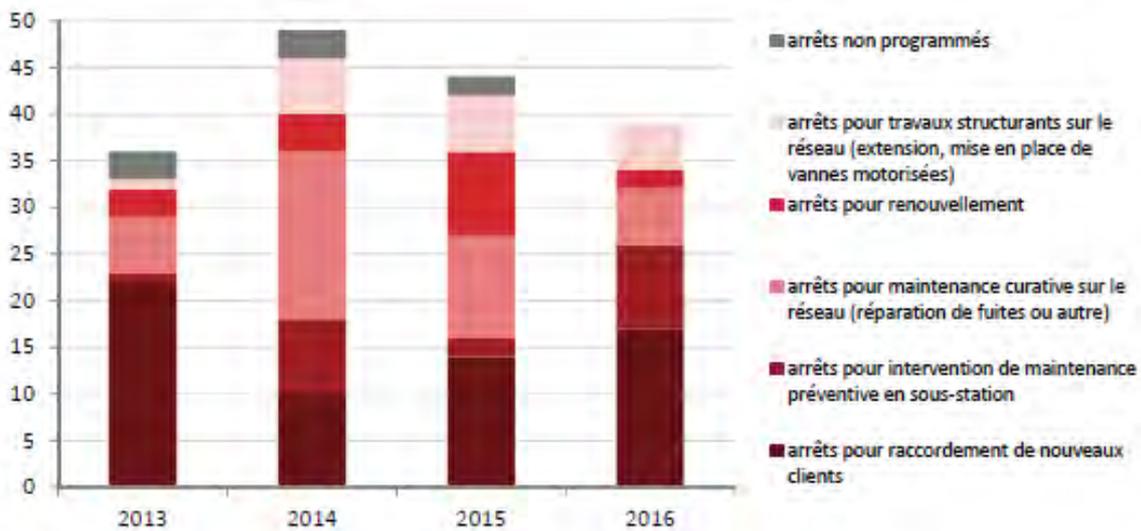


Figure 11 : Suivi du nombre d'arrêts par cause, Source rapport analyse CRAC 2016

Le taux d'arrêt programmés est le rapport entre le nombre d'heures d'arrêts programmés et le nombre d'heures d'arrêts total.

Cet indicateur est suivi sur la même période sur le graphique ci-dessous. Pour 2016, il est de 78%. Il traduit une bonne planification des interventions sur le réseau.

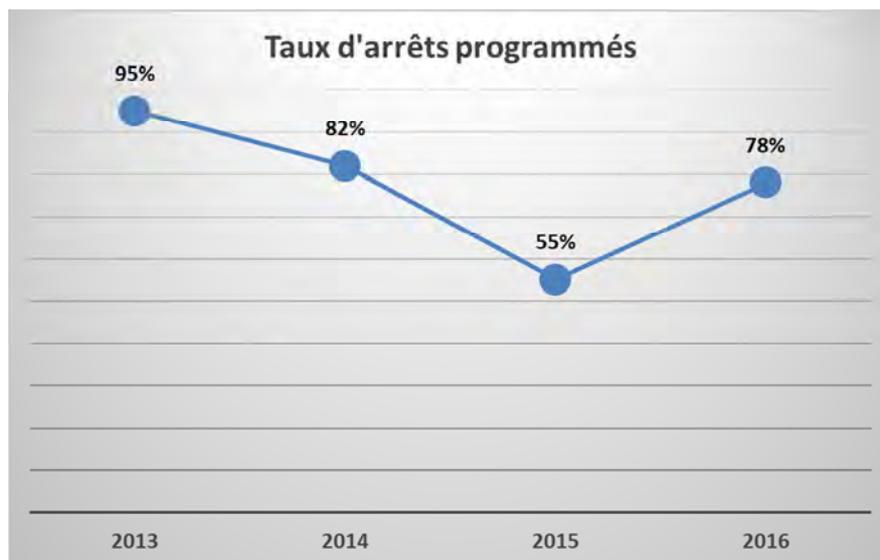


Figure 12 : Suivi du taux d'arrêts programmés

La densification et le développement du réseau sont analysés via le ratio de puissance souscrite par km. Il représente la densité de raccordement au réseau. Il ne tient cependant pas compte du diamètre des canalisations et du nombre d'heures de consommation des abonnés raccordés.

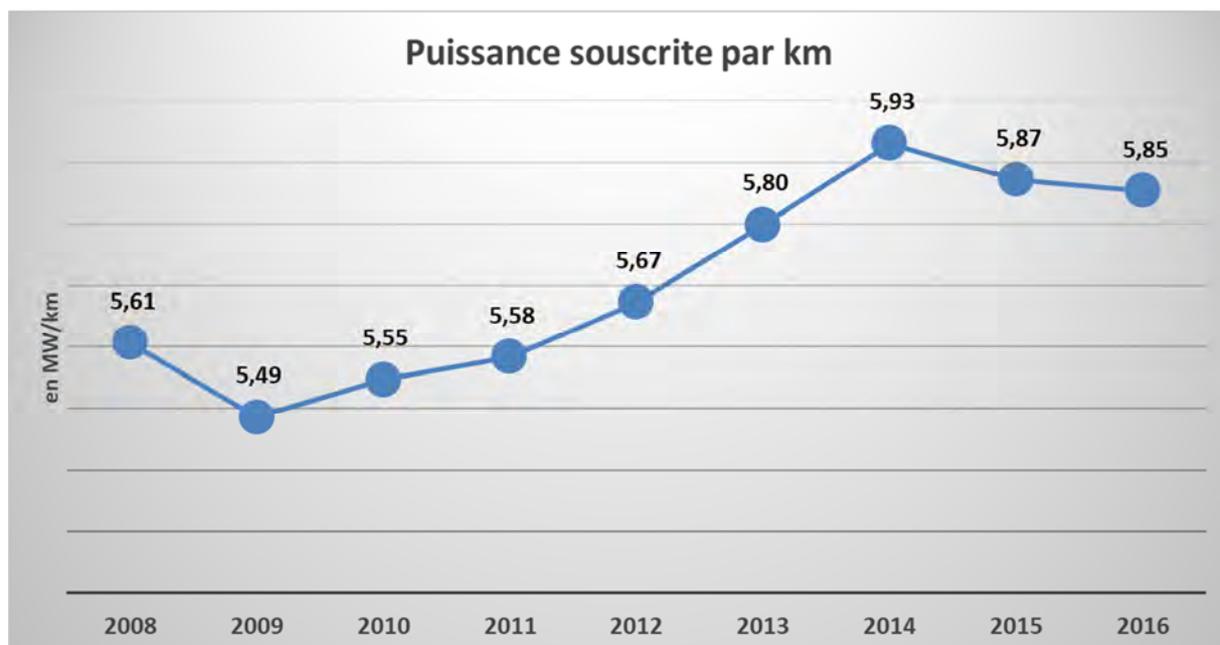


Figure 13 : Evolution de la puissance souscrite par km de réseau

Sur la durée, une tendance à la hausse est observée pour cet indicateur, malgré une croissance régulière de la longueur de réseau. Ainsi, au fur et à mesure de sa croissance, un mouvement de densification s'opère également.

Cet mouvement de densification de la puissance souscrite par km s'affaïsse néanmoins depuis 2014. Cet affaissement est lié au travail de sobriété en cours au sein des bâtiments des abonnés, à l'optimisation de la puissance souscrite et à une modification des usages (externalisation de services informatiques). Sur la période 2014 à 2016, les nouveaux raccordements (27 abonnés supplémentaires chaque année sur la période 2008-2016 et même 53 nouveaux abonnés sur la seule année 2016) n'ont pas permis de compenser la perte de puissance souscrite par km de réseau par optimisation des installations.

Le linéaire de réseau de froid est en croissance : en moyenne 2 km par an. Il est nécessaire de densifier le réseau existant et de raccorder de la puissance sur les nouvelles branches de réseau en vue de maintenir sa densité.

L'indicateur de la puissance souscrite par km de réseau est complété d'un indicateur de suivi de développement défini ainsi :

$$\frac{(\text{puissance souscrite en fin d'exercice} - \text{puissance souscrite en début d'exercice})}{\text{puissance souscrite en début d'exercice}}$$

Cet indice se focalise sur l'évolution globale de la puissance souscrite. Les mouvements d'entrée (nouveaux abonnés) comme de sortie (optimisation de la puissance souscrite ou éventuels dé-raccordements) sont ainsi comptabilisés.

Pour l'année 2016, les puissances souscrites des nouveaux abonnés représentent 22 MW, tandis que les optimisations sur les installations des abonnés déjà raccordés ont engendré une baisse de puissance souscrite de 8 MW. Le solde de l'année 2016 est positif et s'élève à 14 MW soit 4,27% de taux de développement.

Le graphique ci-contre permet de suivre ce développement sur la période 2008-2016.

Si le taux de développement reste très élevé, son rythme est ralenti depuis 2009 par rapport aux années précédentes. L'effet de la crise s'est clairement fait ressentir sur le réseau de froid avec une recherche d'optimisation des puissances souscrites et une sobriété sur les consommations des abonnés. Malgré cette tendance à la baisse des puissances souscrites et des quantités de froid consommées des abonnés déjà raccordés, le réseau enregistre une croissance annuelle relativement importante. Le réseau de froid est en développement continu. Cette tendance est appelée à se confirmer dans les années à venir.



Figure 14 : Suivi du taux de développement du réseau

En bref

Le nombre d'heures de fonctionnement par kW souscrit est en baisse constante depuis 2008. Ce phénomène traduit les efforts de sobriété énergétique effectués par les abonnés au réseau.

Le suivi de l'indicateur par kW de centrale de production suit une évolution globale à la baisse traduit une moindre sollicitation des capacités de production. Le niveau de sollicitation est hétérogène selon les branches de réseau. On notera une importante marge de développement sur les branches Bercy et PNE. L'accent sur la commercialisation est à apporter en priorité sur ces branches. Le réseau Centre présente également une marge de progression intéressante grâce à la multiplicité des unités de production et à la sécurité apportée par les unités de stockage de glace et d'eau glacée.

Hormis en 2015, le taux de développement du réseau est assez stable depuis 2009, à un niveau de 4%. Cette phase de développement est à accentuer vu les bénéfices du réseau (environnementaux, performance énergétique) et vu le potentiel de besoins raccordables au réseau.

3.2 LA DURABILITÉ

Suivi des émissions de gaz à effet de serre

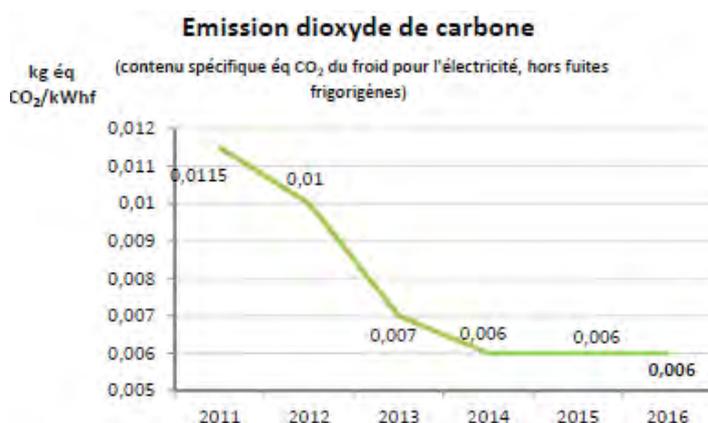


Figure 15 : Suivi des émissions de GES, Source rapport analyse CRAC 2016

Le suivi des émissions de gaz à effet de serre en tonnes équivalent CO₂ par MWh de froid livré aux abonnés est réalisé.

On notera que seul le contenu spécifique en équivalent CO₂ du froid pour la production d'électricité est retenu dans cet indicateur. En effet, la méthode de calcul du diagnostic de performance énergétique (arrêté du 7 décembre 2007) exclut la participation CO₂ des fluides frigorigènes (gaz à effet

de serre dont le potentiel de réchauffement global équivaut à plusieurs centaines des fois celui du CO₂).

Cette méthode a donc pour effet de sous-évaluer les avantages du réseau de froid par rapport aux solutions autonomes puisque ces dernières présentent des taux de fuite de fluide frigorigène bien plus élevées. La valeur d'émission est stable sur la période 2014-2016, à un niveau de 0,006 kg/kWh à comparer à la valeur moyenne nationale de 0,011 kg/kWh (étude SNCU sur la base des données 2015).

Contrôle des fuites de fluide frigorigène

Le taux de fuite de fluide frigorigène des groupes froid alimentant le réseau est également suivi chaque année. Le graphique suivant permet de visualiser son évolution. Hormis pour l'année 2016, qui présente un phénomène particulier avec une fuite liée à un déclenchement de soupape intempestif lors d'une opération de renouvellement, le taux de fuite de fluide frigorigène est inférieur à 0,8% depuis 2009.

Des précautions sont prises pour éviter ces fuites, notamment grâce à la maintenance préventive réalisée sur les installations de production. La démarche suivie est présentée au chapitre 5.1.5.

Cette donnée est à comparer à la moyenne nationale pour tout type de production estimée à 13,4% par l'ADEME.

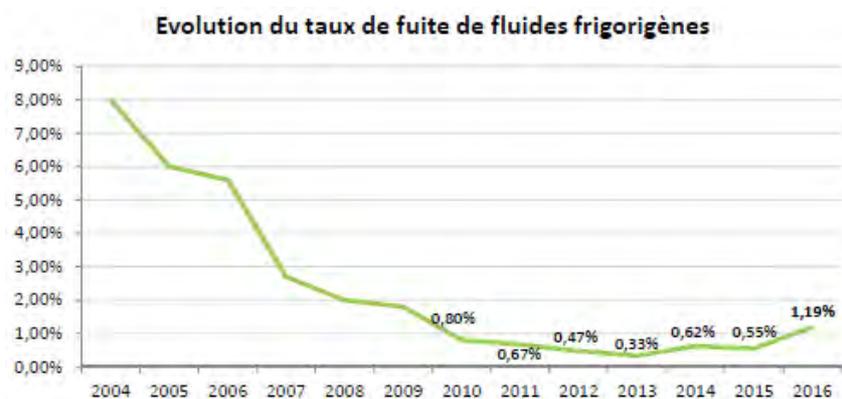
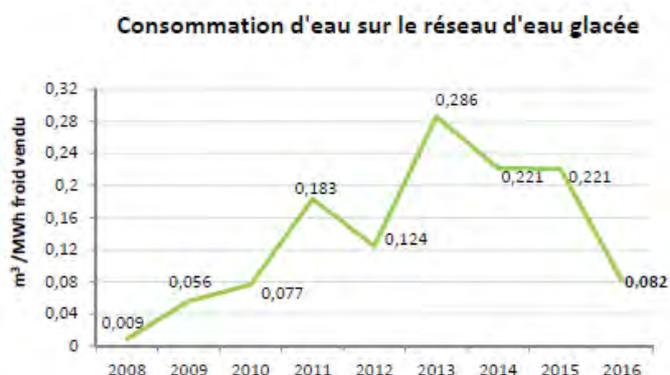


Figure 16 : Evolution du taux de fuite de fluide frigorigène, source rapport analyse CRAC 2016

Consommations d'eau

La consommation d'eau sur le réseau est suivie annuellement. Ce suivi, via un ratio des volumes d'eau consommés ramenés aux MWh de froid vendus, est lisible sur le graphique suivant. Ce ratio rend compte des fuites sur le réseau.

Figure 17 : Evolution des consommations d'eau pour le réseau de distribution, Source rapport analyse CRAC 2016



Des précautions sont prises pour éviter ces fuites, notamment grâce à des solutions mises en œuvre pour leur recherche. La démarche suivie est présentée au chapitre 5.2.3.

Le tableau suivant permet de suivre les volumes de fuite par jour et par km de réseau. Cet indicateur s'est dégradé sur la période 2008-2013. Il s'améliore à nouveau depuis 2013.

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Pertes réseau m3/km/jour	0,2	1,1	1,3	3,3	2,2	4,9	3,7	3,7	1,3

Grille de classification des indices linéaires de pertes

TYPE	RURAL	INTERMEDIAIRE	URBAIN
Critère	$D < 25$	$25 \leq D < 50$	$50 \leq D$
Bon	$ILP < 1,5$	$ILP < 3$	$ILP < 7$
Acceptable	$1,5 \leq ILP < 2,5$	$3 \leq ILP < 5$	$7 \leq ILP < 10$
Médiocre	$2,5 \leq ILP \leq 4$	$5 \leq ILP \leq 8$	$10 \leq ILP \leq 15$
Mauvais	$4 < ILP$	$8 < ILP$	$15 < ILP$

Le délégataire du réseau de froid s'appuie sur la grille de classification des indices linéaires de pertes des réseaux d'eau et d'assainissement. Avec un ratio de 1,3 m³/jour/km en 2016, la performance du réseau de froid Parisien est très bonne.

Source : Rapport SISPEA de l'Observatoire des services publics d'eau et d'assainissement de 2013

Cependant, de l'eau est également consommée au niveau des installations production. Ces consommations ne sont pas intégrées dans l'indicateur précédent. On notera en particulier que les installations sur tours aéroréfrigérantes consomment de l'eau potable tandis que les installations sur Eau de Seine permettent d'éviter cette consommation, via une dissipation des calories vers l'Eau de la Seine qui est rejetée dans le cours fluvial en sortie de centrale de production. Ainsi, la valorisation de cette ressource présente un bénéfice en termes de réduction des consommations d'eau potable.

Le graphique suivant illustre la répartition des consommations d'eau pour compenser les fuites réseau et pour le fonctionnement des tours aéroréfrigérantes. Le fonctionnement des TAR mobilise environ 80% de l'eau potable injectée pour les besoins du réseau, soit un volume d'environ 230 000 m³/an pour les seules centrales de production.

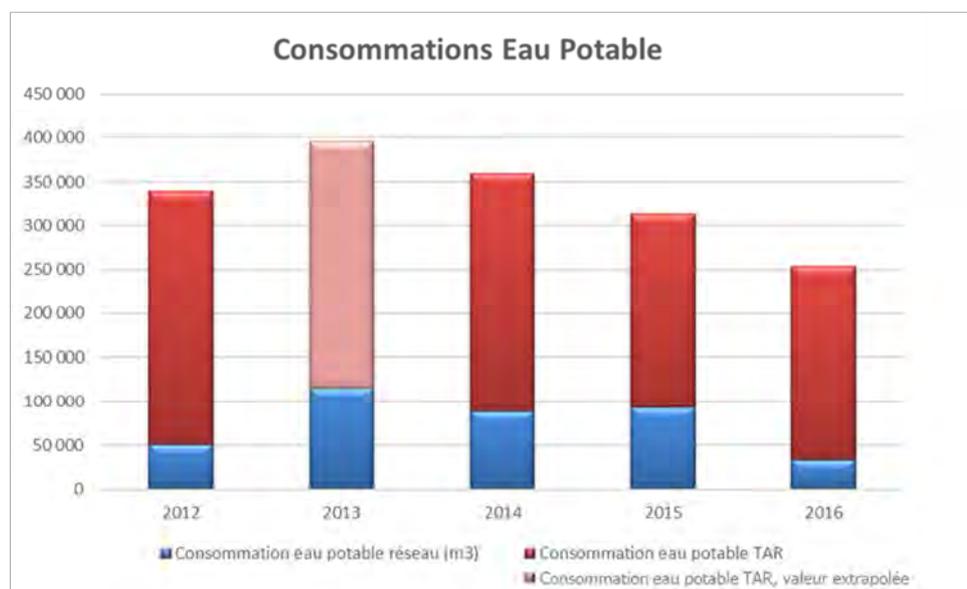


Figure 18 : Répartition des consommations d'eau

Les installations sur Eau de Seine constituent le socle de base du réseau et représentent environ 75% de la chaleur dissipée par les centrales de production de froid chaque année.

Afin de préserver le milieu naturel de la Seine, la température de rejet ne doit pas excéder 30°C. Aucune autre modification physico-chimique n'est mise en jeu.

Le taux de dissipation de chaleur par type de centrale (TAR, Eau de Seine, tours adiabatiques et autres) est présenté sur les graphiques ci-dessous pour les années 2014 à 2016. On observe une stabilité de la répartition des modes de dissipation de chaleur. Les installations sur Eau de Seine permettent de dissiper près de 75% de la chaleur fatale.

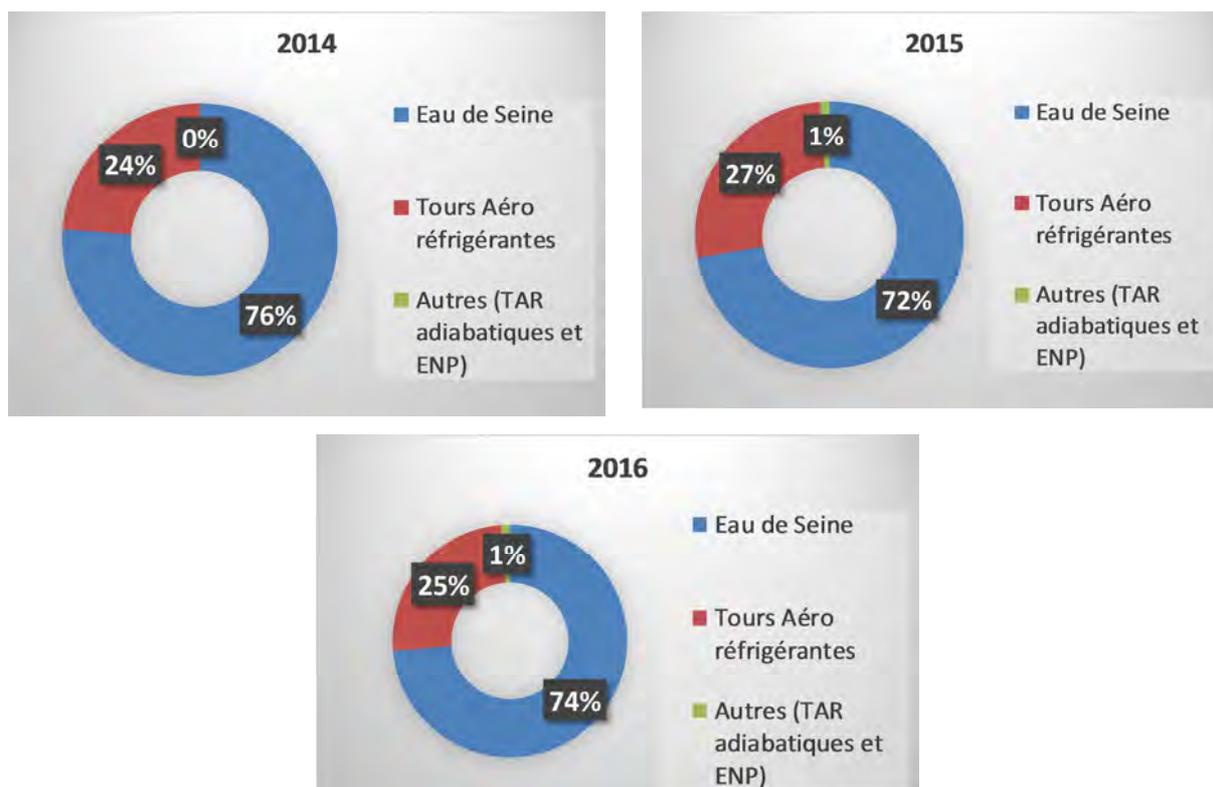


Figure 19 : taux de dissipation de chaleur par type d'exutoire

Réduction de l'effet d'îlot de chaleur

Grâce à des coefficients de performance très élevés, l'ensemble des installations de production du réseau concourent à limiter l'effet d'îlot de chaleur engendré par la production de froid à Paris. Ce constat est à nuancer en fonction des technologies de dissipation de la chaleur fatale.

Les centrales équipées de tours aéroréfrigérantes rejettent la chaleur excédentaire dans l'air extérieur. L'examen de l'évolution du taux de dissipation de chaleur excédentaire par typologie d'exutoire s'avère pertinent pour identifier l'impact des installations sur l'air ambiant.

	Centre		Bercy		Total	
	EDS	TAR	EDS	TAR	EDS	TAR
2002	24.0%	76.0%	100%	0%	30.0%	70.0%
2005	69.8%	30.2%	100%	0%	73.4%	26.6%
2010	79.6%	20.4%	100%	0%	82.0%	18.0%
2015					72%	27%

Suivi des accidents du travail

Le graphique suivant présente l'évolution du taux de fréquence et du taux de gravité des accidents du travail sur la période 2009-2016.

La définition du taux de fréquence est la suivante : nombre d'accidents avec arrêt de travail supérieur à un jour, survenus au cours d'une période de 12 mois par million d'heures de travail

La définition du taux de gravité est la suivante : nombre de journées indemnisées pour 1000 heures travaillées, c'est-à-dire le nombre de journées perdues par incapacité temporaire pour 1000 heures travaillées.

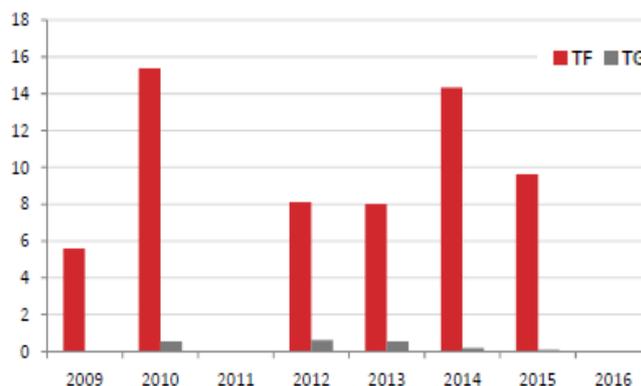


Figure 20 : Suivi des accidents du travail, Source rapport analyse CRAC 2016

Pour comparaison, selon le tableau de la sinistralité 2013 publié par la Direction des Risques Professionnels de la Caisse de l'Assurance Maladie des Travailleurs Salariés, les taux de fréquence et de gravité pour le code risque « chauffage urbain et climatisation urbaine, chauffage d'immeuble à forfait quel que soit le combustible utilisé » sont respectivement de 17,6 et 1,0. Les indicateurs de suivi pour le réseau Parisien sont inférieurs à ces valeurs chaque année sur la période examinée.

Pour l'année 2014 où le taux de fréquence était plus élevé, les causes des accidents de travail sont liées aux opérations de manutention et les conséquences des douleurs au dos.

Pour l'année 2012, où le taux de gravité était plus élevé, les causes des 2 accidents de travail sont des chutes (d'un escabeau et de plain-pied dans les transports en commun).

En bref

Le réseau de froid permet de faire bénéficier aux abonnés d'une climatisation/rafraîchissement/fourniture de froid pour le process avec un taux d'émission de gaz à effet de serre exprimé en équivalent CO₂ très faible. Cet indicateur, bien que ne tenant pas compte des fuites de fluide frigorigène révèle le très bon niveau de performance de production de froid sur le réseau parisien.

En outre, les fuites de fluide frigorigène sont suivies par le délégataire qui met en œuvre une politique d'entretien et maintenance des installations de manière à les prévenir. Le taux de fuite relevé sur les unités de production du réseau est compris entre 0,33% et 1,19%. Cette donnée est à comparer à la moyenne nationale de 13,4% pour tout type de production (source ADEME).

L'eau potable consommée pour la production et distribution de froid est due à 80% au process de tours aéroréfrigérantes. Ces consommations sont minimisées en sollicitant en priorité les unités de production sur Eau de Seine : environ 75% de la chaleur dissipée par le réseau est évacuée via les centrales sur Eau de Seine.

La garantie d'un bon niveau de sécurité pour le personnel d'exploitation est également surveillée via le suivi du taux de fréquence et du taux de gravité des accidents du travail.

Le réseau est un outil de très forte performance énergétique et environnemental en comparaison avec des solutions de production de froid autonomes

3.3 LA PÉRENNITÉ DES INSTALLATIONS

Un Plan Pluriannuel d'Investissement sur la période 2015-2020 a été établi et annexé à l'avenant n°6 du 21 décembre 2015. Ce Plan pluriannuel établit pour chaque année les montants de travaux prévisionnels pour les investissements de développement et pour le renouvellement. Les biens de retour concernés par les travaux de renouvellement sont précisés. L'enveloppe totale prévisionnelle est de 111 M€ environ dont près de 24 M€ de travaux de renouvellement.

Le tableau suivant présente le suivi annuel du taux réel de dépenses gros entretien par rapport à la valeur brute du patrimoine.

Pour les dépenses relatives aux biens de retour (centrales), le ratio est établi sur la base des dépenses de gros entretien affectées aux travaux sur les centrales, divisé par la valeur brute des centrales.

Pour les dépenses relatives aux réseaux, le ratio est effectué sur la base des dépenses dédiées aux réseaux sur la valeur brute de l'ensemble des biens de reprise.

Gros Entretien (k€)	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Réel Centrales (retour)	1153	1029	1012	843	1058	820
Réel Centrales (retour)	0,6%	0,5%		0,4%	0,5%	0,4%
Réel réseau (reprise)	762	887	1088	1518	660	1094
Réel réseau (reprise)	1,8%	1,9%		3,0%	1,2%	1,9%
Réel cumul	1915	1916	2100	2361	1718	1914

Le tableau suivant présente l'écart entre les dépenses annuelles réelles de Gros entretien et le budget prévisionnel. Sur les 5 dernières années, seule l'année 2013 a vu les dépenses réelles excéder le budget. L'écart moyen sur les 5 dernières années est un niveau de dépense inférieur de 13,3% au budget.

Gros Entretien (k€)	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Ecart réel/budget Cumul		54	-113	-175	-899	-403

On notera néanmoins des disparités. Les dépenses gros entretien pour les centrales sont très nettement inférieures au budget prévisionnel, tandis que les dépenses réelles dédiées aux interventions sur le réseau excèdent le prévisionnel (sauf pour l'année 2016).

Selon le rapport d'audit technique et environnemental réalisé en 2014, « le montant annuel des investissements affecté au renouvellement du matériel confirme la volonté de la société CLIMESPACE de maintenir le parc en bon état de fonctionnement et de garantir de ce fait la continuité de service de fourniture de l'eau glacée aux clients ».

3.4 LA SATISFACTION DES USAGERS

Le graphique suivant présente l'évolution du prix du froid moyen vendu aux usagers. Cet indicateur est construit de la manière suivante : quotient de l'ensemble des recettes TTC (R1 et R2) sur les ventes annuelles de froid.

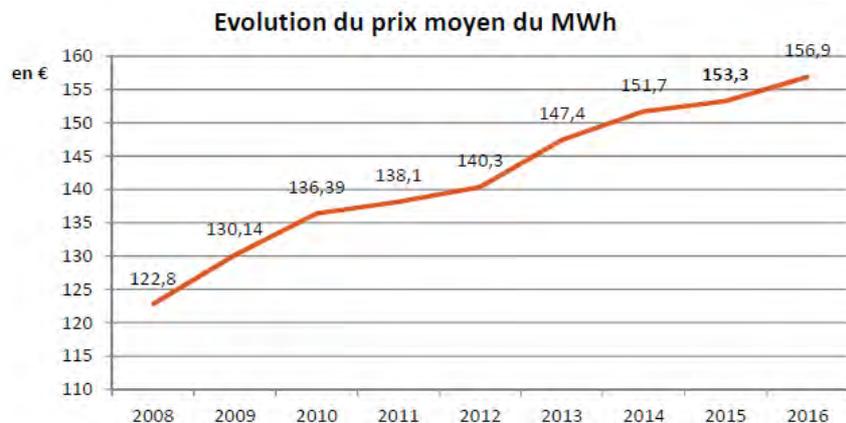


Figure 21 : Evolution du prix moyen du MWh, Source rapport analyse CRAC 2016

Une très forte hausse est constatée sur la période 2008/2012. Cette hausse est liée à :

- Une hausse du terme R1 en €/MWh
- Une hausse du terme R2 en €/kW
- Une baisse des consommations d'énergie par abonné, à rigueur climatique constante

Le tableau suivant synthétise l'évolution des termes R1 et R2 de facturation sur la période 2012-2016 :

	2012	2013	2014	2015	2016	Evolution 2016/2015	Evolution 2016/2012
Chiffre d'affaires R1 (k€ HT) *	34 163	34 316	34 365	36 199	36 042	-0,43%	5,50%
Energie frigorifique livrée (MWh) **	411 855	406 287	406 830	419 805	414 471	-1,27%	0,64%
Prix moyen R1 (€ HT/MWh)	82,95	84,46	84,47	86,23	86,96	0,85%	4,83%
PMA R1 (€ HT/MWh)	104,67	106,34	102,08	104,84	108,24	3,24%	3,41%
Prix moyen R1/PMA R1	79,25%	79,43%	82,75%	82,25%	80,34%		
Chiffre d'affaires R2 (k€ HT)	24 646	25 927	26 680	28 138	28 990	3,03%	17,63%
Puissance souscrite (kW)	360 483	375 283	392 125	401 204	414 833	3,41%	15,09%
Prix moyen R2 (€ HT/kW)	68,37	69,09	68,04	70,13	69,88	-0,37%	2,20%
PMA R2 (€ HT/kW)	74,14	75,37	76,05	76,60	76,76	0,21%	3,53%
Prix moyen R2 / PMA R2	92,22%	91,66%	89,47%	91,56%	91,03%		

* non comprises les recettes R1 générées par le secteur PNE de 2013 à 2015

** non compris les volumes vendus sur le secteur PNE de 2013 à 2015 (4 867 MWh en 2015)

Tableau 1 : Tableau de suivi des recettes R1 et R2, Source rapport analyse CRAC 2016

Le graphique présente l'évolution du taux de réclamations et du taux d'avoir accordés sur la période 2012/2017, sur la base des données issue des comptes-rendus annuels de concession. Le taux est calculé grâce au quotient du nombre de réclamations sur le nombre d'abonnés. Pour le taux d'avoir, il s'agit du quotient du nombre d'avoir sur le nombre d'abonnés. Une tendance à la baisse est observée sur la période 2012-2016. En revanche, ces deux indicateurs sont très élevés pour l'année 2017.



Figure 22 : Suivi des réclamations et avoirs, Source rapport analyse CRAC 2016

Les échanges entre parties prenantes sur les conditions de fonctionnement du réseau sont organisés via les instances suivantes :

- Un comité de suivi de concession, associant le délégataire et les services de la Ville, présidé par la Direction de la Voirie et des Déplacements, représentant l'autorité concédante ; ce comité se réunit à l'occasion de la présentation de l'analyse de l'activité du concessionnaire produite par l'autorité délégante
- Une présentation à la Commission Consultative des Services Publics Locaux, depuis l'exercice 2015, ayant pour vocation de permettre l'expression des usagers des services publics par la voie des associations représentatives

En complément de ces instances, le délégataire a mis en place en 2017 deux nouvelles actions afin de mesurer la satisfaction :

- Un suivi en continu de la satisfaction à l'aide d'enquêtes en lignes régulières
- Un baromètre annuel de satisfaction intégrant un indicateur d'évaluation de la performance globale

Le délégataire a d'ores et déjà mis en ligne, en septembre 2016, un nouvel espace client accessible depuis le site Internet dédié au réseau parisien. Cet espace permet au client d'avoir accès aux informations liées à l'installation, au contrat, aux factures, aux consommations, ainsi qu'à une plateforme d'échanges en ligne pour développer des messages et recueillir les attentes des abonnés en termes d'isolation et d'économie d'énergie.

Le site Internet donne accès à une vue détaillée des chantiers et campagnes de travaux.

En bref

Le prix moyen du froid est en hausse constante depuis 2008. Le prix moyen du froid 2016 est 28% plus élevé que celui de 2008.

On observe un taux de réclamations très satisfaisant (inférieur à 5%) en 2016. En revanche, cet indicateur, comme le taux d'avoir a bondi en 2017 pour dépasser les 25%. Ces indicateurs demandent une attention particulière dans les prochaines années. La garantie de la satisfaction des usagers est un gage de pérennité pour le réseau. Le risque de dé-raccordement augmenterait et mettrait en péril le maintien de la densité énergétique du réseau en cas d'insatisfaction des abonnés.

3.5 GESTION DE LA FACTURATION DU SERVICE

Le taux d'avoir est présenté sur le graphique du sous-chapitre précédent. Cet Indicateur est complété de la connaissance des motifs des litiges.

Le graphique suivant présente la répartition annuelle du taux d'avoir par motif. Les litiges suite à des fuites sont minoritaires (sauf en 2013). On observe depuis 2015 une forte croissance du taux de litiges liés aux consommations.

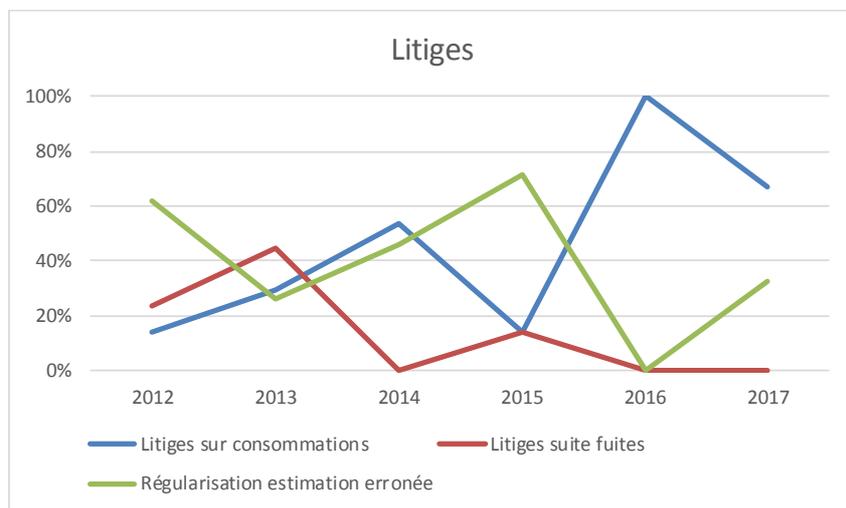


Figure 23 : Suivi des litiges, Source CRAC 2017

En bref

On observe une hausse des litiges sur les consommations depuis 2012. Aussi, les relevés des compteurs et la consolidation de la facturation constituent des points de vigilance pour le délégataire.

4. ANALYSE DU CONTEXTE CONTRACTUEL

4.1 LES PIÈCES CONTRACTUELLES

La Convention de Délégation de Service Public de la production, du transport, stockage et distribution d'énergie frigorifique par le réseau d'eau glacée a été signée le 28 janvier 1991 pour une durée de 30 ans. L'échéance de la Convention est ainsi fixée au 27 janvier 2021.

La Convention, datant de 1991, a été établie postérieurement à la Publication de la circulaire ministérielle de 1982 visant à fournir un modèle de convention de délégation de service public pour la distribution d'énergie calorifique.

Cette Convention a été modifiée par 6 avenants pour s'adapter aux évolutions des conditions d'exploitation du service :

- Avenant n°1 du 20 mai **1992** : complément de la police d'abonnement sur les périodes d'interruption de fourniture ; modification de la tarification dans la police d'abonnement ; modification de l'article du cahier des charges et de la police d'abonnement relatif à la facturation
- Avenant n°2 du 29 septembre **1992** : **élargissement du périmètre de la concession** ; modification des articles du cahier des charges relatifs au programme de travaux et à l'instruction des projets de réseaux et des implantations de centrale de production frigorifique
- Avenant n°3 du 25 octobre **1996** : modification de l'article relatif à la définition des biens de retour
- Avenant n°4 du 21 janvier **2004** : inclusion dans le périmètre concédé du service public de fourniture d'eau glacée, d'eau chaude, d'électricité de secours pour le forum des Halles, ses équipements publics, la voirie souterraine et une partie de l'établissement public du musée du Louvre ; complément des articles relatifs à l'exploitation et la gestion du service, de l'article relatif à la gestion environnementale, de l'article relatif à l'entretien et au renouvellement des installations, de l'article relatif à la redevance d'occupation du domaine public, et de l'article relatif au financement des travaux
- Avenant n°5 du 30 avril **2008** : incite le délégataire à poursuivre sa démarche de certification ISO, la politique de **développement des réseaux de froid dans Paris** ; renforce la transparence financière, technique, comptable et environnementale ; met à jour les modalités de tarification du service
- Avenant n°6 du 21 décembre **2015** : **extension du périmètre concédé sur les secteurs Paris Nord-Est (PNE), la Villette et Montparnasse** ; révision de la police d'abonnement et de la grille tarifaire avec la création d'une **offre pour les petites puissances comprises entre 50 et 120 kW** ; clarification des modalités de contrôle exercées par l'autorité délégante

La convention de DSP datant de 1991 a été consolidée le 4 janvier 2016, dans le cadre de la signature de l'avenant n°6. La Convention a donc été mise à jour très récemment. L'âge de la Convention, comme son contenu sont satisfaisants pour définir la relation entre l'autorité délégante et le délégataire et circonscrire les obligations de ce dernier.

Le périmètre concédé a été mis à jour via cet avenant. Une annexe à la Convention définit les clauses d'exploitation de la centrale énergétique des Halles, y compris les services annexes. Le délégataire assure les services inhérents à la fourniture d'eau chaude et à la fourniture et production d'électricité de secours aux usagers publics et privés du forum et à l'établissement public du Musée du Louvre (électricité de secours), en complément de la production, transport et distribution d'énergie frigorifique.

Ces activités constituent une spécificité de la présente convention. Les groupes électrogènes assurant la production de l'électricité de secours ont été installés au sein de la centrale de production de froid exploitée par le délégataire de production et distribution d'énergie frigorifique.

L'exploitation des groupes électrogènes requiert un entretien régulier. La réalisation de ces prestations par une entité extérieure au délégataire de la production frigorifique poserait des problèmes en matière de sécurité et d'accès au site.

La question de la possibilité d'extraire du périmètre de la délégation la fourniture de chaleur est différente. Les canalisations du réseau de chauffage urbain traversent la centrale des Halles exploitée par le délégataire la production frigorifique. Les installations concernées ne requièrent pas une maintenance très régulière comme les groupes électrogènes. Il est envisageable d'exclure ce service du périmètre de la DSP de production, transport et distribution d'énergie frigorifique.

L'énergie frigorifique vendue aux abonnés est facturée selon un terme R1 proportionnel aux quantités d'énergie vendue et un terme R2 proportionnel à la puissance souscrite.

Le terme R1 est révisé selon la formule définie à l'article 32.1 de la convention.

- Indice Electricité (pondération 49%)
- Indice Eau (pondération 10%)
- ICHT-IME (pondération de 10%) : indice des industries mécaniques et électriques
- BT41 (pondération de 10%) – ventilation et conditionnement d'air
- FSD2 (pondération de 10%) – Indice Frais et services divers

Le terme R2 est révisé selon la formule définie à l'article 32.1 de la convention.

Les indices de révision utilisés sont :

- ICHT-IME (pondération de 40%)
- BT41 (pondération de 40%)
- FSD2 (pondération de 10%)

Le choix des indices et leur pondération sont en cohérence avec la nature des prestations fournies. Le choix de l'indice BT 41 peut être remis en question. Cet indice est relatif à la ventilation et au conditionnement d'air. Vu la nature des prestations concernées, il semble plus adéquat de retenir l'indice des équipements aérauliques et frigorifiques industriels.

En bref

L'échéance de la DSP en cours est prévue pour février 2021. Néanmoins, le contrat actuel comporte des pièces assez récentes et mises à jour. Les 6 avenants signés depuis 1991 entre autorité délégante et délégataire ont permis d'adapter le contrat aux évolutions des conditions du service (périmètre géographique, intégration de nouvelles installations, adaptation de structure tarifaire).

4.2 LES POLICES D'ABONNEMENT

La Convention de DSP est complétée d'un document définissant les conditions générales constituant les polices type d'abonnement. Les polices d'abonnement contractualisent la relation entre le délégataire de la production, du transport et de la distribution d'énergie frigorifique et l'abonné. La durée de l'engagement minimum de l'abonné est fixée à 10 ans.

Ce document définit en particulier :

- Les principes généraux du service
- Les modalités de fourniture de l'énergie frigorifique
- Les obligations du délégataire
- Les situations de modification juridique de l'abonné ou des locaux desservis par le réseau
- Les conditions de livraison de l'énergie frigorifique
- Les obligations de l'abonné
- La résiliation
- Les tarifs de vente
- Les conditions de paiement
- Les frais et indemnités de fin de contrat
- Les dispositions d'application du contrat : durée, modifications, contestations

Les indemnités et frais de fin de contrat sont prévus contractuellement dans ce document. L'article 17.3 prévoit le versement d'indemnités en cas de diminution de la puissance souscrite dans un délai inférieur ou égal à 10 ans après raccordement de l'installation au réseau, lorsque la puissance souscrite est diminuée à la demande de l'abonné.

L'article 6.3 prévoit que « la puissance souscrite par l'abonné est révisable sur la base d'une analyse de profil de consommation du bâtiment et de la puissance maximale appelée par ce dernier dans des conditions nominales d'exploitation, sans préjudice de l'application des pénalités prévues à l'article 17.3 » », précédemment mentionné.

Ainsi, les conditions de révision de la puissance souscrite sont prévues dans les pièces contractuelles. En revanche, pour un abonné ayant signé une police d'abonnement depuis moins de 10 ans, des pénalités sont applicables en cas de révision à la baisse de sa puissance souscrite.

En bref

Les conditions générales constituant les polices types d'abonnement fixent un cadre à la police d'abonnement liant chaque abonné au délégataire. Les conditions de révision des puissances souscrites sont définies dans ce cadre général. En revanche, pour un abonné ayant signé sa police d'abonnement depuis moins de 10 ans, toute diminution de puissance souscrite peut entraîner l'application de pénalités.

4.3 LES CONTRATS D'ACHAT D'ÉNERGIE

L'énergie livrée sur le réseau est intégralement produite par le délégataire, dans le cadre de la Délégation de service Public de production, transport et distribution d'énergie frigorifique, à l'exception de l'énergie alimentant la branche de réseau Paris Nord-est (PNE). Explicitée ci-après.

La société GEOMETROPOLE est propriétaire de la centrale PNE. La société GEOMETROPOLE a été créée par CPCU (délégataire du transport et de la distribution de chaleur jusqu'à 2024) avec ses partenaires CLIMESPACE (délégataire de la production, transport, stockage et distribution d'énergie frigorifique jusqu'à 2021) et la Caisse des dépôts et consignations. Cette installation est dédiée à la production de chaud et de froid à partir des puits de géothermie du secteur Paris Nord-Est.

La convention de fourniture d'énergie par GEOMETROPOLE au réseau de froid est entrée en vigueur le 25 septembre 2013, date de mise en service industriel de la centrale PNE. Cette convention est conclue pour une durée de 30 ans, soit jusqu'au 24 septembre 2043.

Via cette convention, CPCU s'engage à fournir à CLIMESPACE l'intégralité de la production de froid issue de la centrale PNE nécessaire pour couvrir l'intégralité des consommations des clients de CLIMESPACE identifiés au jour de la signature du contrat, à savoir les entrepôts MacDonald et la ZAC Claude Bernard.

La centrale PNE dispose de deux sources de production de froid pour une capacité totale maximale de 6,5 MW :

- Production de froid par thermofrigopompes assurant la base de production, la chaleur produite simultanément étant valorisée par CPCU sur un réseau de chaleur
- Production de froid par un groupe froid constituant l'appoint ou le secours de la production de froid

L'engagement de fourniture de froid pris par CPCU est subordonné à une obligation d'achat prise par CLIMESPACE. CLIMESPACE s'engage à enlever l'intégralité du froid injecté dans le réseau d'eau glacée par la centrale PNE pour couvrir les besoins en rafraîchissement des bâtiments raccordés au réseau de froid urbain de CLIMESPACE sur le secteur PNE, tels que prévus dans le plan d'affaire joint en annexe à la convention.

En bref

Seule la branche de réseau PNE est concernée par un contrat d'achat d'énergie. Cette branche est alimentée en froid exclusivement à partir de la centrale PNE exploitée par GEOMETROPOLE. Ce contrat d'achat d'énergie a été signé en 2013 pour une durée de 30 ans, courant jusqu'à 2043. L'échéance de la DSP de production, stockage, transport et distribution d'énergie frigorifique arrive à échéance en 2021. Ainsi, le contrat d'achat d'énergie signé avec GEOMETROPOLE court pendant 22 ans à partir du démarrage de la prochaine DSP du réseau de froid. Cette échéance à long terme sécurise la production de froid sur le réseau PNE.

4.4 LES CONTRATS DE VENTE D'ÉLECTRICITÉ

Le délégataire assure un service de production d'électricité de secours aux usagers publics et privés du forum des Halles et à l'établissement public du Musée du Louvre.

Au 31 décembre 2017, le délégataire comptait 12 contrats de vente d'électricité de secours, pour une puissance souscrite de 5 532 kW.

4.5 LES CONTRATS DE VENTE DE CHALEUR

Par l'avenant n°4 du 21 janvier 2004 qui modifie l'article 3 de la concession, le périmètre concédé inclut le service public de fourniture d'eau glacée, **d'eau chaude** et d'électricité de secours pour le forum des Halles, ses équipements publics, la voirie souterraine et une partie de l'établissement public du musée du Louvre.

Au 31 décembre 2017, le délégataire comptait 12 contrats de vente de chaleur, pour une puissance souscrite de 6 552 kW. En 2017, on note notamment la signature d'un contrat chaud à 390 kW signé par Monoprix exploitation.

La synergie entre production de chaleur et production de froid est ainsi initiée et constitue un point de développement clé du réseau de froid.

5. AUDIT TECHNIQUE

5.1 LES CENTRALES DE PRODUCTION

5.1.1 CARACTÉRISTIQUES DES ÉQUIPEMENTS DE PRODUCTION

Les centrales par branche de réseau

La localisation des installations de production par branche de réseau est présentée sur la carte suivante.

Le réseau « Centre » est alimenté par 5 centrales de production :

- Centrale Canada (Eau de Seine)
- Centrale Tokyo (EdS)²
- Centrale des Halles (TAR³)
- Centrale Opéra (TAR)
- Centrale Etoile (TAR)
- Centrale Auber (TAR)

Les centrales Opéra et les Halles abritent également un volume de stockage de glace. Un site est spécifiquement dédié au stockage d'eau glacée à La Tour Maubourg. Le réseau « Centre » est le seul à bénéficier d'un stockage d'énergie frigorifique.

Le réseau Bercy est alimenté par deux centrales de production de froid :

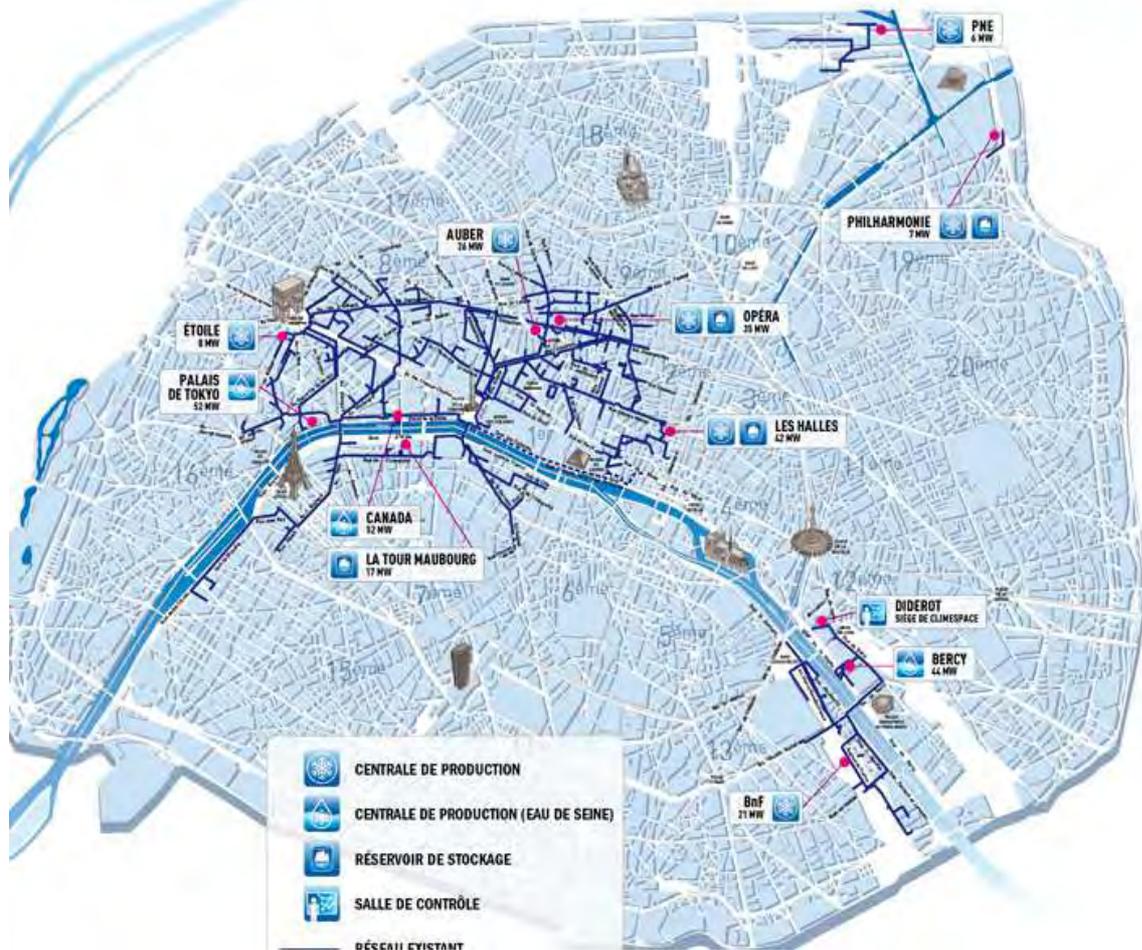
- Centrale Bercy (EdS)
- Centrale Bibliothèque Nationale François Mitterrand – BNF (TAR)

La philharmonie de Paris est alimentée en froid par une installation avec TAR directement installée sur site.

² EdS : Eau de Seine

³ TAR : Tours Aéro Réfrigérantes

LE RÉSEAU DE FROID URBAIN DE PARIS



Le tableau suivant présente pour chaque centrale de production les principales caractéristiques de fonctionnement de l'année 2016 ainsi que la puissance installée et l'ancienneté des installations.

La puissance installée des installations intégrées dans le périmètre de la DSP s'élève à 269 MW. La puissance des centrales de production (PNE) hors périmètre de la DSP est de 6 MW.

Données 2016								
Type	Centrale	MWh Froid produits	Electricité consommée (MWh)	COP	Part production	nb heures équivalent Pnom	Puissance installée (MW)	Ancienneté installations
EDS	Canada	153 670	34 464	4,46	33,3%	2 955	52	2 002
	Tokyo	138 520	28 818	4,81	30,0%	2 664	52	2 007
	Bercy	47 759	11 407	4,19	10,4%	1 111	43	1 995
	TOTAL EDS	339 949	74 689	4,55	73,7%	2 313	147	
TAR ouvertes	Halles	28 675	10 539	2,72	6,2%	683	42	1978
	Opéra	10 154	3 531	2,88	2,2%	290	35	1995
	Auber	76 558	19 341	3,96	16,6%	2 945	26	2010
	Etoile	5	209	0,02	0,0%	1	8	1998
	BNF	464	122	3,80	0,1%	66	7	2014
	TOTAL TAR	115 856	33 742	3,43	25,1%	982	118	
Autre	Philharmonie (TAR adiabatique Paris Nord)	5 019	1 973	2,54	1,1%	1 673	3	2014
	Hôtel de Ville (Eau non potable)	376	196	1,92	0,1%	376	1	2015
	Tour Maubourg (stockage)	0	196	0,00	0,0%			1999
	TOTAL AUTRES	5 395	2 365	2,28	1,2%	2 049	4	
TOTAL		461 200	110 796	4,16	100%	5 343	269	

Achat d'énergie frigorifique 6 673

Les caractéristiques de fonctionnement spécifiques à l'année 2016 sont représentatives de l'exploitation du réseau depuis la mise en service des nouvelles installations (centrales sur Eau de Seine, mais également réseau Paris Nord-Est et Philharmonie).

Le graphique suivant illustre les puissances installées par centrale de production :

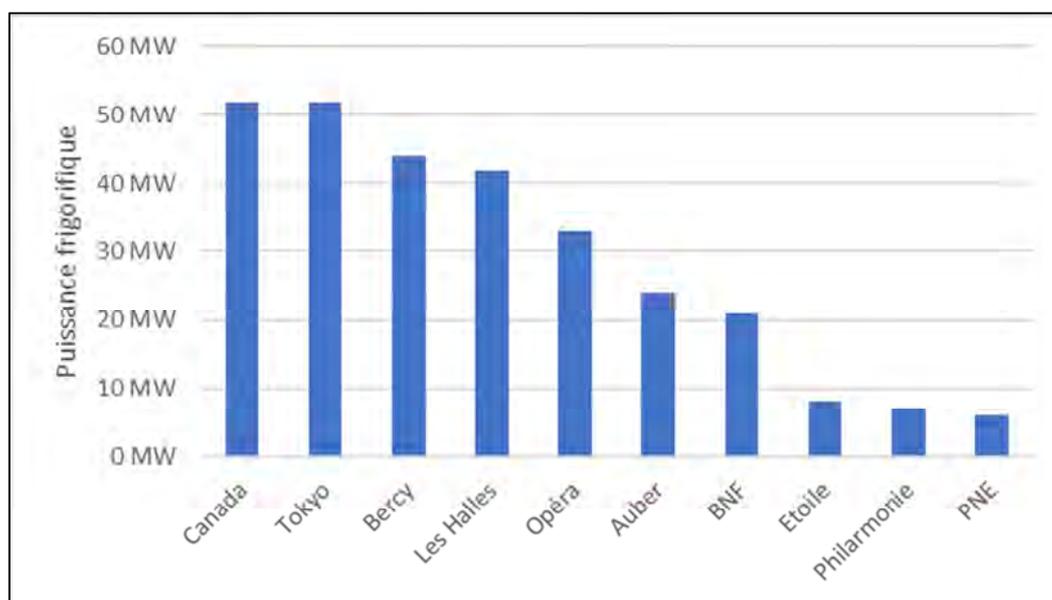


Figure 24 : Puissance installée par centrale de production

Vétusté des installations

On notera que les installations de production sont récentes au regard de leur durée de vie prévisionnelle. Seules les installations de la centrale des Halles ont été mises en service avant le démarrage de la DSP (datant de 1991). Ces installations ont été mises en service en 1978.

Néanmoins, cette centrale a fait l'objet d'importants travaux de renouvellement. L'ensemble des anciennes tours de refroidissement ont été rénovées. Les travaux ont été achevés en juin 2014. Les groupes froids ont également été remplacés en 2014, tout comme pour la centrale Opéra, mise en service en 1995.

Les installations de production de froid intégrées au périmètre de la DSP sont toutes très récentes ou ont bénéficié d'un programme de renouvellement. Le rapport d'audit technique et environnemental datant de 2014 pose le diagnostic suivant : « les sites de production sont dans un excellent état d'entretien et de maintenance, ce qui permet de garantir une pérennité des installations de production frigorifique. (...) Le suivi de l'état des équipements d'une manière préventive au travers d'un véritable programme de maintenance a été vérifié sur le terrain : mesure par courants de Foucault tous les ans sur tous les échangeurs (évaporateurs et condenseurs), l'analyse vibratoire pour les compresseurs. (...) L'ensemble de ces mesures, eu égard aux vitesses de corrosion nous permettent de confirmer que la durée de vie de 30 ans est confirmée ».

L'audit technique et environnemental recommande de retenir les durées de vie prévisionnelles suivantes pour chaque type d'équipement :

- 15 ans pour l'électricité et le contrôle commande
- 30 ans pour condenseur et évaporateur
- 25 à 30 ans pour les compresseurs et les pompes

Puissance installée par branche de réseau

Le tableau suivant présente une synthèse des capacités de production et puissances souscrites sur chaque branche de réseau (sur la base des données au 31/12/2017) :

Réseau	Capacité de production (Pinstallée en MW)	Psouscrite en MW	Ratio Pinstallée/ Psouscrite	COP moyen
Centre	216	346,7	62%	4,20
Bercy	50	63,4	79%	4,18
PNE	6	11,8	76%	
Philharmonie	3			2,54

Le ratio puissance installée sur puissance souscrite est nettement plus faible sur le réseau Centre que sur les réseaux Bercy et PNE, Philharmonie. Ce constat s'explique par plusieurs facteurs :

- Le plus grand nombre d'abonnés sur le réseau Centre et la diversité des usages permet de bénéficier d'un foisonnement plus important
- Les réseaux tiers présentent des capacités plus importantes de développement du réseau sans investir dans de nouvelles centrales de production (installations de production récentes, notamment la centrale BNF, prévue pour irriguer de nouveaux abonnés sur le réseau Bercy)
- Le réseau Centre bénéficie de 3 sites de stockage pour lisser les appels de puissance

Le stockage d'énergie frigorifique

En complément des machines de production par compression mécanique de vapeur, des stockages d'énergie frigorifique sont intégrés dans le process, sur le réseau Centre, afin d'écrêter les pointes électriques en hiver et les appels de puissance des abonnés en période chaude.

Ces stockages sont localisés sur les sites suivants :

- La Tour Maubourg, 13 bassins de 1 000 m³ chacun permettant un stockage d'énergie sensible de 90 MWhf
- Les Halles (intégré à la centrale de production) avec 30 MWhf de stockage de glace (sous forme d'énergie latente de changement d'état)

- Opéra (intégré à la centrale de production) avec 20 MWhf de stockage de glace (sous forme d'énergie latente de changement d'état)

Equipements de production de froid

Le tableau suivant présente la synthèse des principaux équipements de production de froid installés sur chaque site.

Centrales		Date MSI	Nb groupes froid	Puissance Punitaire (MW)	Pfrigorifique (MW)	Masse fluide frigorigène - kg)	TAR	Puissance calorifique TAR (MW)	EDS - débit nominal pompé (en m3/h)
EDS	Canada	2002	8	6,5	52	21 600			
	Tokyo	2 007	8	5,2 à 7,3	52	31 600			18 900
	Bercy	1995	7	1,25 à 9,5	44	15 400			9 000
	TOTAL EDS		23		148	68 600			27 900
TAR ouvertes	Halles	1978	10	2,34 à 6,75	42	14 960	8	58	
	Opéra	1995	9	1,65 à 5	35	13 596	9	47	
	Auber	2010	4	6 à 7	26	11 200	3	34,2	
	Etoile	1998	7	0,4 à 5,4	8	2 030	4	9,5	
	BNF	2014	2	3,5	7	2 000	4	9,2	
	TOTAL TAR		32		118	43 786	28	158	
Autre	Philharmonie (TAR adiabatique Paris Nord Est)	2014			3	920			
	Hôtel de Ville (Eau non potable)	2015			1	285			
	TOTAL AUTRES		0		4	1 205			
TOTAL			55		270	113 591	28	158	27 900

Depuis le 1^{er} janvier 2015 et la conversion des derniers groupes froids anciennement au R22, l'ensemble des groupes froid fonctionnent au R134a, pour une masse totale en service de 113 500 kg. La puissance installée dans la centrale BNF est appelée à croître. Cette installation comporte à ce jour deux groupes froid de 3,5 MW chacun. La centrale pourra accueillir jusqu'à 6 groupes froid pour une puissance totale installée de 21 MW. Cette installation fonctionne avec des tours aéroréfrigérantes dont le nombre devra être adapté, conformément aux évolutions.

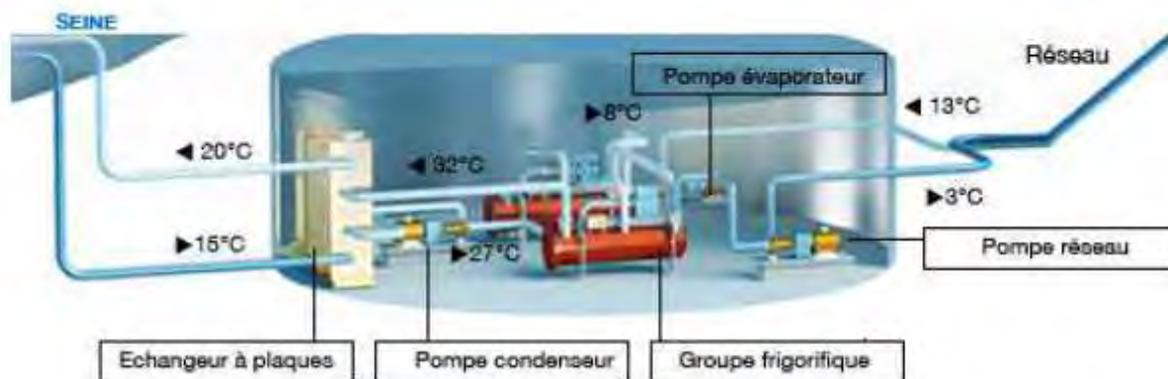
Technologies de production de froid

Le réseau de froid Parisien est essentiellement alimenté par des centrales sur Eau de Seine et des centrales avec tours aéroréfrigérantes. Le fonctionnement de ces unités est similaire depuis les groupes froids jusqu'au réseau de froid enterré. Les différences résident dans le type d'exutoire de chaleur et le mode d'échange.

Le schéma ci-dessous présente les principaux équipements en jeu au niveau d'une centrale de production sur Eau de Seine raccordée au réseau de froid. Il est lu de la gauche vers la droite, depuis l'exutoire de chaleur (l'eau de Seine) vers le réseau de froid.

L'eau de Seine est utilisée pour dissiper les calories excédentaires. Une pompe immergée permet de diriger l'eau de Seine à une température moyenne d'environ 15°C vers un échangeur de chaleur. Cet échangeur permet de transférer les calories depuis le réseau condenseur du groupe froid vers l'Eau de Seine, qui est rejetée après passage dans l'échangeur dans le cours d'eau d'origine. La seule modification apportée à l'eau de Seine utilisée est une élévation de température, avec une limite maximale de température de rejet de 30°C.

Les groupes froids permettent d'abaisser le niveau de température afin de rafraîchir le réseau. Un échange de chaleur s'effectue au niveau de l'évaporateur du groupe froid. Les retours réseau sont alors rafraîchis au niveau de l'évaporateur du groupe froid. L'eau ainsi rafraîchie est envoyée vers les postes abonnés grâce à des pompes qui alimentent le réseau de froid.



Source : Climespace

Figure 25 : Schéma d'une centrale de production de froid, Source CRAC 2016

Emprise des centrales

Le tableau suivant fait état des surfaces mobilisées par les centrales et de leur localisation.

Centrale	Titre d'occupation	Adresse	Surface	Numéro de parcelle
Auber	Convention d'occupation précaire / RATP	6, rue Auber 75009 Paris	1000 m ²	Niveaux 15-20, 5-22 – terrasse – trémie
	Bail + droit de passage et servitude de passage des canalisations / SCOR	6, rue Auber 75009 Paris	Local 1 : 45 m ² Local 2 : 3,6 m ²	Local 1 : Niveau NGF 29 (local au 1 ^{er} sous-sol) Local 2 : Terrasse au 6 ^{ème} étage
Bercy	Bail à construction CPCU – CLIMESPACE + servitude de passage des canalisations dans la chaufferie CPCU	48, quai de la Rapée 75012 Paris	2 872 m ²	42 à 50 quai de la Rapée 75012 Paris, cadastré section 1204 EH n° 19, contenance de 66a 35ca, sur le lot de volume n° 1
	CODP / Ports de Paris, port de la Rapée	48, quai de la Rapée 75012 Paris	69 m ²	Conduite n°4 de diamètre 500 mm, longueur de 118 ml
BNF	CODP + servitude de passage des canalisations / BNF	Quai François Mauriac 75013 Paris	Niveau A1 : 66 m ² Niveau L4 : 114 m ² Niveau L3 : 40 m ² Niveaux L1, L2, L3, L4 et parking : 1241 m ² Terrasse T3 : 241 m ²	Poste d'appoint d'eau Poste d'échange Centrale & équipements auxiliaires TAR
Canada	CODP / Ports de Paris	Place du Canada (pont des Invalides, cours Albert 1er) 75008 Paris	Ouvrages enterrés : 205 m ² Canalisations : 36 ml Tréfonds : 160 m ²	Port de la Conférence
Canada	CODP / Ville de Paris	Place du Canada (pont des Invalides, cours Albert 1er) 75008 Paris	Superficie non précisée (annexes avec plans)	Sous le trottoir côté Seine du cours Albert 1er à l'angle du Pont des Invalides

Centrale	Titre d'occupation	Adresse	Surface	Numéro de parcelle
Etoile	Bail / SCOR	5, avenue Kléber et 29 rue la Pérouse 75116 Paris	Superficie non précisée (annexes avec plans)	Locaux situés aux 6ème et 7ème sous-sols
Les Halles	Ouvrages incorporés à la concession par l'avenant 4 du 21 janvier 2004.	2, rue de Turbigo 75001 Paris	Surface non précisée dans l'avenant 4 Les ouvrages sont détaillés dans l'acte notarié d'acquisition de la centrale par la Ville de Paris du 4 février 2003	?
Hôtel de Ville	Contrat de fourniture d'énergie frigorifique à la Ville de Paris n°01161	29 rue de Rivoli 75004 PARIS	Superficie non précisée (annexes avec plan)	Local S052
Opéra	Bail emphytéotique + servitude de passage des canalisations	79, rue de Provence 75009 Paris	1697 m ² + 940 m ² en terrasse	Lot de volume n°100 de l'EDDV du 27 juillet 1994 (comprenant des surfaces du 3ème et 4ème sous-sol). Parcelles section 0902AP n°1 et section 0902AP n°4 Terrasse 8ème étage
	Contrat de fourniture d'énergie frigorifique n°02004 + servitude de passage des canalisations	40 boulevard Haussmann 75009 Paris	Superficie non précisée (annexes avec plan)	3ème sous-sol
Philharmonie de Paris	CODP / Etablissement public « Cité de la musique - Philharmonie de Paris »	187 à 193 boulevard Serurier 75019 PARIS	982 m ²	Immatriculation CHORUS n°143529/194905 cadastré section CR n°21
Tokyo	CODP / Port autonome de Paris	2, rue de la Manutention 75016 Paris	128 m ² + 2 canalisations de 21 ml et de 16 ml	Tréfonds du Port Debilly
	Arrêté du 15 mars 2005 / Ville de Paris	2, rue de la Manutention 75016 Paris	2186,3 m ²	Tréfonds de la Ville de Paris
	CODP / Etat	2, rue de la Manutention 75016 Paris	2186,3 m ²	Locaux au niveau 0 du Palais de Tokyo 13 avenue du Président Wilson 75016 Paris Immatriculation CHORUS n°168546/322686 Parcelle cadastrée section FU01 propriété de la Ville de Paris

Les installations suivantes ont été réalisées dans les sous-sols de bâtiments utilisés par des abonnés du réseau (Grands magasins, bureaux, commerces...) :

- Tokyo (sous-sol du musée du Palais de Tokyo)
- Opéra (sous-sol des Grands magasins)
- Etoile (sous-sol des bâtiments de la SCOR)
- Philharmonie (sous-sol de la salle de spectacle)
- Hôtel de Ville

La Centrale Auber a été réalisée directement dans les locaux de la gare exploitée par la RATP. La centrale des Halles produit du froid directement au sein des locaux du forum des Halles. Cette centrale présente la spécificité de produire de l'électricité de sécurité pour 2 réseaux électriques

⁴ CODP : Convention d'Occupation du Domaine Public
EDDV : Etat Descriptif de Division en Volumes

distincts : le Forum des Halles et le musée du Louvre. Cette énergie est produite par 5 groupes électrogènes.

Les centrales Bercy et Canada ont été réalisées au plus près de la Seine afin de bénéficier de la présence de cette ressource pour dissiper les calories excédentaires.

En bref

La DSP du réseau de froid intègre dans son périmètre 10 centrales de production et 3 unités de stockage. L'intégralité du stockage et 7 centrales de production de froid alimentent le réseau Centre. Le réseau Bercy est alimenté par deux centrales de production, tandis que la Philharmonie bénéficie d'une centrale. Enfin le réseau PNE est alimenté par une centrale hors DSP.

Les plus anciennes centrales (les Halles et Opéra) ont été renouvelées il y a moins de 5 ans. L'ensemble des installations de production est en très bon état de fonctionnement selon les audits technique en date de 2014 et 2018 et fait l'objet d'un important programme de renouvellement.

La production du froid est assurée en partie à partir de freecooling de la Seine en période hivernal. L'essentiel de la production requiert cependant le concours de groupes froid comportant un fluide frigorigène. La réglementation sur les fluides frigorigènes évolue au cours du temps, limitant les fluides autorisés dans les installations. Le délégataire s'est adapté depuis le début de la DSP aux évolutions réglementaires. L'ensemble des groupes froid est aujourd'hui équipé de R134a. Les équipements devront pouvoir s'adapter aux futures évolutions réglementaires.

Ces installations de production sont complétées de 3 unités de stockage sur le réseau Centre. Ces installations sont peu mobilisées sur les dernières années, elles ne fonctionnent qu'en secours. Elles pourront à l'avenir assurer un rôle d'appoint pour les pointes d'appel estival.

5.1.2 ORGANISATION GÉNÉRALE POUR LA CONDUITE ET L'EXPLOITATION

La conduite des installations

La conduite des centres de production est mutualisée afin de garantir une optimisation énergétique du parc de production frigorifique.

Historiquement, l'optimisation de la conduite consiste à engager au maximum les installations de production frigorifique sur Eau de Seine. Les limites encadrant l'engagement des sites Eau de Seine sont :

- Leur taux de disponibilité
- Leur souscription électrique
- Leur zone d'influence sur le réseau de froid

Un changement de réglementation sur le marché électrique, datant de 2011 a conduit à faire évoluer ce modèle.

En juillet 2011, le marché de l'énergie a subi une dérégulation encadrée par la loi NOME. Cette évolution réglementaire a entraîné la disparition du TARTAM (Tarif Réglementé et Transitoire d'Adaptation au Marché) et la mise en place du mécanisme ARENH (Accès Régulé à l'Électricité Nucléaire Historique), avec pour effet une augmentation des tarifs sur le marché de l'énergie de 25%

Le mécanisme ARENH contraint les sites concernés à :

- Une anticipation à court et moyen terme de la courbe de charge électrique pour optimiser les achats en électricité
- Une consommation supérieure au seuil minimum sous peine de pénalités élevées avec obligation d'engager des sites moins performants pour permettre la maîtrise des coûts
- Une stratégie de conduite à 3 horizons (1an, 1 mois et Très court terme) intégrant la consommation d'ARENH
- Un suivi quotidien de l'avancée de la consommation ARENH

Les sites concernés par l'ARENH sont Bercy et Canda (Eau de Seine, les Halles et Opéra (TAR). Une clause contractuelle de l'ARENH contraint le délégataire à respecter un engagement minimum de consommation d'énergie sur les heures creuses (4 000 heures/an).

Le dispositif ARENH a induit une augmentation des tarifs d'approvisionnement en électricité des sites sur Eau de Seine Canada et Bercy, qui bénéficient de meilleurs COP que les centrales avec TAR.

La stratégie de production adoptée depuis 2011 par l'équipe de conduite des centrales de production recherche un équilibre entre 3 facteurs « les 3C » :

- COP optimisé
- Coût de production maîtrisé
- Consommation de puissance ARENH cible réalisée en heures creuses

Afin de piloter en fonction de ces 3 facteurs, le délégataire a dû mettre en place les outils suivants :

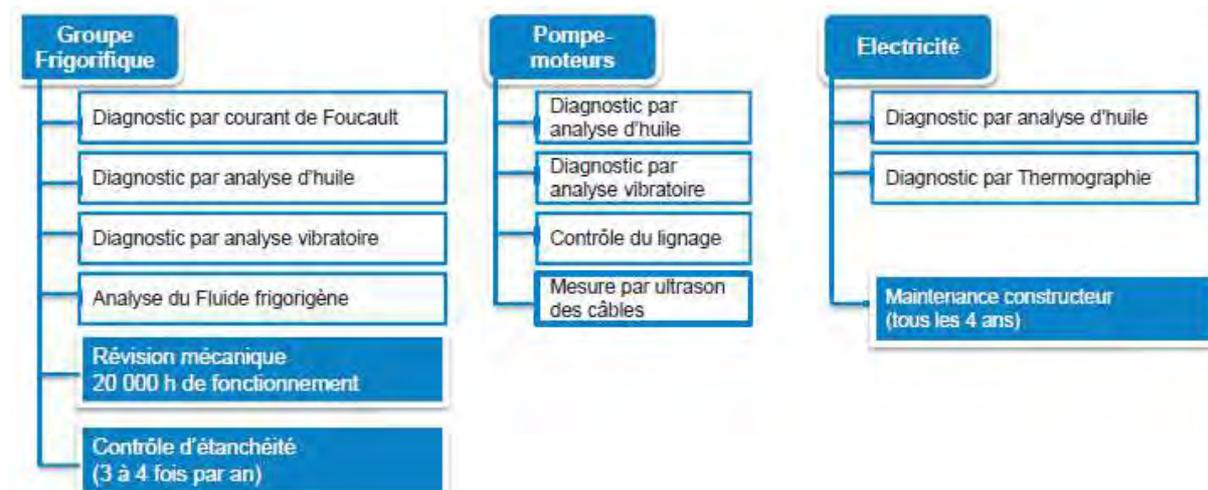
- Prévision de charge froid et électricité
- Dispatching
- Planification de la maintenance préventive et prédictive en fonction des contraintes d'optimisation des « 3C »
- Optimisation de l'arbitrage sur l'engagement des sites en fonction des « 3C »
- Suivi de la consommation d'ARENH et récapitulatif des ventes d'énergie sur le marché par effacement « ARENH »

Optimisation des performances des centrales

La conduite par mailles est mise en œuvre par le Délégué sur le réseau Centre depuis fin 2010. Dès que la puissance appelée en pointe sur le réseau Centre le permet, le réseau est maillé et scindé en deux sous réseaux par manœuvre de vannes. Les vannes sont manœuvrées en moyenne une dizaine de fois par an. Ce mode d'exploitation permet de réduire les niveaux de pression et d'améliorer le COP global.

L'entretien maintenance

Le programme de maintenance appliqué aux unités de production est le suivant :



En bref

Le pilotage des unités de production et de l'ensemble du réseau est organisé depuis le dispatching. L'engagement des centrales de production est défini en fonction de 3 critères (performance énergétique, coûts de production et respect des engagements ARENH sur les consommations en électricité).

Grâce à sa structure maillée et au foisonnement des unités de production, le réseau Centre peut être piloté en mode maillé, afin de réduire les consommations en électricité. Sa permet d'optimiser la production et de diversifier les exutoires de chaleur. Ce type de développement est à rechercher pour le réseau Bercy.

5.1.3 SITUATION DES CENTRALES AU REGARD DE LA RÉGLEMENTATION

L'audit technique et environnemental réalisé en 2014 a contrôlé la situation des installations de production par rapport à la réglementation. La synthèse de la situation des équipements par rapport à la réglementation, présentée dans le présent sous-chapitre, s'appuie sur ce rapport.

La réglementation relative aux systèmes de refroidissement évaporatif

Le Décret n°2013-1205 et les arrêtés Ministériels du 14 décembre 2013 relatifs à la rubrique n°2921 des ICPE sont parus au journal officiel le 24 décembre 2013. Les installations concernées par cette nouvelle réglementation sont : les tours de refroidissement, tours aéroréfrigérantes, ou installations de refroidissement évaporatif par dispersion d'eau dans un flux d'air (IRDEFA) généra par une ventilation mécanique ou naturelle, et les aéroréfrigérantes dits mixtes ou hybrides combinant le fonctionnement évaporatif avec d'autres modes de fonctionnement (sec et ou adiabatique).

Le Décret n°2013-1205 précise les évolutions suivantes :

- Création du régime de l'enregistrement (E) pour des installations dont la puissance thermique évacuée maximale est inférieure ou égale à 3 000 kW
- Création du régime de Déclaration soumis à Contrôle périodique (DC) pour les installations dont la puissance thermique évacuée maximale est supérieure à 3 000 kW
- La détermination du régime E ou DC s'effectue en calculant la somme des puissances des tours présentes sur site

Les exigences du Décret ont été prises en compte par le Délégué selon le rapport d'audit technique et environnemental de 2014.

L'occurrence d'un incident au niveau de la centrale Auber a été immédiatement suivie d'actions correctives. Les autres installations ne présentent pas d'anomalies particulières.

Réalisation des contrôles périodiques

L'entretien et la maintenance sont assurés à une fréquence annuelle, y compris les contrôles réglementaires électriques et métrologiques.

Suivi du risque légionnelle

Le délégataire met en œuvre le plan d'actions suivant afin de prévenir le risque de développement de légionelles :

- Gestion hydraulique de manière à prévenir la prolifération du biofilm (en particulier circulation quotidienne de l'eau dans l'ensemble des circuits concernés)
- Injection de produit tensio-actif en continu pour lutter contre la formation de biofilm
- Injection d'un biocide oxydant en faible concentration et en continu pour maîtriser la qualité de l'eau

Cette stratégie vise à prévenir le risque légionelle tout en réduisant les concentrations de produits chimiques de traitement d'eau en continu. Les chocs aux biocides sont presque exclusivement limités à la remise en service de tronçons suite à des arrêts prolongés.

Le graphique suivant présente l'évolution de l'injection de biocide non oxydant dans les circuits des tours aéroréfrigérantes sur la période 2014-2017. Une réduction de 45% des quantités de BNO injectées par GWh de froid produit est enregistrée sur cette période.



Figure 26 : Suivi du BNO injecté dans les circuits TAR – Source : CRAC 2017

Aucun dépassement de seuil réglementaire en *legionella pneumophila* entraînant l'arrêt d'un site de production (soit 100 000 UFC/L) n'a été enregistré en 2017.

Autres points de vigilance réglementaire

L'existence de l'ensemble des liaisons équipotentielle nécessaires à l'exploitation en toute sécurité est à consolider. Ces liaisons servent à protéger les travailleurs contre les risques de chocs électriques.

Une liaison équipotentielle consiste en un conducteur électrique liaisonnant deux équipements qui sinon se trouveraient isolés électriquement.

Les compensateurs en élastomère créent une isolation électrique des équipements en amont et en aval. Ils doivent être systématiquement équipés d'une liaison équipotentielle. Ces compensateurs ont été mis en œuvre au refoulement des pompes.

Les systèmes d'injection de produits chimiques pour le nettoyage des échangeurs Eau de Seine ont été supprimés pour être en conformité avec la réglementation des rejets en Seine.

En bref

Les installations de production de froid du réseau Parisien sont classées ICPE. Ce classement engendre des obligations en matière de suivi réglementaire. Un suivi légionnelle est effectué au niveau des TAR, qui présentent un risque. Le seuil de 10^5 UFC/l n'a jamais été dépassé. Cependant, on observe régulièrement des niveaux élevés au niveau de la centrale Auber. Cette dernière doit faire l'objet d'un suivi rigoureux.

Aucun incident notable n'est déploré en lien avec le fonctionnement du réseau depuis 2008 et l'ensemble des indicateurs relatifs à la conformité des installations avec la réglementation sont satisfaisants.

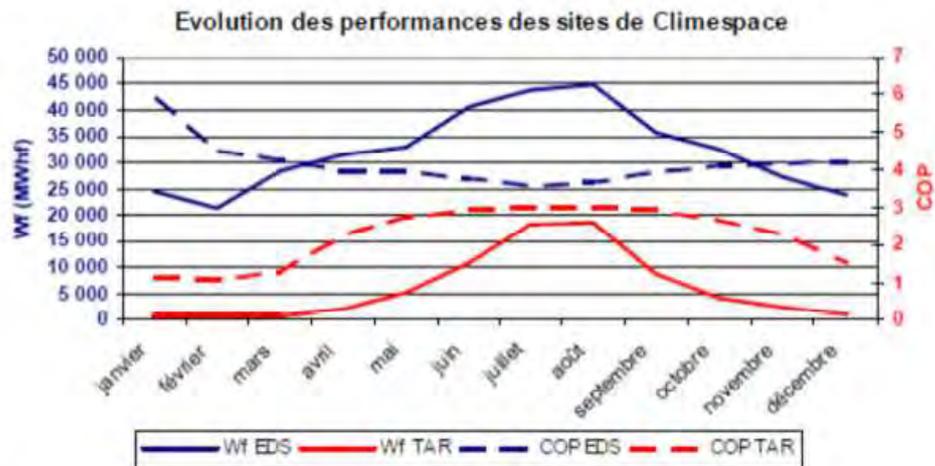
5.1.4 SUIVI DE LA MARCHE DES ÉQUIPEMENTS

Performance des centrales

L'ordre de priorité donné aux centrales de production a été modifié par le dispositif ARENH, comme précisé au chapitre 5.1.2. Les performances techniques et environnementales conduisent néanmoins à rendre prioritaire le fonctionnement des centrales sur Eau-de-Seine. Le fonctionnement de ces installations présente les bénéfices suivants :

- Le COP moyen annuel est très nettement supérieur à celui des installations avec TAR
- Leur exploitation induit d'importantes économies d'eau pour le fonctionnement

Le graphique suivant présente le suivi des performances des sites de la DSP en fonction de la technique de dissipation des calories utilisées :



TAR : sites à tours aéroréfrigérantes
EDS : sites à eau de Seine
Wf : énergie froide produite
COP : coefficient opérationnel de performances

Figure 27 : Graphique de suivi des performances mensuelles des sites de la DSP - Source Analyse CRAC 2016

On constate que sur le graphique précédent que les performances des sites équipés de TAR sont les meilleures (COP de 3) en été, période pendant laquelle les performances des installations sur Eau de Seine sont les plus médiocres (COP de 3,5).

Ainsi, les performances des installations sur Eau de Seine sont dépendantes de la température de la ressource, tandis que les performances installations équipées de TAR sont liées au taux de charge.

Le tableau suivant présente le suivi des COP par centrale et pour l'ensemble du réseau sur 3 ans : de 2014 à 2016. Le rendement de production global est compris entre 3,92 et 4,16. Ce COP global est porté par les performances des sites sur Eau de Seine (4,28 à 4,55 en moyenne).

		2014	2015	2016
EDS	Canada	4,29	4,30	4,46
	Tokyo	4,72	4,25	4,81
	Bercy	4,46	4,26	4,19
	TOTAL EDS	4,48	4,28	4,55
TAR ouvertes	Halles	2,62	2,70	2,72
	Opéra	1,47	2,13	2,88
	Auber	3,85	3,80	3,96
	Etoile	0,12	0,00	0,02
	BNF			3,80
	TOTAL TAR	3,31	3,31	3,43
Autre	Philharmonie (TAR adiabatique Paris Nord Est)		2,18	2,54
	Hôtel de Ville (Eau non potable)		1,21	1,92
	Tour Maubourg	0,00	0,00	0,00
	TOTAL AUTRES	0,00	1,91	2,28
TOTAL		4,12	3,92	4,16

Consommations en électricité

Les COP des installations sur Eau de Seine étant plus élevés que ceux des installations équipées de TAR, le recours à ces équipements permet de réduire la consommation en électricité.

Le graphique suivant permet de suivre le taux de mobilisation des sites sur Eau de Seine, ainsi que les consommations en électricité de l'ensemble des centrales.

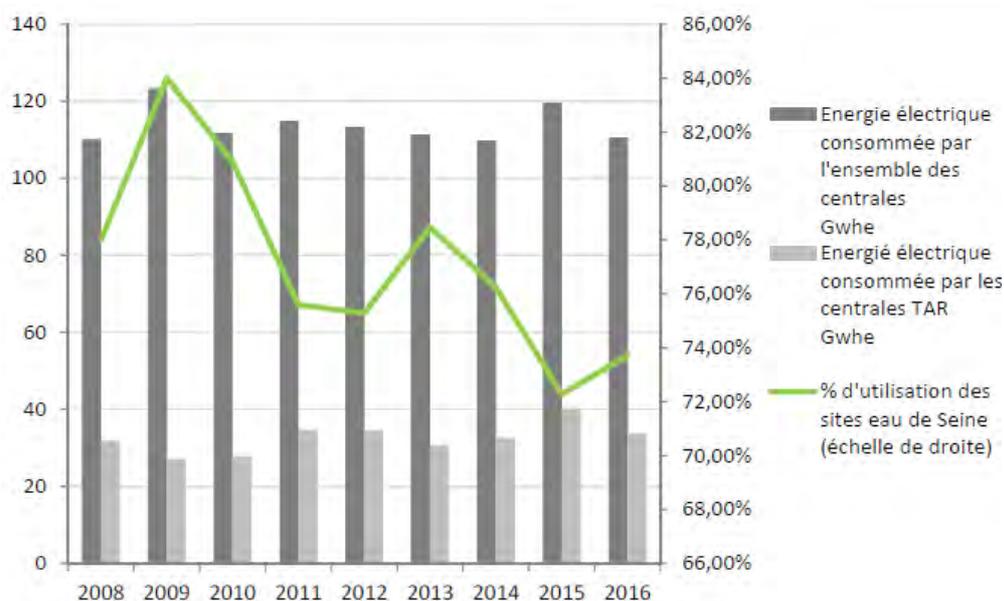


Figure 28 : Suivi des consommations en électricité des centrales - Source Analyse CRAC 2016

Les consommations en électricité des centrales de production varient de 110 à 120 GWh/an pour un niveau de production de froid compris entre 453 et 485 GWh/an sur les années 2014 à 2017.

Le graphique ci-contre permet de visualiser l'évolution des économies d'électricité et sa corrélation avec l'engagement des centrales sur Eau de Seine (EdS).

Les économies d'électricité générées par le recours aux unités sur Eau de Seine sont comprises entre 23 300 MWh/an et 27 300 MWh/an, représentant 20 à 25% des consommations en électricité de l'ensemble des équipements de production.

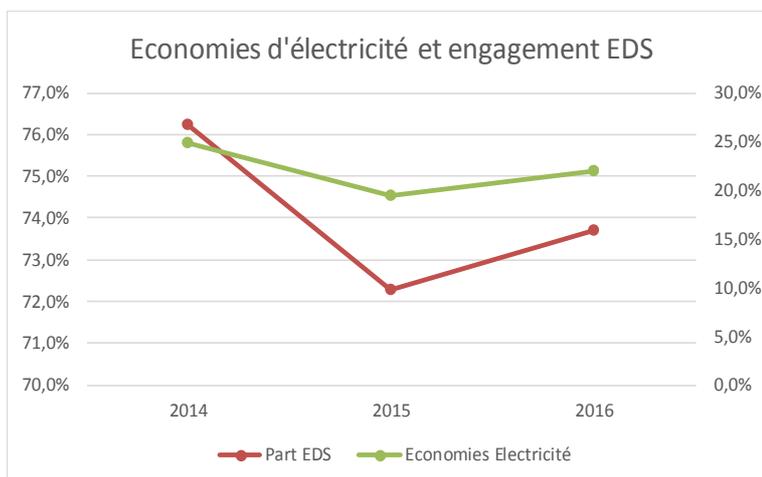


Figure 29 : Evaluation des économies d'électricité et niveau d'engagement des centrales EDS

Traitement d'eau

L'eau du réseau est traitée afin de lutter contre la corrosion. Le traitement d'eau est réalisé dans les centrales de production via des modules membranaires ayant pour objectifs de garantir en sortie de dispositif de traitement une conductivité comprise entre 20 et 24 μS et un TH = 0.

Au niveau des TAR, deux produits sont injectés :

- Un produit tensio-actif est injecté en continu pour lutter contre la formation de biofilm
- Ce traitement est complété de l'injection d'un biocide oxydant en faible concentration et en continu

Le dosage de biocide est réalisé de manière à atteindre 0,91 mg/Litre.

Le graphique suivant permet de suivre l'évolution des quantités de biocide non oxydant injecté pour traiter l'eau des tours aéro réfrigérantes :



Figure 30 : Suivi de l'injection de biocide, Source CRAC 2017

5.1.5 FUITES DE FLUIDE FRIGORIGÈNE

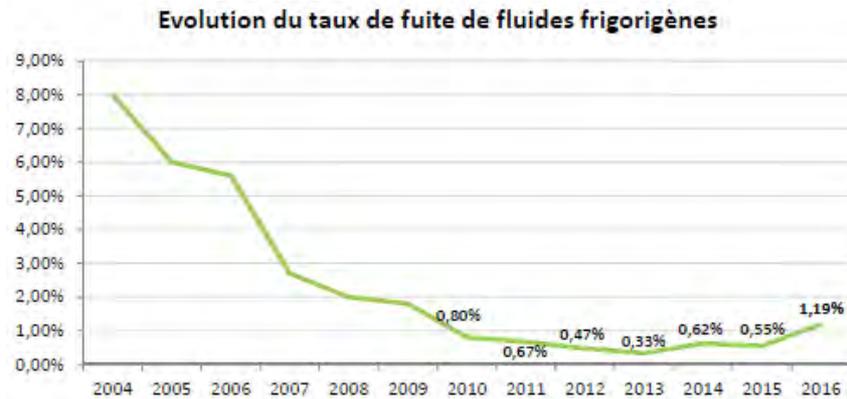
L'ensemble des groupes froid fonctionnent au R134a. Le potentiel de réchauffement global (PRG) relatif à 100 ans de ce gaz est de 1300. A titre de comparaison, le R22 précédemment utilisé, présentait un PRG (relatif) à 100 ans de 1760.

L'évolution très favorable du taux de fuite de fluide frigorigène s'explique par le contrôle régulier des installations, les contrôles d'étanchéité réguliers, l'analyse prédictive des risques de fuite, l'effort porté sur le programme de gros entretien renouvellement des équipements et le rajeunissement des machines.

La surveillance des installations est renforcée grâce à la mise en œuvre des actions suivantes :

- 4 recherches de fuites par an sur chaque équipement,
- Surveillance en temps réel des valeurs relevées par les appareils de détection fixe
- Renforcement de la maintenance (trois mesures de performance chaque année en régime nominal, nouvelles garnitures mécaniques)

Le suivi du taux de fuite de fluide frigorigène est présenté au chapitre 3.2 du présent rapport. Le graphique de suivi de cet indicateur est rappelé ci-dessous.



5.1.6 BILAN DES CONSOMMATIONS D'ÉNERGIE

Le bilan des quantités d'énergie produites et consommées par centrale et par an est joint dans les trois tableaux suivants pour les années 2015 à 2017.

La production de froid varie entre 460 et 485 GWh, tandis que les consommations en électricité sont comprises entre 110 et 120 GWh/an.

Centrale	2015			
	MWh Froid produits	Electricité consommée (MWh)	COP	Part production
Canada	183 281	42 576	4,30	39,0%
Tokyo	102 904	24 234	4,25	21,9%
Bercy	53 255	12 488	4,26	11,3%
TOTAL EDS	339 440	79 297	4,28	72,3%
Halles	28 513	10 570	2,70	6,1%
Opéra	7 854	3 682	2,13	1,7%
Auber	88 303	23 247	3,80	18,8%
Etoile	0	202	0,00	0,0%
BNF	0	0		0,0%
TOTAL TAR	124 670	37 701	3,31	26,5%
Philharmonie (TAR adiabatique Paris Nord Est)	5 308	2 438	2,18	1,1%
Hôtel de Ville (Eau non potable)	202	167	1,21	0,0%
Tour Maubourg	0	281	0,00	0,0%
TOTAL AUTRES	5 510	2 886	1,91	1,2%
TOTAL	469 620	119 884	3,92	100,0%

Centrale	2016			
	MWh Froid produits	Electricité consommée (MWh)	COP	Part production
Canada	153 670	34 464	4,46	33,3%
Tokyo	138 520	28 818	4,81	30,0%
Bercy	47 759	11 407	4,19	10,4%
TOTAL EDS	339 949	74 689	4,55	73,7%
Halles	28 675	10 539	2,72	6,2%
Opéra	10 154	3 531	2,88	2,2%
Auber	76 558	19 341	3,96	16,6%
Etoile	5	209	0,02	0,0%
BNF	464	122	3,80	0,1%
TOTAL TAR	115 856	33 742	3,43	25,1%
Philharmonie (TAR adiabatique Paris Nord Est)	5 019	1 973	2,54	1,1%
Hôtel de Ville (Eau non potable)	376	196	1,92	0,1%
Tour Maubourg	0	196	0,00	0,0%
TOTAL AUTRES	5 395	2 365	2,28	1,2%
TOTAL	461 200	110 796	4,16	100,0%

		2017			
	Centrale	MWh Froid produits	Electricité consommée (MWh)	COP	Part production
EDS	Canada	152 677	34 393	4,44	31,4%
	Tokyo	157 521	32724,00	4,81	32,4%
	Bercy	48 619	11 905	4,08	10,0%
	TOTAL EDS	358 817	79 022	4,54	73,9%
TAR ouvertes	Halles	12 324	5 831	2,11	2,5%
	Opéra	54 899	13 092	4,19	11,3%
	Auber	49 791	12 389	4,02	10,3%
	Etoile	0	149	0,00	0,0%
	BNF	4 078	987		0,8%
	TOTAL TAR	121 092	32 448	3,73	24,9%
Autre	Philharmonie (TAR adiabatique Paris Nord Est)	5 350	1 697	3,15	1,1%
	Hôtel de Ville (Eau non potable)	306	182	1,68	0,1%
	Tour Maubourg	0	246	0,00	0,0%
	TOTAL AUTRES	5 656	2 125	2,66	1,2%
TOTAL		485 565	113 595	4,27	100,0%

Les consommations moyennes en électricité pour le fonctionnement des centrales sur Eau de Seine sont de 224 kWhe/MWhf produit. Ce ratio s'élève à 291 kWhe/MWhf produit pour les unités avec TAR et le ratio moyen pour le réseau est de 243 kWhe/MWhf produit.

Le graphique suivant permet de suivre mensuellement les quantités de froid produit et les consommations en électricité. Le talon de production de froid sur la période de novembre à avril est d'environ 25 000 MWh/mois. Le pic pour l'année 2017 est observé en juin avec 70 000 MWh. Le pic d'août 2016 atteint 63 000 MWh, soit un facteur 1 à 3 entre les plus faibles et les plus fortes productions mensuelles de froid.

Le talon de consommation d'électricité est proche de 5 000 MWh/mois, tandis que les pics peuvent atteindre 19 000 MWh/mois.

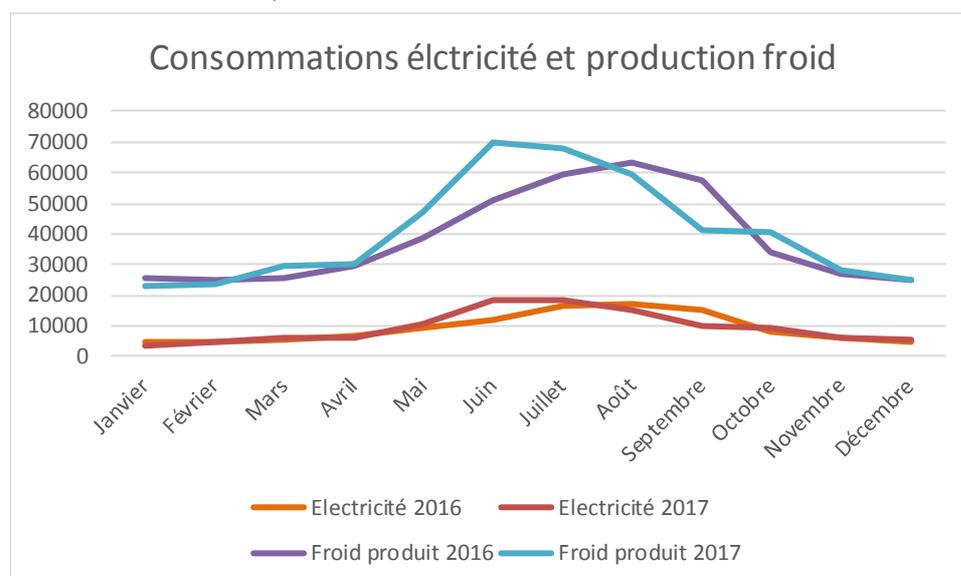


Figure 31 : Courbes de charge de production de froids et consommations en électricité

En bref

Les coefficients de performance des unités de production sont très élevés, en comparaison avec des moyens de production autonomes. Les centrales sur Eau de Seine présentent des COP moyens annuels supérieurs à 4,3, tandis que le COP moyen annuel des centrales équipées de TAR sont supérieurs à 3,3. Les performances de ces dernières sont fonction de leur taux d'utilisation. Aussi, la commercialisation du réseau favorise l'amélioration des performances.

La production de froid sur le réseau contribue ainsi à réduire les consommations en électricité ainsi que les appels de puissance. Ce phénomène de lissage des appels de puissance électrique pourra être amplifié en mobilisant davantage les sites de stockage pour répondre aux pointes d'appel de froid.

5.1.7 TRAVAUX DE RÉNOVATION OU DE MISE À NIVEAU À PROGRAMMER

Les recommandations issues des audits technique et environnemental de 2014 et 2018

Le rapport de l'audit technique réalisé en 2014 fait état d'installations en excellent état d'entretien et de maintenance pour les centrales de production. Des visites d'installations ont été réalisées dans le cadre de cet audit.

Il s'agit des centrales suivantes :

- Auber
- Bercy
- Canada

Aussi, les recommandations formulées dans le rapport d'audit sur les centrales de production portent sur de l'amélioration de l'entretien maintenance. Aucune remarque n'a été émise concernant des travaux de rénovation à engager. Il est conseillé, pour un meilleur suivi de l'état des installations, de généraliser la mise en place des coupons de corrosion comme sur la centrale Canada.

Les rénovations réalisées entre 2010 et 2017

La Centrale Opéra a fait l'objet d'une rénovation en deux phases :

- La Phase 1 en 2011/2012 : les tours aéroréfrigérantes de la Centrale ont été rénovées, ainsi que les adoucisseurs
- La phase 2 en 2014/2016 :
 - Fin de la rénovation (remplacement complet) des tours aéro réfrigérantes
 - les anciens équipements de production frigorifique sont remplacés par des équipements avec une technologie à palier magnétique
 - Le réseau hydraulique et les pompes sont remplacés ; les pompes évaporateurs et réseau sont mutualisées
 - La bouteille casse pression est supprimée ; un by-pass est installé en remplacement de celle-ci
 - Les TGBT sont remplacés
 - Un poste moyenne tension est créé

La Centrale des Halles a fait l'objet de travaux de modernisation :

- Renouvellement des postes HT
- Modernisation des TAR en de 2012 à 2014
- Renouvellement (remplacement des circuits condenseurs) de deux groupes froid (sur 7) en 2015
- Renouvellement des automates de production frigorifiques sur deux groupes froids

Les variateurs des pompes réseau de la Centrale Bercy ont été remplacés en 2012. Cette centrale a également fait l'objet de travaux de renouvellement sur 3 des automates ayant en charge la surveillance et le pilotage des installations électriques et sur deux automates groupes froid.

Travaux de renouvellement prévus sur la période 2017-2021

Les principales interventions prévues au titre du GER sur la période 2017-2021 concernent :

- Deux groupes froid de la centrale Bercy (datant de 1993)
- Un groupe froid de la Centrale, datant de 1999
- Deux groupes froid de la Centrale des Halles, datant de 1994
- Les transformateurs de la centrale des Halles, installés entre 1993 et 2011
- Les pompes Eau de Seine de la Centrale Tokyo, datant de 2006
- Les sous-stations en fin de vie

En bref

Les centrales de production font l'objet d'un important programme de renouvellement et sont en très bon état de fonctionnement. Aucun incident entraînant l'arrêt d'une centrale n'a été constaté sur les dernières années de fonctionnement.

5.2 LE RÉSEAU DE DISTRIBUTION ET LES SOUS-STATIONS

5.2.1 DONNÉES CARACTÉRISTIQUES DU RÉSEAU

Selon les périodes de réalisation et selon les tronçons du réseau, différents matériaux ont été employés pour les tuyaux aller et retour du réseau de distribution de l'énergie frigorifique.

Les matériaux ainsi présents sur le réseau de distribution sont :

- L'acier (matériau majoritaire, avec 84% de la longueur de réseau installé depuis le début de la concession en acier)
- La fibre
- La fonte
- Le MRI : tuyau souple type « pompier »
- Le PEHD : Polyéthylène Haute Densité
- Le PPROP : Polypropylène

Le graphique suivant présente la répartition en % de longueur de réseau installé par matériau depuis le début de la concession :



Figure 32 : Répartition par matériau des longueurs de réseau installées depuis le début de la concession - Source CRAC 2017

Le tableau suivant détaille les longueurs de réseau posé par période de 5 ans et par matériau. Les données de l'année 2017 sont précisées dans la dernière colonne, afin de tracer la tendance récente.

La première période de développement du réseau (jusqu'à 1996) marque un développement diversifié du réseau, avec 5 des 6 matériaux mis en œuvre sur cette période. L'acier était déjà majoritaire (78% de la longueur de réseau posé) sur cette période.

La tendance de la prédominance de l'acier s'est confirmée par la suite et même renforcée jusqu'à 2012. De 1997 à 2012, environ 98% du linéaire posé était en acier. Depuis 2012, l'acier reste le matériau principal mis en œuvre (42%), mais il est talonné par le PEHD (plus de 40% du linéaire installé sur la période 2012 à 2017). Enfin, la fibre est de nouveau utilisée depuis 2012. Le tableau suivant présente les longueurs de réseau posées par période et par type de matériau depuis l'origine de la DSP jusqu'à 2107.

Matériau Tuyau	Pose tuyaux					
	1992-1996	1997-2001	2002-2006	2007-2011	2012-2016	2017
Acier	22 339	19 857	12 836	10 530	3 883	1 973
Fibre			1		1 495	536
Fonte	1 190					
MRI	2 420			66		
PEHD	508	1 747	7	106	3 860	1 432
PPROP					45	
TOTAL	28 733	21 604	12 844	10 702	9 283	3 941

Le graphique suivant illustre les chiffres de développement du réseau par période et par matériau.

Décomposition des longueurs de réseau par matière et par période

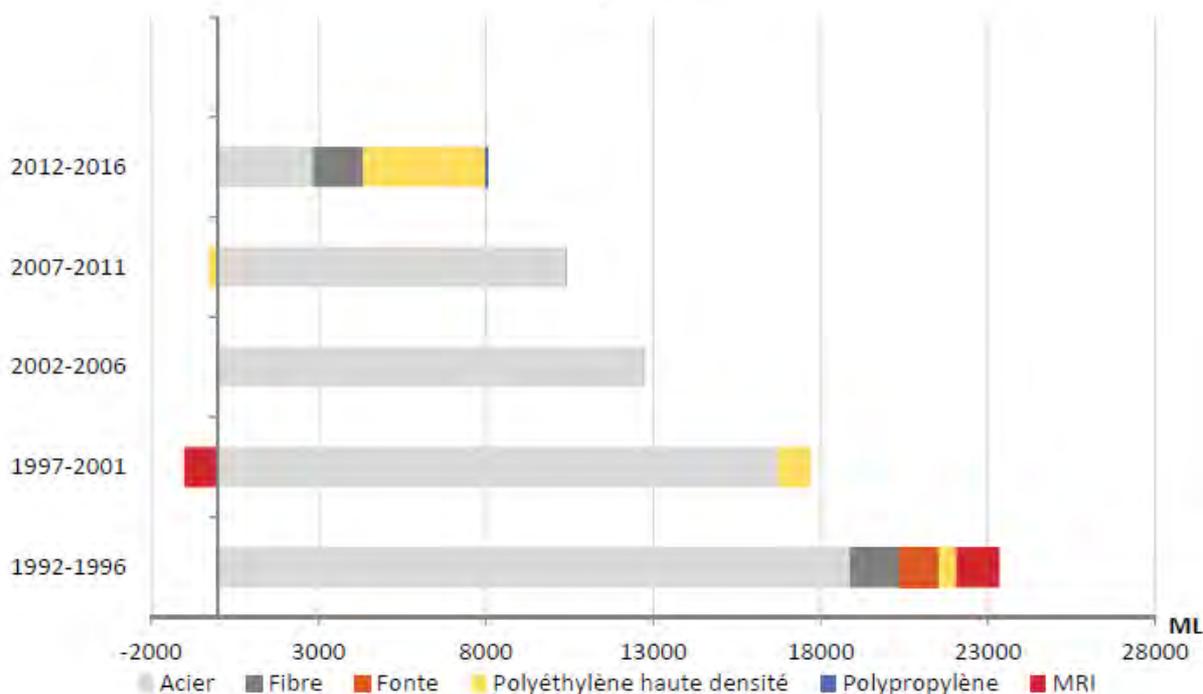


Figure 33 : Décomposition par période des longueurs de réseau posées et matériaux utilisés

Le choix du matériau est influencé par :

- La nature du terrain (réalisation enterrée, en égout ou en galerie technique)
- La quantité d'énergie à transporter
- L'usage de la portion concernée
- Le prix des matériaux et leurs caractéristiques techniques.

Aussi, l'utilisation du PEHD est ciblée essentiellement vers les antennes et branchements. En 2017, 99% du nouveau linéaire d'antennes et branchements a été réalisé en PEHD.

La suppression des canalisations PEHD a été recommandée dans le rapport d'audit 2009, sur la base du retour d'expérience de réseau similaire d'une quinzaine d'année. Cette recommandation était motivée pour une pérennité moindre de ces réseaux, à cause de la moins bonne imperméabilité à l'oxygène. Cependant les normes de fabrication ont évolué depuis, conformément à la norme NT 12201-2 relative aux tuyauteries PEHD composées de barrière anti oxygène dont la perméabilité à l'air est de 10^{-3} à 10^{-4} g O₂/m³ jour.

Pour les réseaux récents (depuis 2012), la matrice de choix du matériau s'organise ainsi :

Choix matériau		
Localisation du réseau	Puissance élevée	Moyenne et petite puissance
Enterré	Acier	PEHD
En égout	Fibre	PEHD

Le polypropylène a été mis en œuvre sur un tronçon en 2012, dans le cadre d'une tentative d'amélioration du réseau existant.

En bref

Les matériaux mis en œuvre sur le réseau sont essentiellement l'acier et le PEHD. Le PEHD est mis en œuvre sur les faibles diamètres afin de réduire les coûts de mise en œuvre. L'acier et la fibre sont préférés sur les gros diamètres, ces matériaux étant gage d'une meilleure durabilité avec des débits élevés.

5.2.2 PRINCIPAUX TRAVAUX DE RÉPARATION, DE RENOUVELLEMENT ET D'EXTENSIONS RÉALISÉS

Un montant de 95 M€ sur cinq ans (2012 à 2016) a été investi dans les travaux de développement et de renouvellement du réseau et des centrales, soit près de 20 M€ par an en moyenne. En moyenne, les deux tiers de la somme allouée chaque année ont été utilisés pour des travaux de développement.

Figure 34 : Répartition des investissements de développement et renouvellement

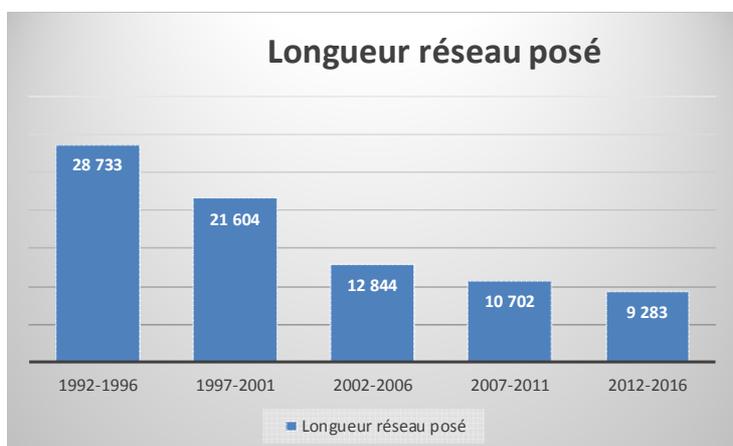
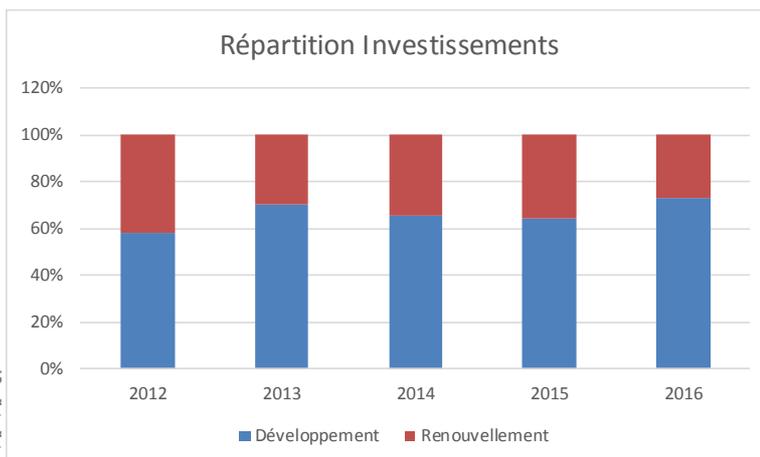


Figure 35 : Répartition des longueurs de réseau posées par tranche de 5 ans

Le graphique permet de suivre par période de 5 ans la longueur de réseau posée en ml. Les deux tiers du réseau ont été réalisés pendant les 10 premières années de la délégation.

Si le réseau reste dynamique, avec une croissance régulière du nombre d'abonnés et de la puissance souscrite, on observe néanmoins un net ralentissement du rythme de développement de la longueur de réseau.

Le réseau a fait l'objet des opérations de renouvellement suivantes :

- 61 ml de réseau renouvelés en 2014 (remplacement de réseau acier par du PEHD) rue Lamennais
- 346 ml de réseau acier renouvelé en 2015 (renouvellement par du réseau acier principalement et PEHD) : rue Général Foy, rue Taitbout, rue Robert Esnault Pelterie, rue Menars
- 205 ml de réseau déposés en raison de la vétusté des tronçons et 245 ml posés en 2016 dans la zone Richelieu-Drouot
- 207 ml déposés en 2017 pour renouvellement rue du Chevalier de Saint Georges, quai de Grenelle, rue Faubourg Saint Honoré, rue de l'Arbre sec, Boulevard Haussmann

Les recommandations issues de l'audit technique et environnemental de 2014

Plusieurs visites de portions de réseaux ont été réalisées dans le cadre de cet audit, afin d'analyser l'état du réseau de distribution d'eau glacée. Les ouvrages visités ont été sélectionnés selon les critères suivants :

- Année de mise en service
- Etat de l'ouvrage
- Position géographique
- Typologie des matériaux
- Typologie de pose (enterré, égout, galerie technique)

Les portions de réseau visitées se situent :

- A la Madeleine
- Boissy d'Anglas
- Suffren
- Rue Drouot
- Galerie SEMAPA et Rue Albert Einstein (réseau Bercy) :

Les défauts relevés lors de ces visites sont les suivants :

- Des vannes en acier corrodées (Madeleine)
- L'entretien et la maintenance des tuyauteries en défaut (Boissy d'Anglas)
- Tronçon en mauvais état, à renouveler (rue Drouot) : plusieurs fuites observées, par corrosion interne, sous l'effet des bactéries sulfato-réductrices (BSR⁵)

Les recommandations issues de l'audit 2014 en termes de rénovation à programmer sont les suivantes :

- Remplacer le réseau rue Drouot suivant un programme de deux ans maximum
- Procéder au colmatage des fuites suivant le procédé dit « répartition en charge par congélation ». Le procédé consiste à congeler de part et d'autre de la fuite et de remplacer le manchon fuyard. Ce procédé permet de ne pas vidanger la totalité du réseau et de circonscrire l'intervention sur la portion défectueuse et de suivre l'évolution du phénomène de corrosion dans ce réseau ainsi que la présence de BSR et de BTR dans le circuit d'eau glacée.

Trois postes de livraison ont été visités dans le cadre de l'Audit technique et environnemental :

- La sous-station du musée du Louvre
- La sous-station de la Banque de France
- La sous-station du Café du Musée Grévin

L'entretien des deux premières sous-stations est satisfaisant. En revanche, la sous-station du café du Musée Grévin n'est pas ventilée et l'état général de l'installation est médiocre. Les sous-stations de la même génération que cette sous-station méritent une rénovation.

Cette recommandation a été suivie en 2016 de la mise en œuvre d'une méthode d'identification des sous-stations à renouveler.

⁵ BSR : Bactéries sulfato-réductrices

Travaux de renouvellement prévus sur la période 2017-2021

Les travaux de renouvellement de réseaux prévus en 2018 correspondent aux niveaux des montants de GER dépensés réellement sur la période 2013-2017. Les montants prévus pour les travaux listés précédemment sur les années 2019 et 2020 sont trois fois plus faibles.

Concernant le GER prévisionnel, il n'est programmé que pour 2018, avec un montant 2,5 fois plus faibles que les dépenses GER annuelles moyennes de la période 2013-2017.

En bref

Un important programme de renouvellement est appliqué par le délégataire, en particulier au niveau des centrales de production. Le renouvellement des sous-stations d'ancienne génération est en cours.

5.2.3 ANALYSE DES INCIDENTS MAJEURS

Les incidents majeurs pour le réseau peuvent se caractériser par plusieurs effets :

- Des incidents corporels ou humains
 - o Le suivi des accidents du travail est détaillé au chapitre 3.2 du présent rapport
 - o Le suivi du risque légionelle est présenté dans le présent chapitre
- Des incidents matériels avec des travaux à réaliser
 - o Le suivi des fuites réseaux est présenté ci-dessous
- L'interruption du service
 - o Le taux d'interruption pondéré du service est présenté au chapitre 3.1 du présent rapport
 - o Les risques liés aux aléas climatiques sont présentés dans le présent chapitre

Les fuites d'eau

Les fuites sont fréquemment trouvées sur les piquages des purges et des vidanges. En égout ou en terre, ces piquages peuvent être assez longs. Ces piquages ne transportant pas de débit en situation normale, et compte tenu des faibles diamètres (majoritairement DN40), ce sont des points faibles du réseau acier. Ces piquages sont remplacés en PEHD depuis 2012 pour assurer leur pérennité.

Selon l'évolution des débits de fuites constatés par le délégataire, différentes solutions sont mises en œuvre pour leur recherche :

- Le démaillage, qui consiste à morceler le réseau par le choix de jeux de vannes adaptés ; après une phase de stabilisation, l'observation des maintiens de pression dans chaque maille permet d'identifier la zone incriminée et de procéder à une recherche ciblée ;
- Le cheminement en égout, suite au démaillage, permet de chercher le lieu de la ou des fuites
- La recherche de fuite en terre par corrélation acoustique permet d'identifier la localisation de fuites en terre ; cette technique n'est pas parfaite et le délégataire recherche de nouveaux moyens de détecter des fuites sur les canalisations enterrées

Les fuites de fluide frigorigène

Le suivi du taux de fuite de fluide frigorigène est présenté au chapitre 3.2 du présent rapport. Le graphique de suivi de cet indicateur est rappelé ci-dessous. Ce risque est maîtrisé grâce à la maintenance préventive réalisée sur les installations de production. La démarche suivie est présentée au chapitre 5.1.5.

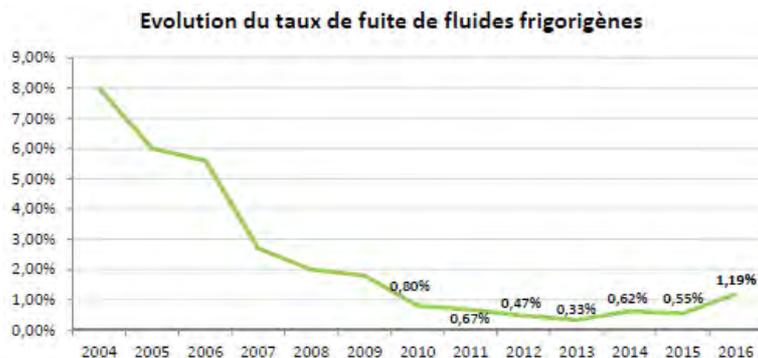


Figure 36 : Suivi des fuites de fluide frigorigène, Source rapport analyse CRAC 2016

Le suivi du taux de fuite de fluide frigorigène permet de constater l'absence d'incident majeur sur le réseau sur la période 2009-2016. La hausse observée en 2016 est liée à un défaut de fabrication au niveau d'une soupape de sécurité, ayant entraîné

Le risque légionelle

Une tour aéroréfrigérante est un échangeur de chaleur air/eau dans lequel l'eau à refroidir est en contact direct avec l'air ambiant. Un risque de développement de légionelles existe au niveau de l'eau en contact avec l'air. Les bactéries peuvent ensuite être dispersées dans l'environnement via les particules d'eau émises.

Les sites présentant des risques de développement et diffusion de légionelles sont les sites équipés de tours aéro réfrigérantes pour la dissipation de chaleur fatale. Il s'agit des centrales :

- Des Halles
- Opéra
- Auber
- Etoile
- BNF

Le paramètre à contrôler est la concentration en legionella pneumophila depuis le changement de réglementation de décembre 2013.

Le seuil réglementaire de legionella pneumophila entraînant l'arrêt d'un site de production est de 100 000 UFC/l. Ce seuil n'a jamais été dépassé sur la période 2011 - 2017.

Le graphique suivant présente le suivi des échantillons de legionella pneumophila sur la période 2011-2015.

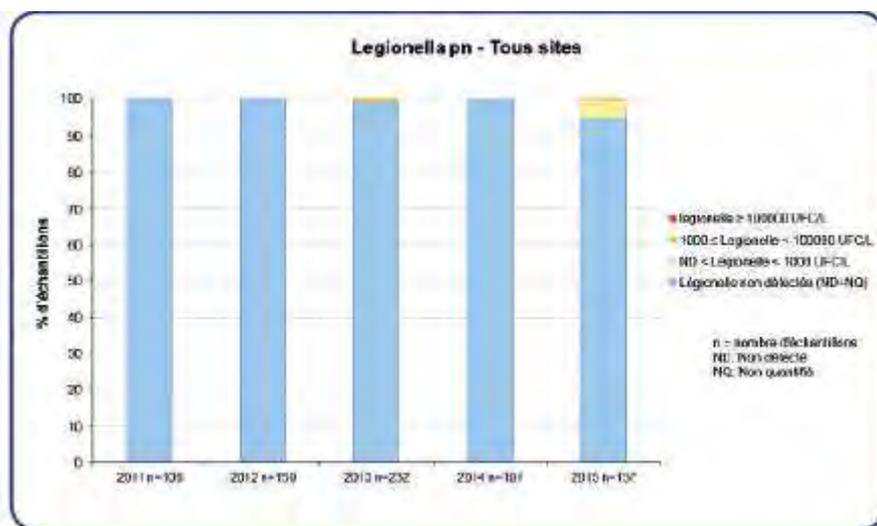


Figure 37 : Suivi échantillons legionella pneumophila - source CRAC 2015

Année	2014	2015	2016	2017
Taux échantillon < 1000 UFC/l		99%	99%	99,5%

Les prélèvements d'échantillons supérieurs à 1 000 UFC/Litre sont les suivants :

- En juin 2015 : Un échantillon 20 000 UFC/l sur le site Auber
- En juin et août 2016 : Deux échantillons entre 10^3 et 10^5 UFC/l sur le site Auber
- En juin 2017 : Un échantillon contenant entre 10^3 et 10^5 UFC/l sur le site Auber

On notera que les dépassements du seuil de 1 000 UFC/l ont tous été relevés sur le site Auber. Ces installations présentent une sensibilité plus forte au risque légionelle.

Les risques liés aux aléas climatiques

Deux aléas climatiques notables ont jalonné la période 2012 – 2017 : une crue de la Seine en juin 2016 et une canicule en juin 2017.

Une crue de la Seine a été observée en juin 2016, déclenchant une cellule de crise au sein des services du délégataire pendant une semaine. Ce phénomène n'a eu aucune conséquence significative sur les capacités des sites de production, ni sur la continuité de service. Seuls deux dégrilleurs du site de production Canada ont été endommagés par des éléments lourds charriés par la Seine.

La sensibilité la plus forte du réseau vis-à-vis des risques de crue est liée à la sécurisation du réseau électrique et des postes de haute tension gérés par le concessionnaire du réseau électrique. Les installations de production de froid les plus sensibles au risque de crue sont les 3 centrales sur Eau de Seine, qui sont entièrement étanches et ne risquent pas d'être inondées. Elles peuvent temporairement être pilotées sans accès pour la maintenance. En revanche, une crue prolongée mettrait en péril la capacité de produire à partir de ces installations. Enfin, les crues de la Seine engendrent une augmentation du débit du fleuve qui charrie divers détritiques et sont plus chargées en boues qu'à l'accoutumée. Ceci entraîne des travaux de renouvellement (dégrilleurs) et de maintenance supplémentaires (filtres, nettoyage échangeurs) et peut réduire temporairement la puissance nominale disponible (encrassement échangeur). Aucune dégradation du réseau ou corrosion extérieure n'a été identifiée sur le réseau lors des crues enregistrées ces dernières années. La principale incidence sur le réseau est l'impossibilité d'accéder au réseau pour la maintenance. Les éventuelles fuites ne peuvent être repérées et réparées pendant les phénomènes de crue.

Une canicule a été enregistrée sur une période d'une semaine en juin 2017. Malgré des conditions météorologiques plus difficiles, le délégataire a assuré la continuité de service, avec la qualité de service habituelle. Aucune dégradation de l'eau glacée livrée n'a été enregistrée. La puissance de froid livrée sur le réseau a atteint un record sur le réseau Centre autour de 180 MWf sur 233 MW installés, soit 77% de la capacité, avec les conditions suivantes :

- Une température d'air extérieur supérieure à 35°C
- Une température de l'eau de Seine dépassant 26°C

Les installations de production de froid ont permis de répondre à la demande des abonnés, en préservant les capacités de stockage et une partie de la puissance installée.

La courbe suivante présente l'évolution sur 3 jours de la puissance injectée sur le réseau, en lien avec l'évolution de la température extérieure :

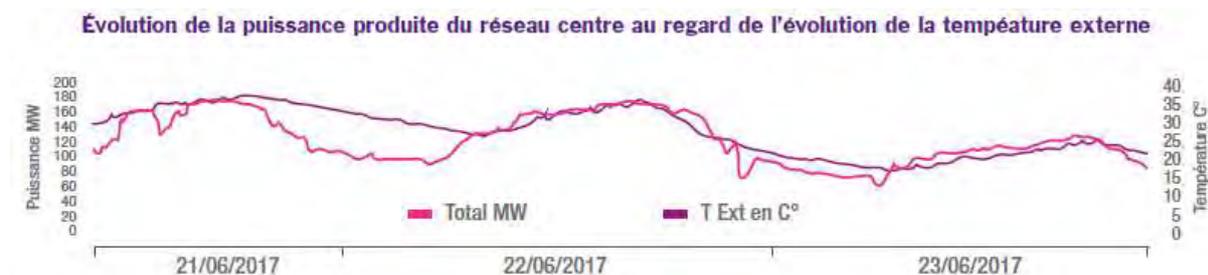


Figure 38: Suivi de la puissance produite en juin 2017, Source CRAC 2017

La note sur la résilience du réseau produite par le délégataire est jointe en annexe au présent schéma directeur.

En bref

Aucun incident majeur n'a perturbé le service sur le réseau depuis 2012. L'autorité délégante et le délégataire attachent la plus grande importance à la continuité du service, à la prévention des incidents et au contrôle du service.

La résilience du réseau est identifiée comme un enjeu majeur. Aussi, une forte surpuissance disponible est constatée sur chaque branche de réseau pour faire face à l'évolution des consommations des abonnés et aux aléas climatiques. Depuis 2008, il n'a jamais été nécessaire de solliciter les stockages de froid en appoint estival.

La rigueur de la maintenance permet de contenir les fuites d'eau sur le réseau ainsi que les fuites de fluide frigorigène ou l'augmentation des légionelles au niveau des TAR.

5.2.4 CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES DES SOUS-STATIONS

La sous-station est le local abritant le poste de livraison, c'est-à-dire l'ensemble des appareils qui assurent le transfert de l'eau glacée du réseau de distribution au réseau secondaire de l'utilisateur.

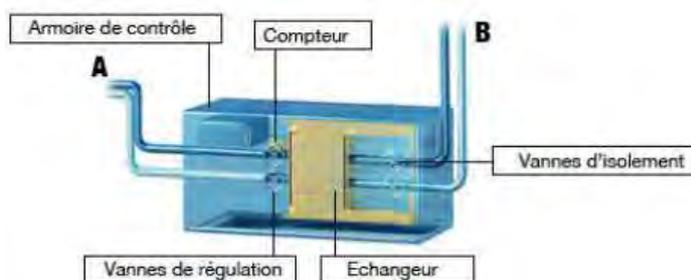
Le poste de livraison a pour rôles de :

- Séparer physiquement le réseau de distribution de froid intégré dans le périmètre de la DSP des réseaux secondaires maîtrisés par les abonnés
- D'évacuer les calories des réseaux secondaires vers le réseau de froid de la DSP par échange de chaleur.

Un compteur d'énergie est installé dans le poste de livraison afin de compter le volume d'eau et la quantité d'énergie livrée à chaque abonné.

L'échange de calories entre réseau de distribution (dans le périmètre de la DSP) et réseau secondaire abonné (hors DSP) s'effectue via un ou plusieurs échangeurs de chaleur, dont la puissance est adaptée aux besoins de l'abonné.

La vue schématique ci-contre présente une vue du poste abonné dans une sous-station, avec l'échangeur de chaleur assurant la séparation entre réseau d'eau glacée et réseau secondaire de l'abonné au centre de l'image. Une vanne de régulation placée sur le circuit primaire adapte le débit livré à la sous-station aux besoins de



l'abonné. Le compteur d'énergie est également positionné côté primaire de l'échangeur pour le comptage d'énergie. Des vannes d'isolement sont positionnées de part et d'autre de l'échangeur sur les tubes aller et retour afin de pouvoir l'isoler pour la maintenance (nettoyage ou changement de plaques notamment).

Le fonctionnement de chaque sous-station est supervisé à distance par le délégataire du réseau de froid. Cette supervision porte sur les installations primaires et en particulier la modulation réalisée par la vanne motorisée. Les informations sont rapportées à la supervision via des réseaux d'information dédiés (lignes téléphoniques RTC, ADSL et fibre optique). La GMAO est opérationnelle pour les sous-stations et le réseau depuis janvier 2014. La gestion des opérations de maintenance est intégrée au journal répertoriant les sinistres et à celui des interventions pour travaux.

La régulation des sous-stations est effectuée au moyen d'une vanne deux voies motorisée adaptant le débit d'eau glacée à la puissance appelée par l'abonné.

Les niveaux de puissance souscrite par typologie d'abonnés figurent dans le tableau suivant.

PAR SEGMENTATION	NOMBRE DE CONTRATS	PUISSANCE SOUSCRITE (kW)	PART VS NB CONTRATS (%)	PART VS PUISSANCE (%)
Bureaux	334	219 394	52,35 %	51,99 %
Commerces	48	16 942	7,52 %	4,01 %
Commerces et bureaux	148	82 801	23,20 %	19,62 %
Divers	12	11 520	1,88 %	2,73 %
Grands magasins	9	29 580	1,41 %	7,01 %
Hôtels	49	29 357	7,68 %	6,96 %
Logements	15	5 145	2,35 %	1,22 %
Musées	9	20 100	1,41 %	4,76 %
Restaurants	6	1 960	0,94 %	0,47 %
Salle de spectacles	8	5 200	1,26 %	1,23 %
TOTAL	638	421 999	100 %	100 %
Contrats Chaud	16	6 556		
Contrats Electricité	12	5 532		

Tableau 2 : Suivi des puissances souscrites par typologie d'abonnés, source CRAC 2017

Ainsi, la puissance souscrite moyenne de chaque typologie d'abonnés s'élève à :

- 660 kW pour les bureaux
- 350 kW pour les commerces
- 560 kW pour les commerces et bureaux
- 960 kW pour les abonnés divers
- 3 300 kW pour les grands magasins
- 600 kW pour les hôtels
- 340 kW pour les logements
- 2 230 kW pour les musées
- 330 kW pour les restaurants
- 650 kW pour les salles de spectacle

Le tableau ci-dessous présente la répartition du nombre de contrats par tranche de puissance :

PAR TRANCHE DE PUISSANCE SOUSCRITE	NOMBRE DE CONTRATS	PUISSANCE SOUSCRITE (kW)	PART VS NB CONTRATS (%)
De 0 kW à 120 kW	55	4 555	8,62 %
De 121 kW à 200 kW	96	16 967	15,05 %
De 201 kW à 400 kW	173	54 071	27,12 %
De 401 kW à 700 kW	132	71 863	20,69 %
De 701 kW à 1000 kW	75	64 903	11,76 %
De 1001 kW à 2000 kW	87	131 995	13,64 %
De 2001 kW à 6000 kW	18	58 650	2,82 %
Plus de 6000 kW	2	18 995	0,30 %
TOTAL	638	421 999	100 %

Tableau 3 : Répartition des contrats par tranche de puissance, Source CRAC 2017

Les deux abonnés du réseau avec la plus forte puissance installée représentent 4,5% de la puissance souscrite cumulée pour l'ensemble des abonnés. La part de puissance souscrite des 20 plus gros abonnés représente 18% de la puissance souscrite sur l'ensemble du réseau.

La limite entre le réseau primaire (intégré à la DSP) et le réseau secondaire (hors DSP) se situe au niveau des vannes en sortie du ou des échangeurs du poste de livraison.

Ainsi, la définition des installations primaires est précisée dans les conditions générales constituant la police type d'abonnement comme étant : « l'ensemble des équipements hydrauliques et électriques propriété de Climespace depuis le réseau sous voirie, incluant le branchement, jusque et y compris aux vannes de sortie du ou des échangeurs du circuit secondaire de l'abonné ».

La définition retenue pour les installations secondaires étant « l'ensemble des équipements hydrauliques et électriques propriété de l'abonné au-delà des vannes de sortie du ou des échangeurs du circuit secondaire de l'abonné ».

Les ouvrages du service public, aussi appelées installations primaires comprennent :

- Les ouvrages de production d'énergie frigorifique
- Les ouvrages de transport et de distribution comportant
 - o Le réseau public de distribution, y compris génie civil
 - o Le branchement depuis le réseau public de distribution jusqu'à la sous-station
 - o Le poste de livraison
 - o Le dispositif de comptage de l'énergie frigorifique livrée

Le poste de livraison et le dispositif de comptage sont établis dans un local appelé « sous-station » qui est mis gratuitement à disposition de Climespace par l'abonné.

En bref

L'interface entre le délégataire et les abonnés se situe au niveau des postes de livraison, via la puissance mise à disposition de l'abonné. Cette puissance est définie contractuellement dans la police d'abonnement sous la dénomination « puissance souscrite ». Près de 50% des contrats concernent des puissances souscrites entre 200 kW et 700 kW, soit des moyennes/petites puissances. Les « gros abonnés » du réseau (plus de 2 000 kW souscrits) ne concernent que 3% des contrats.

5.2.5 RENDEMENT DU RÉSEAU

Les rendements réseaux relevés sur la période 2008 à 2017 sont présentés ci-dessous. Le niveau le plus bas date de 2009, avec un niveau de 88,3%, tandis que le niveau le plus élevé a été atteint en 2017 avec 91%.

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Rendement réseau	87,6%	88,3%	88,7%	87,6%	90,0%	90,0%	89,0%	88,0%	89,0%	91,0%

Le rendement réseau moyen s'élève à 89% sur la période 2008-2017. Ce niveau de rendement est retenu pour les simulations sur le futur du réseau.

Ces niveaux sont très satisfaisants. Ils traduisent :

- Un faible taux de fuite sur le réseau
- Un état satisfaisant du réseau

On notera que des facteurs exogènes exercent une influence sur le rendement :

- Les conditions météorologiques
- Les niveaux de température de retour renvoyés sur le réseau par les abonnés

Le tableau suivant présente pour la période 2012 – 2016 le suivi des performances de l'ensemble du réseau, avec :

- Le COP production
- Le COP vente
- Le rendement réseau

Le réseau de froid permet de bénéficier d'une énergie produite avec des niveaux de performance très élevés (COP vente > 3,5). On notera une amélioration des performances en 2016 et 2017, avec des COP Vente supérieurs à 3,7.

	2012	2013	2014	2015	2016	2017
COP Production	4,02	4,04	4,12	3,91	4,16	4,27
COP Vente	3,59	3,57	3,64	3,5	3,75	3,88
Rendement réseau	90,0%	90,0%	89,0%	88,0%	89,0%	91,0%

En bref

Le rendement réseau est satisfaisant avec un minimum relevé à 87,6% sur les 10 dernières années. Le réseau est performant, avec une densité de consommations satisfaisante. On peut observer, malgré la baisse des consommations par abonné depuis 2008, un maintien, voire une légère amélioration de la performance réseau. La densification du réseau et le pilotage en mode maillé en période hivernale expliquent cette tendance.

5.2.6 ADÉQUATION DES PUISSANCES

Le nombre d'heures moyen d'utilisation reflète l'intensité énergétique de la demande. Cet indicateur est analysé de manière globale pour l'ensemble des abonnés, sur la base du rapport :

$$\text{Heures équivalent pleine charge [heures]} = \frac{\text{Ventes de froid année n [MWH]}}{\text{Puissance souscrite totale année n [MW]}}$$

Une très forte baisse de cet indicateur est observée en continu depuis 2006, hormis l'année 2015 qui a connu un léger rebond. Cette baisse est le résultat d'actions de sobriété énergétique chez les abonnés, avec pour effet une réduction des consommations. Les actions engagées peuvent être :

- Un suivi plus draconien des consommations et une élévation des points de consigne
- Une réhabilitation du patrimoine bâti
- L'amélioration de l'efficacité énergétique sur les réseaux secondaires

Une tendance croissante de mise à l'arrêt des installations de production de froid est observée en période hivernale.

Si une baisse des consommations est observée, le niveau de puissance souscrite ne diminue pas. L'évolution du ratio traduit l'écart croissant entre la puissance souscrite et les niveaux de consommations. Le nombre d'heures de fonctionnement des installations diminue chez les abonnés. Les niveaux de puissance moyenne appelée par abonné évoluent également à la baisse.

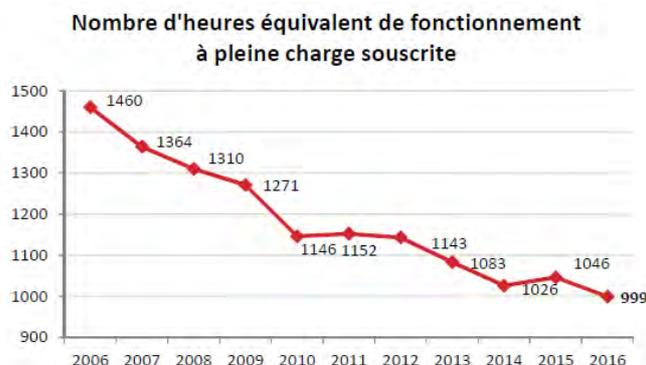


Figure 39 : Nombre heures fonctionnement par kW souscrit, Source rapport analyse CRAC 2016

5.2.7 MOYENS DE COMPTAGE

Des compteurs d'énergie sont systématiquement présents dans les sous-stations, sur le réseau primaire. Ils ont été installés en remplacement des anciens compteurs volumétriques, afin de mesurer le volume d'eau livré ainsi que la quantité d'énergie.

Une seule exception subsiste sur le réseau Centre : les boutiques du Village Royal sont irriguées par le réseau de froid et ne bénéficient que de compteurs volumétriques. Un unique compteur d'énergie est installé en tête de distribution, à la station de livraison. Ce comptage permet d'émettre les factures à destination de chaque abonné. Ces dernières sont éditées en fonction des quantités de froid livrées mais également en fonction des volumes d'eau consommés, hormis pour la tranche de tarif pour les sous-stations de 50 kW.

Des compteurs d'énergie sont également présents au niveau des centrales de production afin de mesurer la quantité d'énergie produite par installation.

Ces compteurs sortie centrale permettent d'évaluer les niveaux de performance des sites de production. Le comptage en amont (compteurs sortie centrale) et en aval du réseau (compteurs sous-stations) permet d'évaluer le rendement réseau et le COP de vente (production et distribution).

5.2.8 SÉCURISATION DE LA FOURNITURE D'ÉNERGIE

Le réseau Centre peut fonctionner en mode maillé ou démaillé grâce à des vannes de maillage manœuvrées régulièrement (une dizaine de fois par an). Le mode maillé permet de sécuriser la livraison en mettant en commun l'ensemble de la production. Le mode démaillé permet d'ajuster la consommation en électricité nécessaire à la distribution hydraulique et ainsi d'améliorer le COP vente.

Le mode démaillé est largement utilisé en période hivernale, de moindre tension sur le réseau depuis 2010. En période estivale, le réseau fonctionne en mode maillé pour garantir la livraison d'énergie aux abonnés grâce à l'ensemble des sites de production.

La logique est différente sur les réseaux Bercy, PNE et Philharmonie. Ces deux derniers ne sont alimentés que par un site de production. Le réseau Bercy est lui alimenté par deux sites. Ces trois branches de réseaux ne possèdent pas de mode démaillé.

On notera que les sites de stockage, participant à la sécurisation de la continuité de service ne sont présents que sur le réseau Centre.

Le réseau Centre est le réseau historique. Il concentre 91% des abonnés, 79% de la production installée, 100% de la capacité de stockage et 89% de la longueur de réseau.

Ce réseau, développé depuis 1991 s'est développé au fur et à mesure avec la mise en place d'une redondance au niveau des installations de production, le lissage de la puissance produite grâce à des systèmes de stockage et une sécurisation des livraisons grâce au maillage du réseau.

Le développement des 3 autres branches de réseau est beaucoup plus récent. Elles ne bénéficient pas à ce jour de système de stockage d'énergie ou de maillage du réseau. En revanche, la redondance de la puissance disponible au niveau des unités de production est plus conséquente. La croissance de ces réseaux a été anticipée.

Réseau	Capacité de production (Pinstallée en MW)	Psouscrite en MW	Ratio Pinstallée/ Psouscrite	Capacité de stockage (MWhf)	Nombre abonnés	Longueur réseau (km)	Type de bâtiments	Energie distribuée (MWhf)
Centre	216	346,7	62%	140	579	67	Historiques, Haussmaniens	407 582
Bercy	50	63,4	79%	0	49	7	Récents, bâtiments à structure légère avec surfaces vitrées importantes	48 223
PNE	6	11,8	76%	0	10	1	Récents	6 673
Philharmonie	3			0				5 019

En bref

La sécurisation des branches plus récentes du réseau (Bercy, PNE et Philharmonie) est assurée grâce à une redondance des puissances installées. Pour le réseau Bercy, deux centrales distinctes alimentent le réseau de froid avec des modes de dissipation de la chaleur différents.

Le réseau Centre, historique, est plus mature et bénéficie d'un maillage du réseau, d'une multiplicité des centrales de production (7) et de 3 unités de stockage. Ces 3 dispositifs complémentaires visent à sécuriser l'approvisionnement du réseau et limiter les besoins de puissance.

5.2.9 ORGANISATION GÉNÉRALE POUR LA CONDUITE ET L'EXPLOITATION

Une équipe dédiée assure le suivi des équipements de production et des sous-stations. Cette équipe, composée de 17 personnes, a pour mission de réaliser les activités d'exploitation, d'entretien et de maintenance.

5.3 PATRIMOINE RACCORDÉ

Le tableau suivant présente la répartition des surfaces alimentées par le réseau pour la branche Centre ainsi que les années de construction. Les commerces et bureaux représentent 85% des surfaces raccordées. On constate une très forte prédominance (78%) des bâtiments anciens, Haussmanniens, construits avant 1 800, avec des performances énergétiques médiocres.

Réseau CENTRE									
	Avant 1800	1801 à 1850	1851 à 1914	1915 à 1939	1940 à 1967	1968 à 1975	Inconnu	Total général	
Autre	67 739	0	0	6 739	0	0	6 076	80 554	2%
Bureaux	1 948 981	258 436	57 857	79 468	75 341	26 081	204 346	2 650 510	67%
Commerce	551 736	37 141	15 455	4 820	0	0	96 333	705 485	18%
Hôtel	279 436	3 654	0	0	0	5 155	6 339	294 583	7%
Musée	121 182	0	0	0	0	0	0	121 182	3%
Salle de spectacle	78 872	0	0	0	0	0	0	78 872	2%
Santé	3 298	0	0	0	0	0	0	3 298	0%
Total général	3 051 244	299 231	73 312	91 028	75 341	31 236	313 094	3 934 484	
	78%	8%	2%	2%	2%	1%	8%	100%	

La prédominance (97%) des commerces et bureaux est encore plus marquée sur le réseau Bercy. Cette branche s'est développée autour d'un quartier de bureaux. Cette typologie est très majoritaire (80%) des surfaces raccordées. Cette caractéristique offre au réseau un foisonnement moins important que pour le réseau Centre. Les besoins des abonnés au réseau sont concentrés sur les mêmes périodes. Compte tenu de la forte puissance disponible sur le réseau et de l'intérêt de bénéficier de typologies diversifiées, on notera toute l'importance du point de vue technique de mettre l'accent sur la commercialisation de cette branche en priorité.

Le secteur Bercy, plus à l'écart du cœur de Paris est beaucoup plus récent que le centre historique. En toute logique, la distribution des époques de construction est radicalement différente de celle rencontrée sur le réseau Centre. Plus de la moitié des surfaces raccordées concernent des bâtiments construits entre 1940 et 1967.

Réseau BERCY									
	Avant 1800	1801 à 1850	1851 à 1914	1915 à 1939	1940 à 1967	1968 à 1975	Inconnu	Total général	
Autre	0	0		0	0	0	10 702	10 702	2%
Bureaux	31 187	13 562		91 122	343 739	13 362	25 865	518 837	77%
Commerce	0	0		0	11 300	50 770	75 244	137 314	20%
Hôtel	0	0		0	5 788	0	0	5 788	1%
Santé	0	0		0	0	0	910	910	0%
Total général	31 187	13 562		91 122	360 826	64 132	112 720	673 549	
	5%	2%	0%	14%	54%	10%	17%	100%	

Le tableau suivant présente la répartition des échéances de polices d'abonnement en nombre de contrats. La durée des contrats liant les abonnés au délégataire est de 10 ans. 83% des contrats arrivent à échéance d'ici 2023.

Le risque associé est cependant mesuré : le phénomène de déracordements n'est pas ou peu existant.

Échéance PA	Nombre abonnés	Répartition
2018	2	0%
2019	136	20%
2020	101	15%
2021	87	13%
2022	101	15%
2023	135	20%
2024	30	4%
2025	24	4%
2026	44	6%
2027	6	1%
2028	19	3%
TOTAL	685	

5.4 AUDIT ÉCONOMIQUE

5.4.1 COMPTE D'EXPLOITATION

Le tableau suivant présente le suivi du compte d'exploitation de la DSP sur la période 2012-2016. On observe une tendance stable sur l'évolution des produits d'exploitation et des charges d'exploitation sur la période 2012-2015. Le produit d'exploitation et les charges d'exploitation de l'année 2016 sont singuliers par rapport aux années précédentes, avec une forte augmentation des produits d'exploitation et une nette baisse des charges d'exploitation. Par conséquent, le résultat d'exploitation est très élevé par rapport aux années précédentes.

Le chiffre d'affaires global est en hausse de 4,5 M€ en 2016 par rapport au niveau 2015. Cette évolution est principalement liée à l'augmentation des droits de raccordements (hausse de 3,6 M€, soit +52%). Cette hausse est due à une forte augmentation des puissances raccordées : 21,5 MW en 2016 contre 13,7 MW en 2015.

Une très forte hausse est observée sur les reprises d'amortissement et de provision pour risques et charges (+176%) en 2016 par rapport à 2015.

L'actif de production du délégataire a été mis à jour suite à l'audit technique de 2014. Les résultats de cet audit ont conduit à réviser le programme de renouvellement, avec pour effet dans les comptes de l'exercice 2016 :

- Une reprise de 22 M€ de provision de renouvellement relative aux centrales de production dont la durée de vie utile dépasse le terme de la concession
- Une reprise de 24,7 M€ des amortissements industriels des immobilisations concernées par la mise à jour du programme de renouvellement. Certains biens justifiaient par le passé d'un amortissement industriel et d'un amortissement de caducité. A l'issue de l'audit technique, ces biens ont vu leur durée de vie technique dépasser la fin de concession et deviennent par conséquent non renouvelables et éligibles uniquement à l'amortissement de caducité

La très forte hausse du résultat d'exploitation en 2016 (75 M€ au lieu de 28M€ en 2015) s'explique essentiellement par les reprises de provisions et d'amortissements (51 M€) en lien avec la mise à jour de l'actif de production.

Après déduction de la participation des salariés aux résultats, le résultat net s'établit à 42,6 M€ en 2016 (16 M€ en 2015).

en k€	2012	2013	2014	2015	2016
Chiffre d'affaires	76 529	73 930	73 951	76 624	81 097
Reprises sur amortissements et provisions et transferts de charges	10 596	12 666	10 375	18 635*	51 098
Autres produits	656	602	513	860	671
Total produits d'exploitation (A)	87 781	87 198	84 839	96 119	132 866
Achats de matières premières et approvisionnements	8	9	7	12	- 296
Achats d'énergie	9 112	10 476	11 236	10 731*	9 258
Autres charges externes				4 296	4 189
entretien				5 971	4 425
consommations et traitement d'eau	13 497	13 311	13 442	1 513	1 210
Loyers				1 834	1 788
Impôts et taxes	3 086	2 749	2 658	6 700	2 698
Salaires et traitements	5 880	6 246	5 974	6 290	5 941
Charges sociales	2 765	2 878	2 782	3 089	2 887
Dotations aux amortissements (industriel+caducité)	18 700	19 594	22 380	22 436	19 054
Dotations aux provisions	5 901	4 460	3 419	2 222	3 257
Autres charges	1 647	2 955	2 397	3 055	2 919
Total charges d'exploitation (B)	60 596	62 678	64 295	68 149	57 330
Résultat d'exploitation (A) - (B)	27 185	24 520	20 544	27 970	75 536

(*) pour faciliter la comparaison du poste « achats d'énergie » entre 2015 et 2016, Climespace a décidé de procéder de manière extracomptable au retraitement du remboursement de la CSPE (2 099 k€) sur les comptes de l'exercice 2015.

Tableau 4 : Compte d'exploitation, source rapport Ville de Paris d'analyse de la DSP 2016

Le graphique suivant présente le suivi des investissements réalisés, de la marge brute d'autofinancement, du free cash flow et du résultat net.

Courbe d'évolution des résultats depuis 1991 :

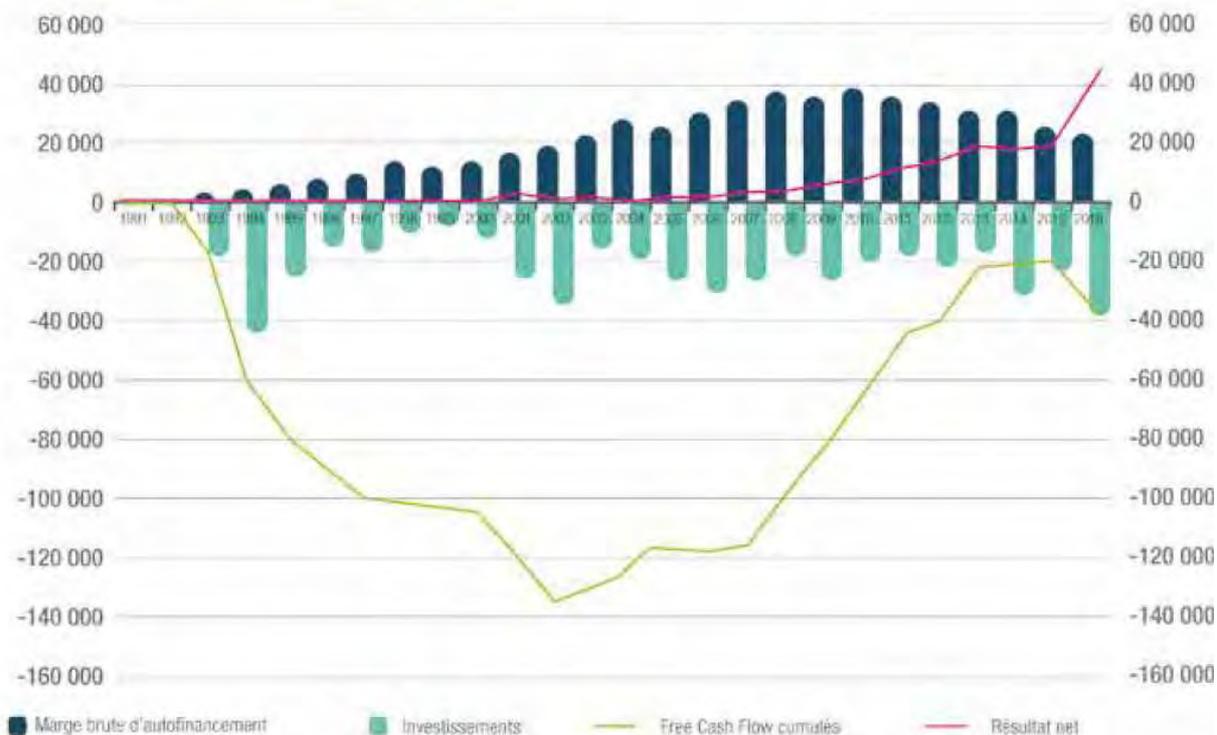


Figure 40 : Graphique d'évolution des résultats depuis 1991, source CRAC 2016

On peut ainsi observer que le résultat est positif ou nul chaque année depuis le début de la DSP en 1991. Un résultat positif est dégagé chaque année depuis 2001. Une croissance régulière de ce résultat est observée sur la période 2006-2015. Le résultat est en très forte hausse en 2016.

Des investissements conséquents ont été réalisés au milieu des années 1990. Après un ralentissement fin des années 1990, leur niveau est relativement stable et élevé depuis le début des années 2000. Ces investissements permettent de soutenir la croissance du réseau (distribution et production). Le free cash flow cumulé est négatif depuis le début de la DSP. Il a été très fortement impacté au début des années 2000 par les investissements réalisés. Son niveau s'est considérablement redressé sur la période 2006-2015. La capacité d'autofinancement est satisfaisante.

5.4.2 BILAN COMPTABLE

Le tableau suivant présente le suivi du résultat net sur la période 2012-2016. Le résultat d'exploitation est stable à un niveau de l'ordre de 27 M€ sur la période 2012-2015. Il grimpe jusqu'à 75 M€ en 2016. Cette très forte hausse est due aux phénomènes évoqués au paragraphe précédent. Le résultat exceptionnel est toujours négatif sur la période observée, tandis que le résultat net est de l'ordre de 15 M€ par an sur la période concernée, hormis en 2016 où il atteint 42 M€.

en k€	2012	2013	2014	2015	2016	Evolution 2016/2015
Résultat d'exploitation	27 185	24 520	20 544	27 970	74 944	167,94%
Opérations faites en commun	24	-29	-15	-16	-16	0,00%
Produits financiers	73	27	44	9	3	-66,67%
Charges financières	22	0	1	151	337	
Résultat financier	51	27	43	-142	-334	135,21%
Produits exceptionnels	983	5 685	909	2 051	1 224	-67,57%
Charges exceptionnelles	2 198	6 282	1 927	3 385	2 335	-31,02%
Résultat exceptionnel	- 1 215	- 597	- 1 018	- 1 334	- 1 111	-16,72%
Participation des salariés	677	656	414	580	1 486	156,21%
Impôt sur les bénéfices	10 407	7 744	5 382	9 882	29 941	202,99%
Résultat net	14 961	15 521	13 758	16 016	42 056	162,59%
Taux de rentabilité net	19,55%	20,99%	18,60%	20,90%	51,86%	

Tableau 5 : Suivi du résultat net sur la période 2012-2016, source Rapport analyse CRAC 2016

Le ratio excédent brut d'exploitation rapporté au chiffre d'affaires est suivi, comme le taux de rentabilité net.

Le premier indicateur atteint des valeurs comprises entre 40% et 60%. Le taux de rentabilité net tourne autour de 20% sauf en 2016 où il bondit à plus de 50%.

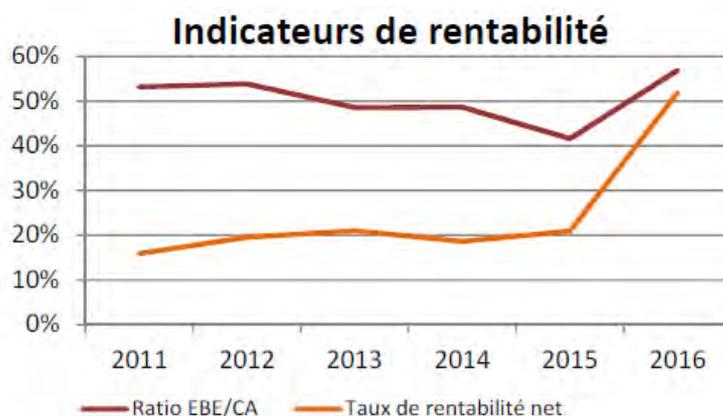


Figure 41 : Suivi de la rentabilité de la DSP, Source rapport d'analyse CRAC 2016

5.4.3 STRUCTURE TARIFAIRE

Les grands principes de la structuration tarifaire de l'énergie frigorifique vendue aux abonnés sont décrits au chapitre 2.7 du présent document.

La grille tarifaire a été révisée dans le cadre de l'avenant 6 du 21 décembre 2015. Une offre pour les petites puissances, entre 50 kW et 120 kW a ainsi été créée.

Les tarifs sont définis en fonction du niveau de puissance souscrite pour les grilles de puissances suivantes :

- 50 kW
- 50 à 120 kW
- 121 à 5 999 kW
- 6 000 à 7 999 kW
- 7 999 à 10 000 kW
- Plus de 10 000 kW

Pour chacun de ces niveaux de puissance, les valeurs des termes R2, R1 volume hiver/Eté, R1 Energie hiver/Eté sont définies. Les installations de moins de 6 000 kW souscrits peuvent se voir facturer des droits de raccordements proportionnels à la puissance souscrite. Un dépôt de garantie fonction de la puissance souscrite est également requis pour ces installations.

Ainsi, on retiendra que la facturation est régie par deux termes R1 et R2. Le Terme R1 se décompose selon 4 sous-termes fonction de la saison avec une distinction de l'eau livrée et de l'énergie vendue. Cette structure permet d'inciter à une réduction des quantités d'eau livrées pour une même quantité d'énergie consommée. **Les utilisateurs sont incités à augmenter la différence de température entre aller et retour et ainsi à augmenter les températures de retour.**

Le tableau suivant présente le suivi de l'évolution des recettes liées aux termes R1 et R2 de tarification des abonnés sur la période 2008-2016. Le terme R1 reste prépondérant (55% en 2016), bien que le déséquilibre des recettes tende à s'amenuiser. Au fil des années, la part du R2 devient de plus en plus importante. Ce phénomène contribue à garantir une bonne stabilité tarifaire. En revanche, il tend à réduire le bénéfice lié aux actions de sobriété énergétique et d'efficacité énergétique. Il convient de maintenir dans le prochain contrat une prépondérance du terme R1 pour inciter à la mise en œuvre d'actions d'amélioration énergétique.

Suivi recettes (k€HT)	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
R1	29 200	31 600	30 600	32 400	34 163	34 316	34 365	36 199	36 042
R2	18 900	20 200	21 500	22 800	24 646	25 927	26 680	28 138	28 990
Part R1	61%	61%	59%	59%	58%	57%	56%	56%	55%
Part R2	39%	39%	41%	41%	42%	43%	44%	44%	45%
Total	48 100	51 800	52 100	55 200	58 809	60 243	61 045	64 337	65 032

Le tableau suivant présente l'évolution du poids de l'ensemble des termes de recettes tarifaires sur la période 2012-2016 :

	2012	2013	2014	2015	2016
R1	44,64%	46,42%	46,47%	47,24%	44,44%
R2	32,20%	35,07%	36,08%	36,72%	35,75%
R'2	8,90%	8,56%	8,18%	7,94%	7,49%
Droits de raccordement (DR)	7,00%	7,52%	7,61%	6,93%	9,92%
Participations à fonds de concours	7,05%	2,11%	1,39%	0,79%	1,63%
Autres	0,20%	0,33%	0,27%	0,38%	0,76%

Tableau 6 : suivi du poids des termes de facturation, source rapport analyse CRAC 2016 Ville Paris

En bref

L'exploitation du réseau présente une bonne rentabilité, avec un résultat net positif chaque année depuis le début de la DSP en 1991. Depuis 2012, le résultat est de l'ordre de 15 M€/an, soit un taux de rentabilité net de 20% environ.

La capacité d'autofinancement du délégataire s'améliore, avec une tendance à la hausse depuis le début des années 2000 du free cash flow.

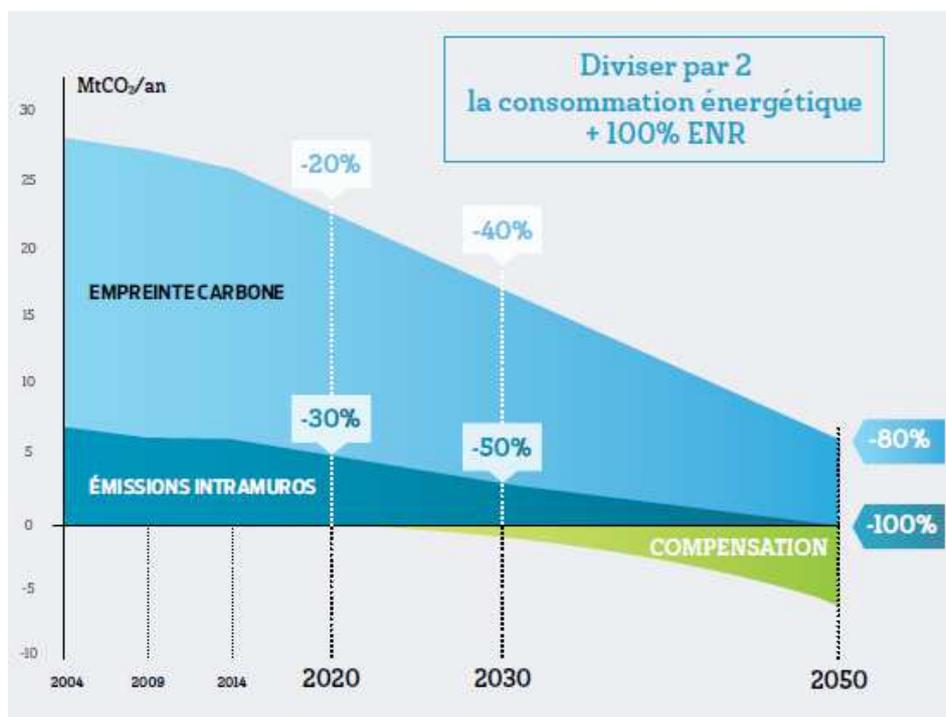
On observe une tendance à la baisse de la part du R1 dans les recettes d'exploitation. Cette tendance est à enrayer afin d'encourager les actions de sobriété énergétique des abonnés.

6. LA CONCERTATION

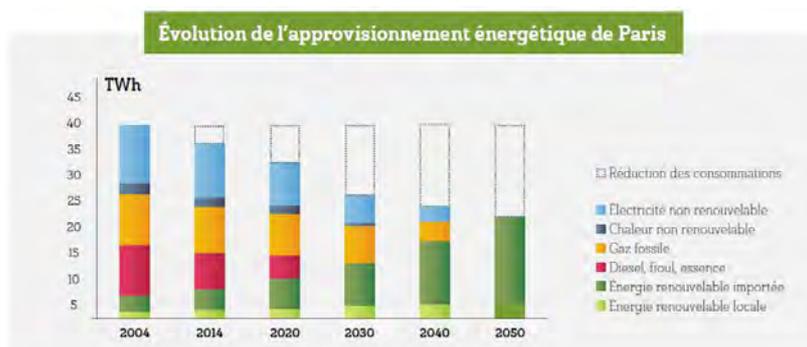
Un travail de concertation a été engagé dans le cadre de la réalisation du schéma directeur pour décliner les grands principes issus du Plan Climat en objectifs chiffrés pour le réseau de froid.

La Ville de Paris s'est engagée dans son Plan Climat, adopté en Conseil Municipal du 22 mars 2018, à s'aligner sur l'Accord de Paris. Ainsi, l'empreinte carbone du territoire Parisien doit être réduite de 80% par rapport au niveau de 2004, tandis que les émissions résiduelles seront compensées pour atteindre le zéro carbone net.

Le graphique suivant trace la trajectoire carbone associée :



Une division par deux des consommations d'énergie du territoire Parisien à l'horizon 2050 s'avèrera nécessaire pour atteindre les objectifs de réduction de l'empreinte carbone. Aussi, l'évolution souhaitée de l'approvisionnement énergétique de Paris a été tracée. Elle est présentée sur le graphique ci-contre. Les énergies non renouvelables s'effacent au fur et à mesure, tandis qu'une montée en puissance des énergies renouvelables permet de répondre à la demande en énergie résiduelle du territoire.



Le Plan Climat trace la feuille de route de l'évolution des consommations. Il inscrit également le développement du réseau de froid comme une priorité pour contribuer à l'atteinte des objectifs carbone et préconise le développement d'une centrale sur Eau de Seine complémentaire pour soutenir le développement du réseau.

Les partenaires institutionnels (ADEME, Métropole Grand Paris, APUR, FNCCR, SNCU...) ont été systématiquement conviés à ces ateliers pour contribuer à la réflexion, tout comme les services de la Ville de Paris.

Des opérateurs ont été invités à l'atelier portant sur les ressources à mobiliser afin de partager des retours d'expérience.

Les mairies d'arrondissements et des aménageurs ont été conviés pour l'atelier portant sur les ambitions de densification et d'extension du réseau dans Paris.

Les autorités concédantes des communes limitrophes de Paris et la Région ont été associées pour l'atelier de réflexion sur les opportunités de mutualisation avec les réseaux existants.

Les comptes-rendus exhaustifs des ateliers sont fournis en annexe.

6.1 ATELIER N°1 - LA RÉFLEXION SUR LES RESSOURCES MOBILISÉES

La fourniture de froid consiste à évacuer les calories excédentaires des bâtiments raccordés. Ce processus mobilise, quelle que soit la technologie choisie, des groupes froids avec des consommations en électricité. Ainsi la notion d'énergie renouvelable et de récupération utilisée pour la production de chaleur n'est pas directement transposable aux réseaux de froid qui sollicitent nécessairement une part d'électricité pour évacuer les calories. La part d'électricité mobilisée pourra être réduite en privilégiant les installations avec les meilleurs COP et celles permettant de bénéficier à certaines saisons d'un effet de freecooling.

L'ensemble des installations de production sur le réseau de froid Parisien présentent un caractère vertueux par rapport aux solutions décentralisées grâce à :

- Des coefficients de performance très élevés
- Des taux de fuite de fluide frigorigène très faibles
- Une amélioration de la qualité architecturale et paysagère
- Une réduction de l'effet d'îlot de chaleur

Néanmoins, les performances techniques et l'impact sur le milieu extérieur diffèrent selon la technologie mobilisée pour dissiper la chaleur. Ce critère d'impact de la production de froid sur le milieu extérieur est retenu comme critère le plus discriminant pour prioriser les exutoires de chaleur.

Trois grandes familles d'équipements permettent de dissiper la chaleur :

- les équipements valorisant simultanément la chaleur et le froid produit (thermofrigopompes, sur le modèle de la centrale PNE)
- les échangeurs de chaleur pour dissiper les calories excédentaires par échange vers une ressource en eau (technologie valorisée dans les centrales sur Eau de Seine – centrale Canada par exemple - ou les unités sur Eau Non Potable, comme à l'Hôtel de Ville)
- les tours aéroréfrigérantes (TAR) visant à évacuer les calories dans l'air extérieur (centrale des Halles par exemple)

Les tours aéroréfrigérantes contribuent à augmenter localement la température de l'air extérieur, avec un effet atténué par rapport à des unités décentralisées cependant. Les installations avec échangeur de chaleur contribuent à augmenter le niveau de température du cours d'eau utilisé comme exutoire (Eau de Seine, réseau Eau Non Potable ou autre réseau selon les cas de figures). Les installations avec thermofrigopompes (TFP) permettent de produire et valoriser simultanément de la chaleur et du froid. Ce type d'installation présente le caractère le plus vertueux sur le plan environnemental. Leur développement est cependant plus délicat puisque les besoins de chaleur et de froid doivent être

concomitants, sur un périmètre restreint, avec une durée d'utilisation la plus longue possible pour amortir les investissements à consacrer à ces unités. On notera que la chaleur issue de ces unités est émise à très basse température. Cette ressource ne pourra être valorisée que sur des secteurs restreints via des boucles d'eau chaude basse température, desservant des bâtiments à émetteurs basse température (bâtiments récents).

La réflexion en atelier de concertation sur les ressources à mobiliser pour la production d'énergie a abouti à une démarche de priorisation des ressources à mobiliser. Cette démarche est guidée par la volonté d'améliorer le bilan environnemental de la production d'énergie sur le territoire Parisien. Elle fait ainsi le lien avec le Plan Climat Parisien. Le développement de nouvelles unités de production est priorisé selon le schéma suivant :

1. La production de froid avec valorisation de la chaleur dissipée pour alimenter des bâtiments via une boucle d'eau chaude ; tout nouveau projet de développement d'unité de production devra étudier en premier lieu cette possibilité ;
2. Les installations dissipant la chaleur fatale dans un vecteur réduisant l'impact sur l'environnement : réseau d'eau non potable, postes de détente gaz, réseau d'eaux usées, arrivées aqueducs Eau potable ;
3. Les installations dissipant la chaleur fatale dans les cours d'eau (Eau de Seine)
4. Les centrales dissipant la chaleur excédentaire dans l'air ambiant (tours aéroréfrigérantes, tours adiabatiques)

Pour chaque projet de développement de réseau, la logique de priorisation des unités de production sera croisée avec les caractéristiques des besoins de froid, la possibilité de valoriser de la chaleur basse température localement et une analyse du gisement disponible.

Une diversification des ressources sollicitées sera recherchée afin de sécuriser l'approvisionnement du réseau et de réduire son impact sur les milieux concernés.

6.2 ATELIER N°2 - LE NIVEAU D'AMBITION DE DÉVELOPPEMENT DU RÉSEAU DE FROID

L'atelier de concertation a mis en exergue les atouts du réseau de froid Parisien. Ce réseau est une infrastructure d'attractivité du territoire, mais aussi de résilience et d'inclusion pour faire face au bouleversement climatique et notamment aux pics de chaleur estivaux.

Les installations de production sur le réseau sont centralisées et contribuent à améliorer l'environnement architectural et paysager.

Fort de ce constat, l'ambition de développement du réseau doit être forte. Elle est néanmoins pondérée au regard des investissements à engager par le futur délégataire, une trop forte capitalisation pouvant réduire le jeu de la concurrence, et surenchérir le prix de vente du froid au détriment de sa compétitivité et de son accessibilité pour les Parisiens. Au-delà, l'implantation de nouvelles centrales de production participe à la pression foncière, et les travaux de voirie à engager pour la distribution doivent rester acceptables pour le métabolisme de la ville.

Le périmètre actuel de la DSP, limité à une partie du territoire Parisien (43% environ), sera étendu à tout Paris pour favoriser la diffusion la plus large possible. Le socle d'abonnés, très fortement concentrés sur les commerces et bureaux, est à élargir. Les logements situés dans des zones de bruits (BR2 et BR3) peuvent d'ores et déjà être raccordés au réseau, en accord avec les prescriptions prévues par l'ADEME, afin de garantir un niveau de confort d'été acceptable pour les bâtiments subissant des contraintes extérieures qui rendent difficiles le rafraîchissement par ventilation naturelle. La démarche engagée de diversification de l'offre tarifaire vers toutes les gammes d'abonnés est à prolonger (offre pour les commerces de pied d'immeuble). Par ailleurs, compte-tenu du contexte de

réchauffement planétaire, ces critères seront à réexaminer régulièrement dans une optique d'adaptation au dérèglement climatique.

6.3 ATELIER N°3 - LES OPPORTUNITÉS DE MUTUALISATION AVEC LES RÉSEAUX EXISTANTS

Les principales opportunités de mutualisation identifiées avec les communes limitrophes consistent à raccorder des abonnés extérieurs à la Ville de Paris depuis le réseau Parisien ou au contraire, à raccorder des bâtiments Parisiens à partir de réseaux développés sur des communes limitrophes. La distance conséquente entre le réseau Parisien et les réseaux métropolitains les plus proches et la difficulté de transporter du froid ne permettent pas d'identifier d'opportunités d'interconnexions entre réseaux à ce jour.

6.4 ATELIER N°4 ET N°5 – CITOYENS « VOLONTAIRES DU CLIMAT » ET ABONNÉS

Les enjeux pour l'évolution du réseau de chaleur ont été partagés en séance. Ils sont présentés ci-dessous :

- Enjeu n°1 : Diversifier les exutoires de chaleur fatale
- Enjeu n°2 : Privilégier les ressources vertueuses (meilleur COP, réduction de l'effet d'îlot de chaleur)
- Enjeu n°3 : Garantir un stockage froid pour répondre aux appels de puissance sur le réseau Centre et sur les réseaux annexes
- Enjeu n°4 : Etendre le réseau et irriguer plus largement le territoire Parisien
- Enjeu n°5 : Garantir une puissance disponible suffisante sur le réseau et répondre à la demande croissante
- Enjeu n°6 : Consolider la résilience du réseau
- Enjeu n°7 : Diversifier les abonnés
- Enjeu n°8 : poursuivre le raccordement des petites puissances

6.4.1 RISQUES SOULIGNÉS SUR L'ÉVOLUTION DU RÉSEAU FROID

Le prix du froid vendu par le délégataire est jugé globalement élevé. La compétitivité du raccordement au réseau par rapport à des solutions autonomes n'est assurée qu'en raisonnant en coût global, sur une durée très longue (30 ans). Le manque de compétitivité de la solution réseau sur un pas de temps plus court (15 ans) nuit à son développement. En outre, l'apport de souplesse sur les frais fixes est souhaité.

La structuration actuelle du raccordement au réseau bride l'innovation. L'innovation doit être encouragée par de la souplesse juridique, technique et économique. La problématique de la puissance disponible sur le réseau est saillante. Le changement climatique et l'accentuation des phénomènes de canicule font peser une menace accrue sur le réseau. Le stockage d'eau glacée est à développer pour réduire le risque de manque de puissance disponible. Ce développement peut être réalisé sur le réseau primaire et/ou sur les réseaux secondaires. Cette deuxième option doit être facilitée grâce à une organisation plus souple.

La dépendance des performances du réseau par rapport à la maîtrise de l'utilisation faite par les abonnés et la maîtrise des réseaux secondaires est soulignée. Néanmoins, des dispositifs visant à

inciter à la maîtrise des installations secondaires existant déjà. Le terme R1, proportionnel aux consommations, est déjà facturé en fonction de la quantité d'énergie vendue et en fonction du volume d'eau livré.

Le souhait d'amélioration de la performance globale est souligné. Cette amélioration n'est possible qu'en mutualisant les installations pour la production de froid et de chaleur. La réalisation de nouvelles installations de production de froid devra être systématiquement assortie d'une étude de valorisation de la chaleur fatale. On notera cependant la nécessité de rassembler au sein d'un même périmètre des besoins de chaleur et de froid concomitants. La chaleur fatale ne pourra être valorisée que pour des bâtiments avec des émetteurs basse température (bâtiments neufs).

Les effets conjugués d'une sécheresse, avec hausse de la température de l'eau et réalisation d'une centrale sur Eau de Seine complémentaire pourraient conduire à une hausse significative de l'impact de ces installations sur le cours d'eau. La vigilance est attirée sur ce risque et la nécessité de maîtriser le développement de nouvelles installations avec rejet de chaleur dans la Seine.

6.4.2 OPPORTUNITÉS DE DÉVELOPPEMENT IDENTIFIÉES

La tension sur la puissance disponible sur le réseau pourra être atténuée en développant le stockage sur le réseau primaire et sur les réseaux secondaires, mais aussi grâce aux actions en cours sur les émetteurs des abonnés. La démarche de diagnostic et réalisation de travaux est amorcée et est appelée à se prolonger (interventions sur les CTA notamment, en intégrant de la récupération sur air extrait).

La climatisation des logements est majoritairement proscrite selon la réglementation thermique. En revanche, le développement de boucles d'eau tempérée, utilisées pour du rafraîchissement, constitue une opportunité de développement pour le réseau dans des zones résidentielles.

Les zones d'aménagement constituent des terrains favorables pour le développement du réseau. Une incitation (voir une obligation) au raccordement au réseau de froid représente un fort levier pour augmenter le nombre d'abonnés et le volume d'énergie vendue.

Compte tenu des fortes convergences entre réseau de froid et réseau de chaleur (valorisation de la chaleur fatale issue de la production de froid), la question se pose de rassembler au sein d'une même DSP la distribution du froid et de la chaleur.

6.4.3 SYNTHÈSE DE L'ATELIER

L'apport de souplesse dans la définition juridique, économique et technique de la relation entre l'abonné et le délégataire est souhaitée.

Les pistes de d'évolution proposées sont les suivantes :

- Mise au point d'un tarif hiver et d'un tarif été (pour le R2)
- Possibilité de modifier plus facilement la puissance souscrite
- Réduction de la part du terme fixe (R2) dans la facturation
- Possibilité de réaliser une seule sous-station pour plusieurs abonnés (avec possibilité de foisonnement de la puissance installée pour des usages différents : commerces et hôtellerie par exemple)

L'incitation des abonnés à installer un volume de stockage propre et à réduire leur puissance appelée est à développer. Le développement de nouvelles installations de production de froid avec rejet de la chaleur fatale dans l'eau de la Seine devra être maîtrisé.

7. LE SCÉNARIO D'ÉVOLUTION DU RÉSEAU DE FROID

7.1 LES BESOINS DE FROID PARISIENS

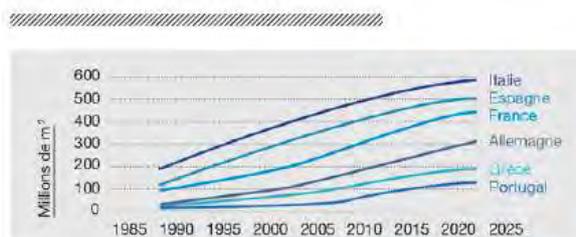
Les **consommations liées au froid progressent. En 20 ans, elles ont doublé dans les commerces parisiens.** Au niveau national, le marché de la climatisation affiche une croissance continue (+ 8 % en 2017). Évolutions culturelles et climatiques sont autant d'éléments qui permettent d'expliquer cette tendance.

À Paris, on estime aujourd'hui les besoins à 2-3 TWh/an. Les moyens utilisés pour répondre aux besoins de froid sont aujourd'hui de diverses natures : solutions autonomes plus ou moins vertueuses, boucles locales, ou réseau de froid maillé. Le réseau de froid de Paris couvre 415 GWh/an (référence année 2016), soit environ 20 % de ces besoins.

En 2050, les besoins de froid devraient être de 3,5 à 4TWh/an en tenant compte à la fois des évolutions climatiques, et de l'amélioration des bâtiments. L'évolution à la hausse de ces besoins implique de déployer une stratégie pour réduire fortement l'impact environnemental de ces besoins croissants pour aller vers une ville neutre en carbone et résiliente en 2050.

L'essor de la climatisation est intimement lié à l'évolution de notre rapport au confort dans les bâtiments, et ce plus particulièrement dans les immeubles de bureaux ou dans les commerces. La surface climatisée est en constante augmentation dans nos villes, le graphique ci-contre issu d'une étude réalisée en 2002 pour le compte de la commission européenne montre l'évolution de cette surface depuis 1990 et donne à voir des perspectives à horizon 2025.

ÉVOLUTION DE LA SURFACE CLIMATISÉE EN EUROPE À L'HORIZON 2020



Source: Étude Energy Efficiency and Certification of Central Air Conditioners pour la Commission Européenne, 2002.

Figure 42 : Evolution de la surface climatisée en Europe - Source APUR/Commission Européenne

À Paris, l'évolution de la consommation d'énergie des commerces entre 1990 et 2009 met en exergue l'essor de la climatisation dont la consommation a doublé sur cet intervalle alors que sur la même période, la plupart des autres postes de consommations d'énergie sont à la baisse (eau chaude sanitaire, cuisson, et surtout chauffage) ou en légère hausse (électricité spécifique). Cet essor récent a des effets sur l'environnement avec les émissions de gaz à effet de serre qui lui sont associés, mais aussi en contribuant au phénomène d'îlot de chaleur par les rejets de chaleur sur l'espace public de certaines solutions autonome de climatisation. La limitation et la réduction des impacts environnementaux liés à la climatisation des bâtiments parisiens re- présente un enjeu de premier plan dans la perspective d'une ville résiliente et neutre en carbone en 2050. Cela implique en particulier de maîtriser le développement rapide de la climatisation et de renouveler les installations les plus énergivores par des dispositifs plus respectueux de l'environnement.

ÉVOLUTION DES CONSOMMATIONS D'ÉNERGIE DES COMMERCES PARISIENS DE 1990 À 2009

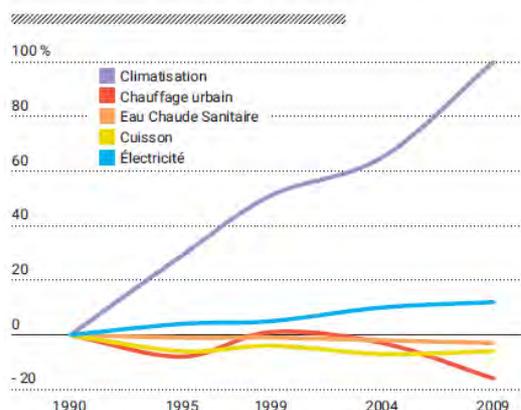


Figure 43 : Evolution de la surface climatisée en Europe - Source APUR/Commission Européenne

À l'échelle globale, la stratégie de végétalisation/désimperméabilisation mise en œuvre à Paris (30 nouveaux ha d'espaces verts en 2020, 20 000 nouveaux arbres, 100 hectares de toitures et murs végétalisés, etc.) permet de limiter les effets d'îlots de chaleur urbain et constitue une première réponse globale pour limiter les besoins de froid sur l'espace public mais aussi dans les bâtiments.

À l'échelle du projet urbain et/ou du bâtiment, d'autres actions sont possibles pour limiter voire supprimer les besoins de froid. Dans bien des cas, la climatisation peut être évitée totalement ou en partie grâce à une conception / rénovation bioclimatique du bâtiment (ventilation naturelle, protections solaires extérieures, isolation, végétalisation). L'optimisation des systèmes existants ou la mise en place de nouveaux équipements de rafraîchissement performants (pompes à chaleur sur nappe ou récupérant de l'énergie fatale, etc.) permet aussi de limiter l'impact environnemental du rafraîchissement lorsqu'il est nécessaire

La connaissance des dispositifs techniques utilisés pour **la production de froid est un sujet très peu documenté**. Il n'existe pas de données permettant de dresser une cartographie des consommateurs de froid selon le type de système à la différence de la chaleur. Pour pallier ce manque de données, **l'APUR a décidé de partir d'une approche typologique** à partir de la notion de froid nécessaire défini par l'ADEME. Les bâtiments où les usages de froid sont considérés comme nécessaires ou indispensables sont identifiés comme des consommateurs de froid.

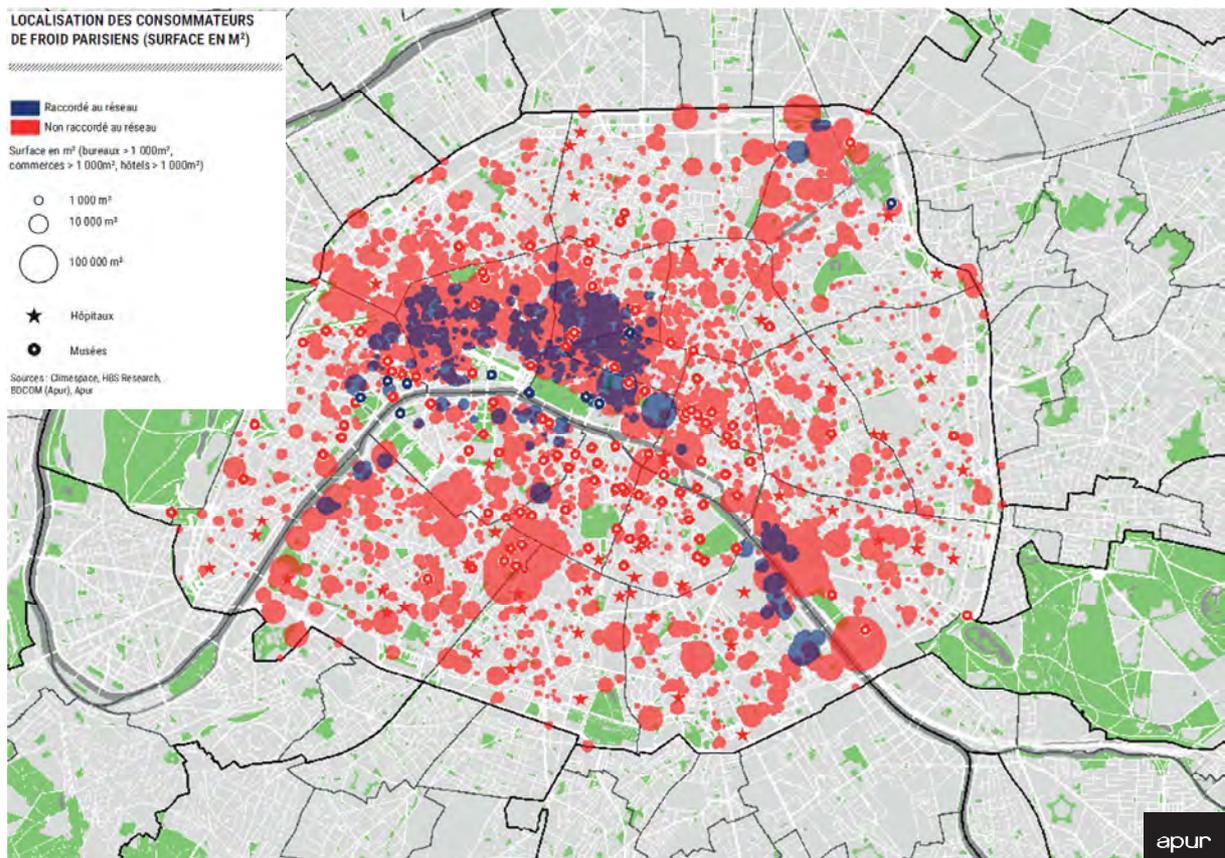
Cette approche présente certaines limites : elle n'englobe pas l'ensemble des consommateurs de froid et certains consommateurs identifiés peuvent ne pas avoir recours à la climatisation.

Sur la base de sa connaissance des tissus parisiens, **l'Apur a localisé une grande partie des consommateurs de froid**, à savoir :

- Les bureaux de plus de 1000 m²,
- Les surfaces commerciales de plus de 1000 m²,
- Les hôtels de plus de 50 chambres,
- Les musées et les hôpitaux.

Sans considérer les musées et les hôpitaux, dont les surfaces sont difficiles à estimer, cela représente un total de 19 millions de m² à l'échelle de Paris. **17 % de ce parc est raccordé au réseau de froid**, soit environ 3,3 millions de m² desservis aujourd'hui. Les 83 % restants sont équipés de solutions de climatisation autonomes ou sont alimentés par des boucles locales.

La localisation des consommateurs de froid identifiée par l'APUR est repérée sur la cartographie ci-dessous, distinguant les bâtiments raccordés ou non au réseau de froid Parisien :



Cette cartographie illustre les phénomènes suivants à l'échelle Parisienne :

- Le potentiel de raccordement de nouveaux abonnés au réseau de froid est très élevé
- La présence de nombreux consommateurs à moins de 100 mètres du réseau constitue un potentiel significatif de densification
- Le potentiel d'extension pourra être valorisé
- De nouveaux réseaux peuvent être développés sur des secteurs éloignés du tracé existant

7.2 ETUDE COMPARATIVE DE 6 SCÉNARIOS

Une analyse comparative de 6 scénarios d'évolution du réseau de froid a été menée en vue de consolider les hypothèses du scénario retenu par la Ville de Paris. La description détaillée de ces 6 évolutions possibles et leur analyse comparative est fournie en annexe 5.

Trois indicateurs ont été retenus pour caractériser chacun des scénarios étudiés :

- Le niveau de réhabilitation énergétique des bâtiments et l'évolution des consommations ;
- Le niveau de densification et d'extension du réseau ;
- Le niveau de livraison d'énergie au-delà du territoire de la Ville de Paris.

Les paragraphes qui suivent synthétisent les enseignements des échanges intervenus pour dessiner la stratégie du réseau.

L'évolution de la quantité de froid livrée par le réseau détermine les moyens et les investissements à mettre en œuvre. Cette quantité de froid est déterminée par :

- L'évaluation des besoins des bâtiments à raccorder, en prenant en compte les efforts de sobriété et d'efficacité de bâtiments qui seront progressivement rénovés, mais aussi une évolution des besoins de froid en lien avec le bouleversement climatique,
- Le périmètre géographique desservi par le réseau, couvrant l'ensemble du territoire parisien,
- L'ambition « commerciale » pour un service centralisé de froid face à des solutions autonomes voire individuelles à l'échelle de chaque bâtiment.

L'ambition est à mesurer au regard des investissements à engager par le futur délégataire, une trop forte capitalisation pouvant réduire le jeu de la concurrence, et surenchérir le prix de vente du froid au détriment de sa compétitivité et de son accessibilité pour les Parisiens. Au-delà, l'implantation de nouvelles centrales de production participe à la pression foncière, et les travaux de voirie à engager pour la distribution doivent rester acceptables pour le métabolisme de la ville.

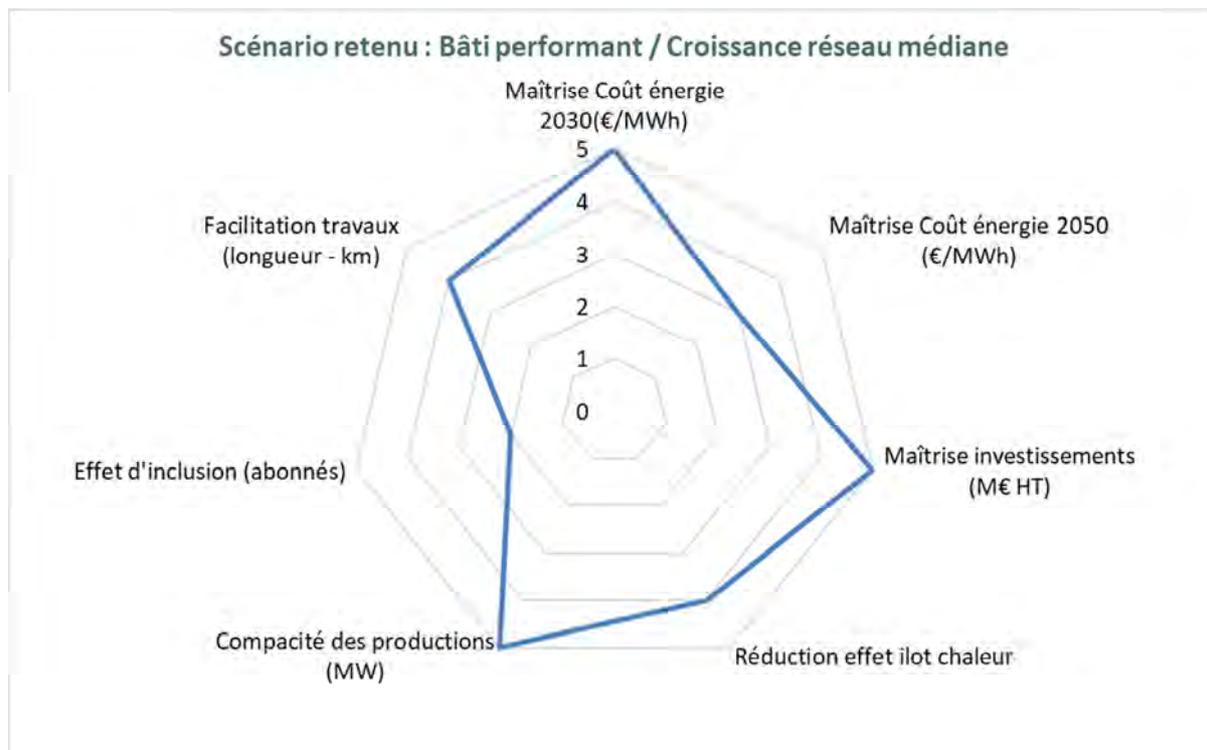
L'hypothèse, découlant du Plan Climat, de division par deux de la demande énergétique est intrinsèquement défavorable au modèle économique d'un réseau de froid, qui trouve mieux son équilibre en maximisant la quantité de froid délivrée et le nombre d'abonnés desservis. Selon que l'on prenne le point de vue du réseau de chaleur ou de la Ville, l'appréciation du caractère positif ou négatif de la sobriété diverge diamétralement. Pour chaque hypothèse utilisée, le point de vue réseau de froid et le point de vue Ville de Paris sont indiqués.

En considérant que le réseau présente des avantages indéniables face à des solutions autonomes (en termes d'émissions de GES, de performance globale, de maîtrise du bruit), il a été retenu d'envisager un fort développement du nombre d'abonnés desservis pour pérenniser l'outil.

En outre, le développement du réseau de froid a été identifié comme un axe de travail prioritaire dans le cadre du Plan Climat. Cet outil permet de lutter contre l'effet d'îlot de chaleur, de distribuer de l'énergie produite avec de très hauts niveaux de performance et de réduire les pointes d'appel de puissance électrique.

Ainsi, un développement très ambitieux est recherché pour le réseau. Cette forte ambition a été pondérée par la volonté de garantir l'accessibilité du réseau au plus grand nombre et la nécessité de trouver un équilibre avec l'acceptation des travaux de voirie à réaliser pour l'extension du réseau.

Le scénario retenu et décrit plus loin respecte l'enjeu prioritaire de sobriété énergétique et prévoit un développement du réseau conciliant la large diffusion de l'énergie produite avec une maîtrise des coûts et un rythme de travaux acceptable.

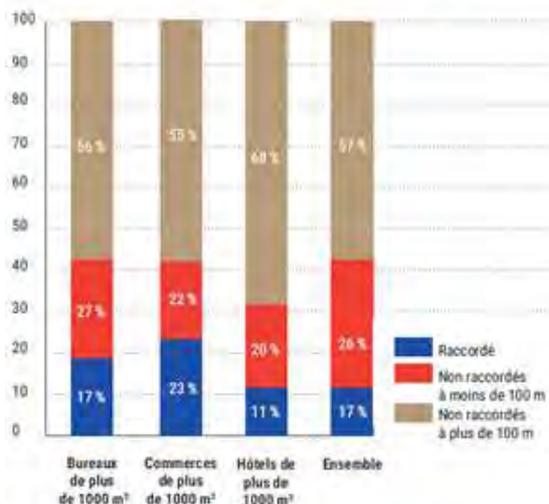


7.3 LE POTENTIEL DE DÉVELOPPEMENT DU RÉSEAU

7.3.1 POTENTIEL DE DENSIFICATION

Dans sa forme actuelle, le réseau Climespace est présent dans 11 des 20 arrondissements Parisiens. Il est particulièrement bien implanté au sein des grandes concentrations tertiaires parisiennes que sont le quartier central des affaires, Paris Rive Gauche, Bercy-Gare de Lyon, etc.

RÉPARTITION DE LA SURFACE DES CONSOMMATEURS DE FROID SELON LEUR RACCORDEMENT OU NON ET LEUR DISTANCE AU RÉSEAU



Sources : Climespace, HBS Research, EDGDM (Apu), Apur

Près de 80 % des surfaces liées aux consommateurs de froids parisiens sont localisées dans ces 11 arrondissements (soit 15 m de m²). Cette réalité géographique fait ressortir la densification comme étant un enjeu majeur du développement du réseau de froid parisien.

Le raccordement de l'ensemble des consommateurs de froid situés à moins de 100 m du réseau représenterait au moins un doublement de la surface déjà alimentée par le réseau, avec :

- 5 millions de m² de bureaux, commerces et hôtels de plus de 1000 m² supplémentaires.
- des équipements publics ayant des besoins de froid comme les musées et les hôpitaux.
- voire aussi des consommateurs de plus petites tailles, d'une surface inférieure à 1000 m² (commerces, bureaux, etc.).

Figure 44 : Répartition des surfaces raccordées ou non au Réseau de froid

	Surface des consommateurs de froid raccordés (total arr.)	Surface des consommateurs de froid non raccordés selon la distance au réseau (% total arr.)		Surface des consommateurs de froid à l'arr. (m ²)	Nombre de musées raccordés	Nombre de musées non raccordés		Nombre d'hôpitaux non raccordés
		moins de 100 m	plus de 100 m			moins de 100 m	plus de 100 m	
1 ^{er}	40%	46%	14%	1033523	5	2	2	0
2 ^e	34%	51%	15%	1092158	0	2	1	0
3 ^e	0%	0%	100%	259216	0	0	0	0
4 ^e	3%	12%	85%	339623	0	0	8	2
5 ^e	0%	0%	100%	133637	0	0	8	4
6 ^e	0%	0%	100%	293510	0	0	12	1
7 ^e	20%	27%	53%	866781	1	5	14	1
8 ^e	28%	54%	18%	3135063	1	2	8	0
9 ^e	35%	51%	14%	1951445	1	3	3	0
10 ^e	0%	0%	100%	524481	0	0	2	3
11 ^e	0%	0%	100%	486273	0	0	3	1
12 ^e	6%	26%	68%	1446951	0	0	1	5
13 ^e	29%	18%	54%	1232412	0	0	0	6
14 ^e	0%	0%	100%	674129	0	0	0	8
15 ^e	4%	11%	85%	1951183	0	0	6	6
16 ^e	17%	15%	68%	1093732	3	5	11	3
17 ^e	0%	0%	100%	952848	0	0	2	1
18 ^e	0%	0%	100%	418936	0	0	3	3

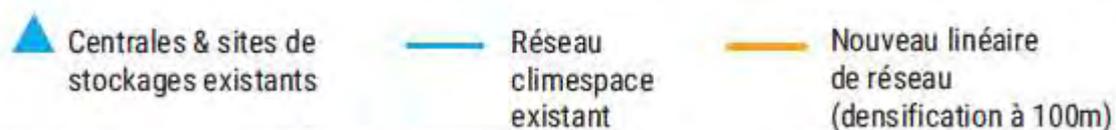
19 ^e	7%	0%	93%	873391	1	0	1	2
20 ^e	0%	0%	100%	257582	0	0	1	4
Paris	17%	26%	57%	19016874	12	19	86	50

En considérant des **niveaux de consommation par clients semblables à ceux observés aujourd'hui**, le raccordement des consommateurs de froid situés à moins de 100 m du réseau équivaldrait à doubler la quantité de froid livrée pour la porter à **environ 0,8-1 TWh**.

La cartographie suivante, réalisée par l'APUR illustre le nécessaire renforcement du réseau pour raccorder par densification les consommateurs présents à moins de 100 mètres du tracé existant.



Note de lecture : un travail d'estimation du linéaire de réseau à créer pour densifier à 100 m a été réalisé. Ce travail permet d'avoir un ordre de grandeur mais n'est en aucun cas une proposition de nouveau tracé.



Sources : Climespace, HBS Research, BDCOM (Apar), Apar

Figure 45 : Cartographie des renforcements de réseau pour la densification

7.3.2 LE POTENTIEL D'EXTENSIONS ET CRÉATIONS DE NOUVEAU RÉSEAU

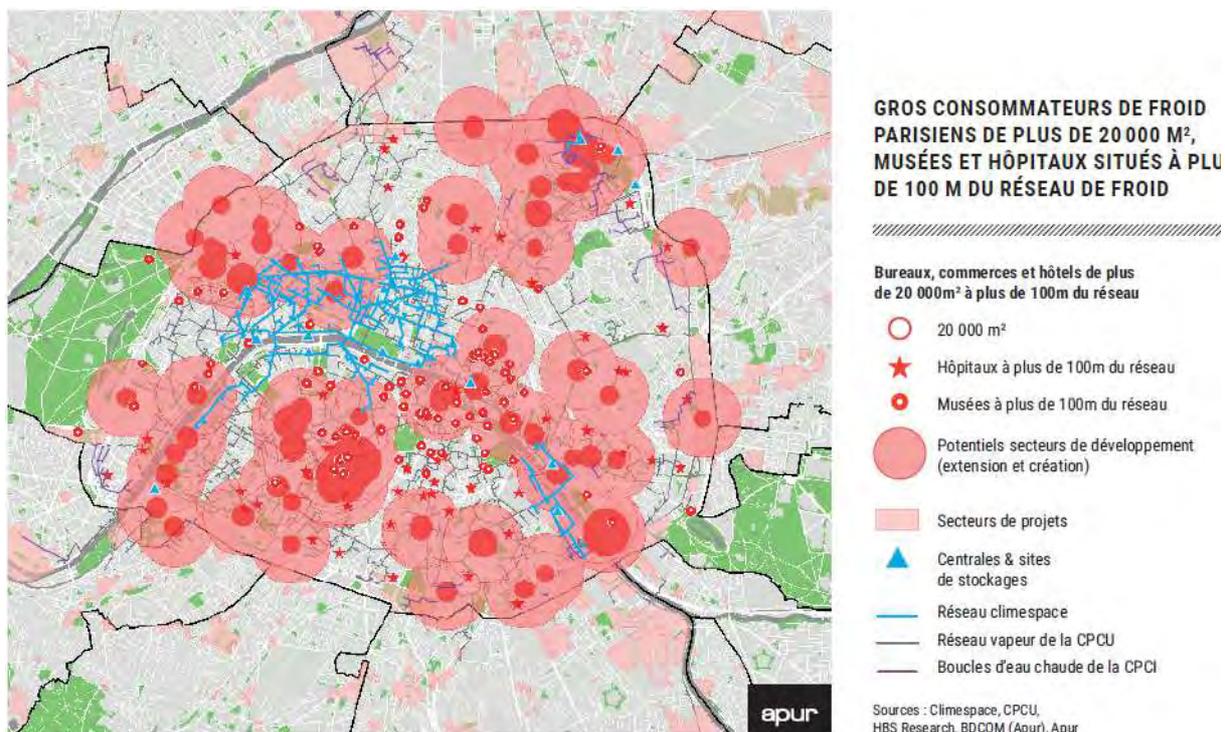


Figure 46 : cartographie des gros consommateurs de froid

En dehors de la densification de l'existant, des développements complémentaires pourront se faire autour de gros consommateurs de froid. Ces développements pourront être de deux natures :

- des extensions du réseau existant,
- la création de nouvelles boucles locales au sein des secteurs les plus éloignés du réseau existant représentant de gros potentiels de consommation de froid. La présence de gros consommateurs permet de sécuriser ces nouveaux développements.

Afin de hiérarchiser les secteurs avec de fortes densités de besoins de froid selon leur potentiel, l'APUR propose la méthodologie suivante :

1. Partir des gros consommateurs comme têtes de pont de ces nouveaux développements. Il est décidé d'isoler les consommateurs d'une surface supérieure à 20 000 m², non raccordés et situés à plus de 100 m du réseau existant
2. Définir une « zone » de développement de 750 m de rayon autour des gros consommateurs précédemment sélectionnés
3. Classer ces « zones » selon leur potentiel à partir de la densité des besoins de froid identifiés : surface et nombre de bureaux, commerces et hôtels de plus de 1 000 m² situés à plus de 100 m du réseau, nombre d'hôpitaux et de musées situés à plus de 100 m du réseau.

La carte ci-après présente les 20 secteurs présélectionnés et leurs caractéristiques.

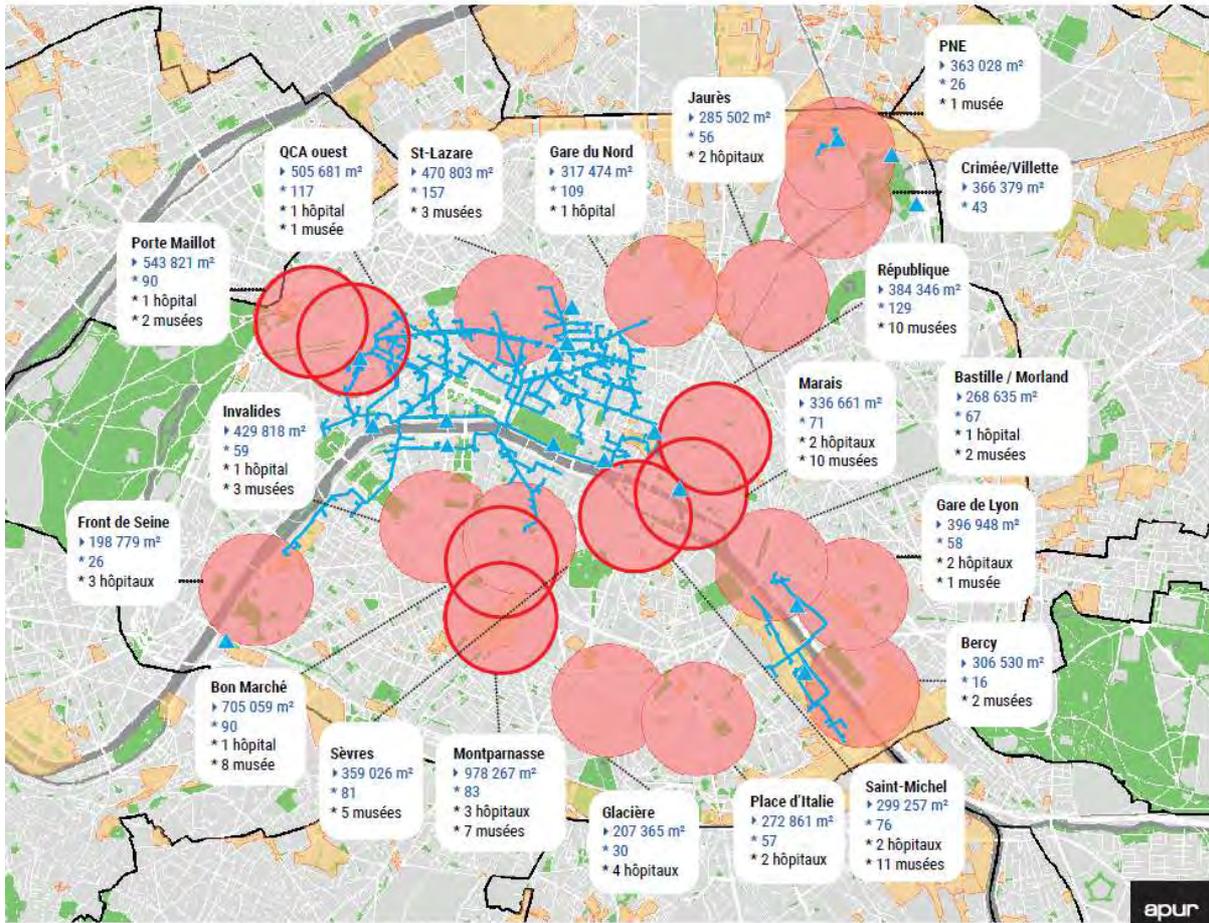


Figure 47 : cartographie des 20 secteurs de développement potentiel

6 M de m²

de bureaux, commerces et hôtels de plus de 1 000 m² situés à plus de 100 m du réseau existant (dans les 20 secteurs présélectionnés)

Les chiffres clés au sein des 20 secteurs présélectionnés – potentiel d’extension et de création de boucles locales :

- 6 164 456 m² de bureaux, commerces et hôtels de plus de 1 000 m² situés à plus de 100 m du réseau existant (sans double comptes). Soit 500-600 GWh.
- Soit un potentiel de 1 161 parcelles de bureaux, commerces et hôtels de plus de 1 000 m² situés à plus de 100 m du réseau existant
- 22 hôpitaux situés à plus de 100 m du réseau existant
- 47 musées situés à plus de 100 m du réseau existant

EXTENSION ET CRÉATION : LOCALISATION DE 20 SECTEURS À FORT POTENTIEL

Nom du secteur

- ▶ surface des consommateurs de froid à plus de 100m du réseau existant
- * nombre de consommateurs de froid à plus de 100m du réseau existant
- * nombre d'hôpitaux à plus de 100m du réseau existant
- * nombre de musées à plus de 100m du réseau existant

○ Meilleurs classements

Sources : Climatespace, HBS Research, BDCOM (Apur), Apur

Les gros consommateurs, moteurs pour la réalisation d’extensions de réseau ou le développement de nouvelles boucles représentent un gisement de besoins potentiellement raccordables évalué à **près de 600 GWh/an** (sur la base des niveaux de besoins de froid actuels).

7.3.3 L'OPPORTUNITÉ LIÉE AU DÉVELOPPEMENT DE PARCOURS FRAÎCHEUR

Dans le cadre de sa Stratégie d'Adaptation face au changement climatique (2 015) et du nouveau Plan Climat de Paris (2018), la Ville de Paris avec l'Agence Parisienne du Climat, l'EIVP et l'APUR a identifié des îlots et parcours de fraîcheur à Paris. Pour porter ces lieux à la connaissance de tous, une carte interactive (<https://capgeo.sig.paris.fr/Apps/IlotsFraicheurUrbaine/>) et une application mobile du nom de EXTREMA Paris ont été lancées. Les établissements ouverts au public naturellement frais ou rafraîchis comme les musées, les bibliothèques, les galeries commerciales ou encore les églises ont été identifiés comme des îlots de fraîcheur.

A l'avenir, les établissements ouverts au public pourront être davantage rafraîchis et représentent à ce titre une opportunité pour le raccordement au réseau de froid Parisien.

7.3.4 LES BESOINS DE FROID PAR ARRONDISSEMENT

Sur la base des données de l'APUR pour les principaux centres commerciaux, bureaux, commerces et hôtels, les besoins de froid sont évalués par arrondissement, sur la base des niveaux de consommations 2016 :

	Besoins froid (Mwhfroid/an)				
	Centres commerciaux	Bureaux	Commerces	Hôtels	Cumul
75001	17 747	127 237	15 731	7 403	168 118
75002	0	179 660	2 279	2 333	184 271
75003	0	40 556	2 035	835	43 427
75004	0	49 719	6 711	151	56 581
75005	0	14 426	5 150	1 786	21 363
75006	465	40 589	4 013	3 118	48 185
75007	0	137 737	6 301	1 610	145 648
75008	2 791	496 794	9 122	15 165	523 872
75009	3 520	283 155	27 764	10 513	324 952
75010	1 536	77 983	285	6 836	86 639
75011	0	72 346	4 639	3 706	80 690
75012	3 915	222 896	7 829	6 998	241 638
75013	8 268	181 494	8 354	3 152	201 268
75014	3 839	91 206	5 487	11 111	111 644
75015	14 770	289 474	10 770	11 215	326 229
75016	2 333	172 902	4 948	3 310	183 494
75017	2 658	137 930	4 930	11 520	157 037
75018	1 152	51 658	5 619	6 800	65 229
75019	3 544	133 236	3 472	5 289	145 541
75020	0	34 122	5 663	2 359	42 143
PARIS	66 536	2 835 121	141 103	115 209	3 157 969

Ce tableau illustre les très fortes densités de gros consommateurs de froid présents sur les 8^{ème}, 9^{ème}, 12^{ème}, 13^{ème} et 15^{ème} arrondissements. Le réseau de froid est d'ores et déjà présent sur chacun de ces secteurs. Ce constat renforce la volonté de développer le réseau en priorité par densification et extension. Les figures 46 et 47 illustrent en complément le potentiel de développement d' nouvelles boucles de réseau sur la base de gros consommateurs.

7.4 PROJECTION DES ÉVOLUTIONS DU RÉSEAU

Un travail de modélisation a été mis au point afin de tracer les évolutions du réseau induites par les orientations retenues pour son développement.

Il s'agit de dessiner la trajectoire d'évolution du réseau, aux horizons 2030 et 2050 pour assurer la cohérence avec le Plan Climat. Cette trajectoire est comparée aux données de l'année de référence pour laquelle l'ensemble des paramètres sont connus. L'année 2016 constitue cette référence.

Le tableau suivant présente une synthèse des principaux ordres de grandeur liés à la distribution de froid par le réseau Parisien pour l'année 2016.

Référence (année 2016)		
Energie vendue Paris	415	GWh/an
Nb abonnés	644	
Puissance installée par abonné (MW)	0,42	MW
Puissance installée production	275	MW
Longueur réseau initial	71	km
Densité énergétique moyenne réseau (MWh/ml)	5,9	MWh/ml
Puissance installée /GWh	0,66	MW/GWh
Psouscite (MW)	415	MW
Psouscite/GWh	1,00	

La trajectoire dessinée s'attachera à décrire l'évolution prévisionnelle de ces paramètres aux échéances 2030 et 2050. Les principaux indicateurs de suivi environnementaux, économiques et techniques de la trajectoire d'évolution du réseau sont évalués.

7.4.1 LES QUANTITÉS D'ÉNERGIE LIVRÉES PAR LE RÉSEAU

Le scénario retenu s'appuie sur les hypothèses suivantes en matière d'évolution de la demande en énergie et de rythme de développement via des raccordements par densification et extension :

- Réduction de la demande en énergie conforme au Plan Climat (-50% en 2050) ;
- Multiplication par deux du rythme de raccordement de nouveaux abonnés dans Paris ;
- Développement du réseau dans Paris seulement.

Le tableau suivant présente l'évolution des données relatives aux abonnés du réseau constatée sur la période 2008-2016. Les quantités d'énergie vendue par abonné ont été réduites de 30% sur cette période.

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Clients raccordés	432	458	469	500	518	541	567	591	644
Puissance souscrite (MW)	305	320	333	347	360	375	392	401	415
Energie vendue (GWh)	399	407	382	412	412	405	402	420	415
Energie vendue (MWh/client raccordé)	924	889	814	824	795	749	709	711	644

Aussi, en conformité avec le Plan Climat, la trajectoire prévisionnelle des quantités d'énergie livrées par abonné sur le réseau évolue à la baisse :

- 645 MWh/abonné début 2020
- 600 MWh/abonné à horizon 2030
- 460 MWh/abonné à horizon 2050

Le nombre d'abonnés a crû de 27 nouveaux raccordements par an en moyenne sur la période 2008-2016. Le scénario retenu s'appuie sur une évolution de l'ordre de 50 abonnés par an en moyenne de 2020 jusqu'à 2050.

La quantité d'énergie livrée par le réseau de froid parisien est de l'ordre de 415 GWh/an à ce jour (référence année 2016). Le scénario retenu prévoit de porter ce volume à :

- 448 GWh/an au début des années 2020
- 663 GWh/an en 2030
- 1 000 GWh/an en 2050.

Le tableau page suivante présente une esquisse des quantités d'énergie livrée par le réseau de froid par arrondissement.

L'historique des livraisons est rappelé pour les années 2014 à 2016 en base de comparaison. Le potentiel de développement correspond à la synthèse du travail, effectué par l'APUR, d'évaluation des besoins de froid sur la Métropole Grand Paris. Les besoins identifiés sont limités à ceux des :

- centres commerciaux et commerces de plus de 1 000 m² ;
- bureaux de plus de 1 000 m² ;
- hôtels de plus de 50 chambres.

Une évolution des conditions de définition du « froid nécessaire » est cependant à envisager (cf préambule) et elle pourra influencer grandement à la hausse ce potentiel, limitant l'effort commercial à assumer pour capter de nouveaux abonnés et atteindre ce niveau de distribution.

Une projection des évolutions des quantités d'énergie livrée est réalisée sur la base des hypothèses suivantes :

- intégration des projets de développement (Pont Morland, maillage Concorde Rivoli et Porte Maillot à horizon 2020) ;
- à horizon 2030
 - o intégration du projet Montparnasse ;
 - o fort développement du réseau Bercy vers les 12^{ème}, 4^{ème} et 11^{ème} arrondissement ;
 - o fort développement du réseau dans le 19^{ème} arrondissement
 - o augmentation répartie dans les arrondissements où le réseau est déjà présent ;
 - o croissance plus faible dans le 1^{er} arrondissement, déjà très fortement irrigué.
- à horizon 2050
 - o desserte de l'ensemble des arrondissements ;
 - o progression répartie sur les arrondissements déjà irrigués, hormis le 1^{er} avec une croissance faible.

Arrondissement	Quantité de chaleur livrée (GWh/an)			Potentiel développement	Energie livrée/arrdt (GWh/an)		
	2014	2015	2016		2020	2030	2050
1	71	71	71	168	83		
2	41	42	43	184	43		
3	0	0	0	43	0	0%	
4	0	0	0	57	3		
5	0	0	0	21	0	0%	
6	0	0	0	48	0	0%	
7	23	22	23	146	23		
8	100	106	108	524	108		
9	85	83	76	325	76		
10	0	0	0	87	0	0%	
11	0	0	0	81	0		
12	9	8	7	242	10		
13	39	40	37	201	37		
14	0	0	0	112	0		
15	12	12	12	326	12		
16	24	25	24	183	42		
17	0	0	0	157	0	0%	
18	0	0	0	65	0	0%	
19	4	10	11	146	11		
20	0	0	0	42	0	0%	
TOTAL PARIS (GWh/an)	407	420	414	3158	448	633	1000

Les données chiffrées sont présentées pour 2020, les projets de développement étant connus. Des indicateurs de couleur en fonction du taux de desserte de besoin par le réseau sont présentés pour les échéances 2030 et 2050, avec la Légende suivante :

Légende	Couverture par le réseau de froid
	>40% du potentiel
	20 à 40% du potentiel
	<20% du potentiel
	Absence de desserte réseau

L'évolution du réseau est prévue prioritairement par densification et extension. La cartographie suivante illustre les zones préidentifiées où la densité de besoins est favorable au développement du réseau. On retrouve plusieurs zones à proximité immédiate de chacune des 4 boucles existantes. Il s'agit de développement par densification et extension. Plusieurs secteurs, plus éloignés du réseau sont également repérés comme étant favorables du fait de leur densité et d'un niveau de besoins élevé. Plusieurs secteurs se situent dans le 15^{ème} arrondissement. Cet arrondissement présente des niveaux de besoins très élevés alors que le réseau de froid est peu développé dans cette zone. Les 5^{ème}, 6^{ème}, 10^{ème}, 14^{ème} et 19^{ème} arrondissement sont également des secteurs où de nouvelles boucles de réseau de froid pourront être développées.

Pour chaque nouveau développement, la possibilité de valorisation de la chaleur fatale, induite par la production de froid, devra être systématiquement étudiée. Cette synergie permet de s'affranchir de la proximité de la Seine. En outre la pression foncière pousse à mutualiser les sites de production de chaleur et de froid. La compétitivité et l'intérêt de ces solutions s'en trouvent renforcés.



Figure 48 : Secteurs de développement potentiel du réseau de froid

7.4.2 LE DÉVELOPPEMENT DES UNITÉS DE PRODUCTION

Le rythme de développement des unités de production devra répondre non seulement à l'augmentation des quantités d'énergie livrées annuellement par le réseau mais aussi à la nécessité de garantir la disponibilité du froid sur le réseau. Aussi, la puissance installée sera calibrée au regard de l'évolution prévisionnelle des puissances souscrites et des puissances appelées sur le réseau par les abonnés. Les unités de stockage devront donc également être développées pour répondre à cette demande et sécuriser la fourniture de froid sur le réseau.

Le développement des unités de production s'adaptera au rythme d'évolution des quantités d'énergie livrées. Des développements par extension seront réalisés, en particulier pour les évolutions à court terme du réseau. Trois projets de développement ont été identifiés et sont intégrés dans la projection de l'évolution du réseau au début des années 2020 :

- une extension de 900 ml dans le secteur Pont Morland (dans les 12^{ème} et 4^{ème} arrondissement), sur la branche de réseau Bercy
- le maillage Concorde Rivoli, avec un linéaire de 2 780 ml de réseau dans le 1^{er} arrondissement sur la branche de réseau Centre ;
- une extension de 3 000 ml vers porte Maillot dans le 16^{ème} arrondissement dans le réseau Centre.

Ces extensions et les quantités de froid supplémentaires vendues pourront être absorbées par le réseau sans investissement dans les centrales de production.

Un secteur de développement potentiel est identifié autour des copropriétés de Maine-Montparnasse. Ce secteur a fait l'objet d'une étude d'opportunité spécifique.

En revanche, le développement envisagé à échéance 2030 et en particulier le développement de nouvelles branches de réseau non reliées à l'existant nécessiteront de réaliser de nouvelles unités de production.

Le Plan Climat a fixé un objectif de réalisation d'une centrale sur Eau de Seine complémentaire. Ces installations présentent des avantages techniques et environnementaux indéniables grâce à des coefficients de performance (COP) très élevés et la non consommation d'eau potable pour la dissipation de chaleur.

Cette hypothèse a été reprise dans le cadre du présent schéma directeur. Dans une volonté de préservation de la ressource et pour faire écho à la démarche de priorisation précédemment énoncée, il a été choisi de se limiter à cette seule centrale pour ce mode de production, à horizon 2050.

Le présent schéma directeur s'appuie dès lors sur un développement diversifié des technologies disponibles (TFP, échangeurs de chaleur sur réseaux divers, TAR) en complément de la future centrale sur Eau de Seine pour répondre à l'augmentation de la demande en énergie.

Pour mémoire, la puissance installée sur l'ensemble du réseau atteint aujourd'hui 275 MW pour les centrales de production et 9 MW pour les unités de stockage. Il est d'ores et déjà prévu de porter la puissance apportée par le stockage à 21 MW à échéance 2020.

L'évolution du réseau réclamera une puissance installée totale (production directe et stockage) de l'ordre de 347 MW à horizon 2030 et de l'ordre de 636 MW à horizon 2050.

C'est donc une puissance de l'ordre 340 MW répartie entre production directe (centrales) et indirecte (stockage pour la pointe) qui devra être installée en complément des unités de production existantes.

Pour répondre à des enjeux d'insertion foncière et de maillage plus uniforme du territoire parisien, ce **sont de l'ordre de 16 nouvelles centrales à construire** sollicitant les diverses ressources évoquées précédemment qui seront développées pour répondre à ces besoins.

Le choix des technologies a été priorisé plus haut, il n'est pas arrêté de manière précise dans le cadre du schéma directeur délibérément pour faire du taux de valorisation de la chaleur fatale un critère différenciant de la remise en concurrence de la concession.

7.4.3 LE DEVELOPPEMENT DU STOCKAGE DE FROID

Le réseau Centre dispose d'ores et déjà de 3 unités de stockage sous forme de glace ou d'eau glacée selon les installations. Compte tenu de la stratégie de pilotage mise en œuvre par le délégataire, ces systèmes sont à ce jour sollicités en secours uniquement.

Dans un contexte de baisse marquée des quantités d'énergie livrée par abonné, le nombre d'heures d'utilisation de la puissance installée est appelé à poursuivre la tendance de baisse observée et présentée au paragraphe 3.1 du présent rapport.

Le graphique ci-contre illustre cette tendance.

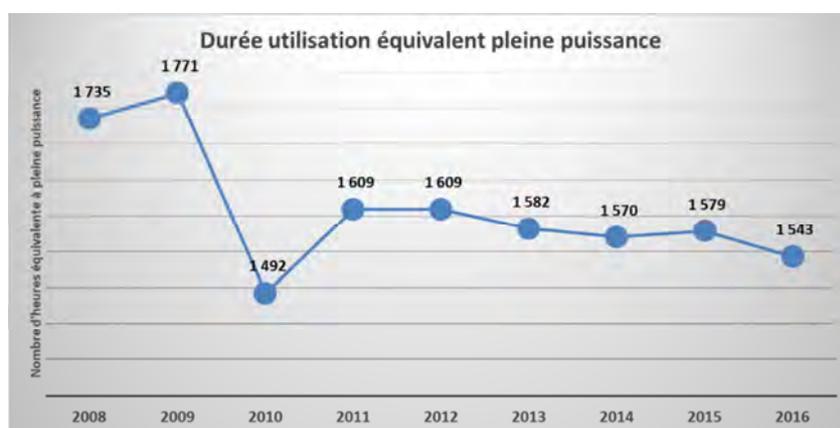
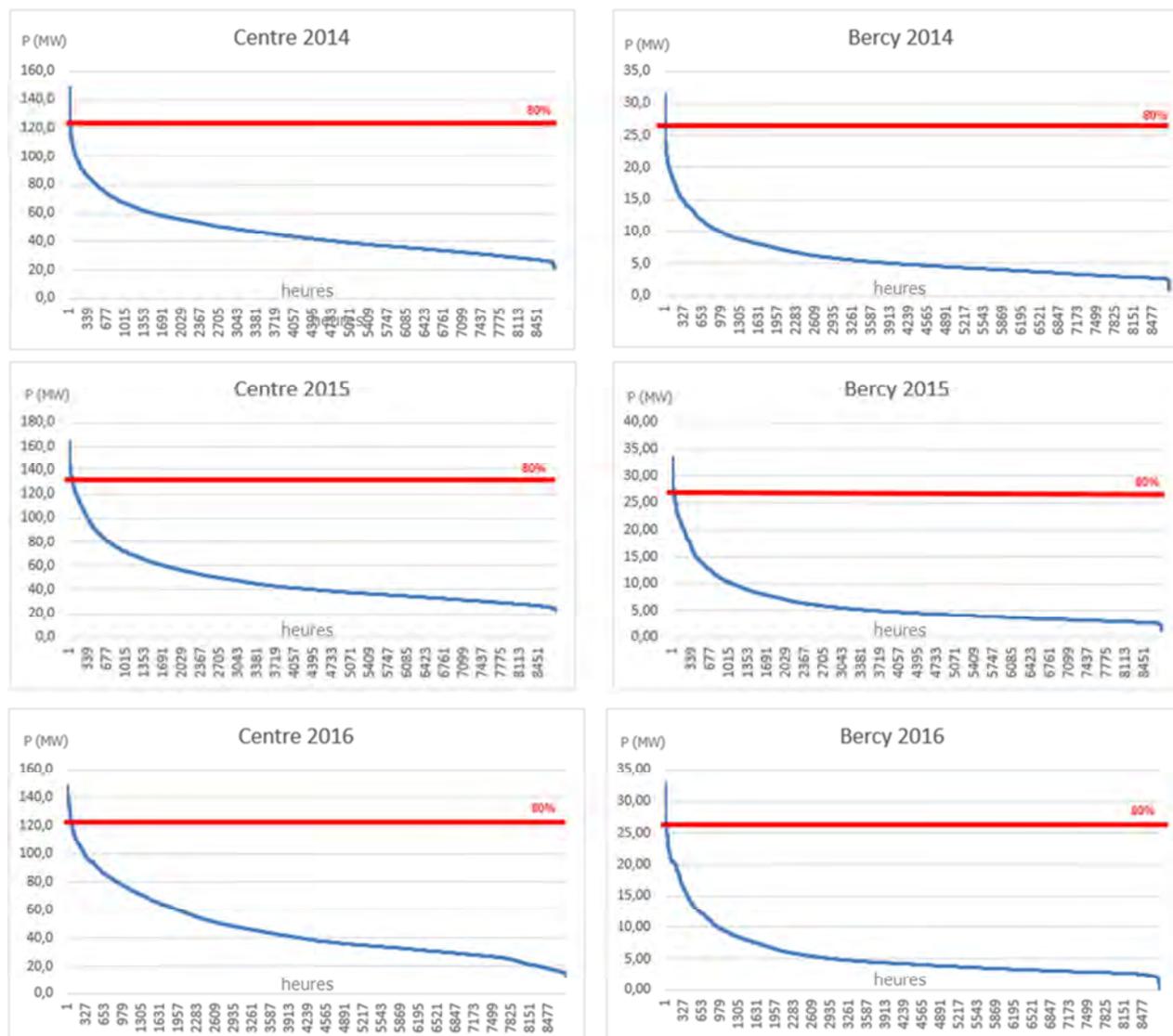


Figure 49 : Durée d'utilisation par kW froid sortie centrale

L'investissement dans des unités de stockage s'avèrera indispensable pour couvrir les pointes d'appel de puissance de froid des abonnés et réduire les investissements dans les unités de production pour des besoins ponctuels, comme expliqué dans le focus ci-après

7.4.4 FOCUS SUR LES MONOTONES DE PUISSANCE

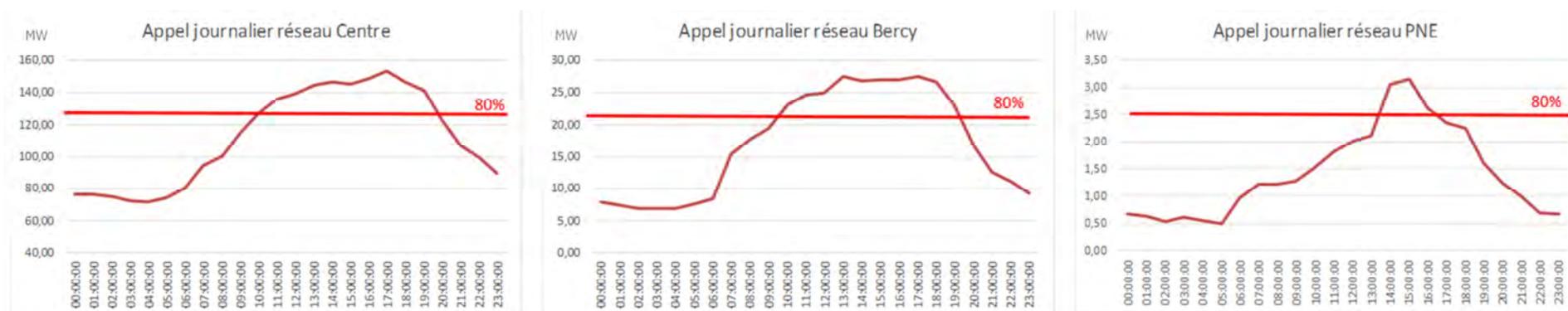
Les courbes monotones de puissance appelée sur les branches réseau Centre et Bercy sont présentées et comparées pour 3 années :



Le réseau Centre irrigue un important volume d'abonnés. La diversité des abonnés permet de bénéficier d'un effet de foisonnement : les besoins des différents usages du bâti raccordé ne sont pas simultanés. Le rapport entre le talon de puissance appelé sur le réseau et la pointe est de 1 à 7. Le nombre d'abonnés au réseau Bercy est nettement moindre. L'écart entre le talon d'appel de puissance et les pointes passe alors de l'ordre de 1 à 10.

On constate cependant un effet similaire sur ces deux réseaux : la quantité d'énergie vendue correspondant aux niveaux de puissances supérieurs à 80% de la puissance appelée représente environ 0,2% du volume de vente annuel. Le stockage froid sera dimensionné pour répondre à ces besoins en pointe très ponctuels.

Les systèmes de stockage ont la capacité de répondre à ces pics d'appels de puissance. La demande en énergie n'étant pas constante sur une journée, les systèmes de stockage journaliers peuvent être rechargés pendant les périodes journalières de charge moins élevée pour libérer le stock d'énergie sur le réseau lors des pics de demande. Les trois courbes suivantes illustrent les courbes de charge sur les réseaux Centre, Bercy et PNE, lors de journées estivales chaudes, avec des appels de puissances élevés :



La capacité de stockage déjà installée sur le réseau atteindra 21 MW en 2020, pour une quantité d'énergie stockée de 140 MWh. Avec ce critère de dimensionnement, la capacité de stockage sur l'ensemble du réseau devra être portée à 60 MW et 450 MWh stockés à échéance 2050.

Cette capacité de stockage, intégrée au réseau primaire fait partie intégrante du périmètre de la DSP. Des investissements liés au stockage pourront également être portés par les abonnés. Les abonnés peuvent en effet prévoir en aval de l'échangeur un volume de stockage afin de lisser leurs appels de puissance. Ces installations présentent d'ores et déjà un intérêt pour l'abonné : la possibilité de réduire sa puissance souscrite et les frais fixes associés (terme de facturation R2 proportionnel à la puissance souscrite). Des dispositifs de type effacement avec solution tarifaire adaptée pourront être intégrés dans la DSP pour encourager davantage le développement du stockage sur réseau secondaire (concept de smart grid thermique).

7.4.5 LE RÉSEAU ET LES ABONNÉS

Le scénario retenu prévoit d'augmenter le volume d'énergie livré aux abonnés. Un phénomène de réduction de la demande en énergie étant escompté, il est nécessaire d'augmenter le nombre de raccordements au réseau pour atteindre les objectifs fixés. Le réseau devra être étendu en conséquence. Le développement d'une nouvelle branche de réseau ou les extensions significatives s'effectuent autour d'acteurs majeurs représentants de gros puits de consommations de froid et constituant un effet de seuil sécurisant le développement. Le réseau existant s'est ainsi développé de proche en proche autour du secteur Les Halles/Etoile/Opéra et autour de Bercy qui constituent des « poches » avec une forte concentration de bureaux et de commerces.

La diffusion à plus large échelle du réseau requiert :

- une densification de l'existant ;
- le développement du réseau autour de secteurs avec de fortes densités de bureaux et de commerces,
- le développement du réseau autour de des secteurs avec des activités sanitaires (hôpitaux, EHPAD...),
- l'extension vers des secteurs moins denses et résidentiels (privé, social) : L'ADEME définit la notion de "froid nécessaire" dans le cadre de sa politique d'aide du Fonds Chaleur, pour des usages de froid considérés comme "nécessaires". L'annexe 8 présente les critères retenus par l'ADEME. Les usages spécifiques, le bruit ou encore la zone climatique sont pris en compte. Compte-tenu de la perspective d'un bouleversement climatique parisien, ces critères seront à réexaminer régulièrement dans une optique de protection des populations.

Le rythme de croissance du réseau est évalué en formulant l'hypothèse d'une stabilité de la densité du nombre d'abonnés par mètre linéaire de réseau. La densité énergétique du réseau est appelée à décroître en conséquence (à cause du phénomène de baisse des quantités d'énergie vendue par abonné).

Le tableau suivant présente les évolutions prévisionnelles du réseau.

Indicateurs	Référence 2016	Premières années	2030	2050
Longueur cumulée réseau (km)	71	76	116	238
Croissance annuelle longueur réseau (km/an)	2	3	4	6
Densité énergétique moyenne réseau (MWh/ml)	5,9	5,9	5,5	4,2
Nombre abonnés	644	693	1055	2165
Augmentation annuelle nombre abonnés	27	25	36	56

Le développement prévu pour le réseau de froid présente un effet d'inclusion élevé. Le nombre d'abonnés actuel, de l'ordre de 650 sera multiplié par 3,3 à horizon 2050.

L'effort à consentir pour développer le réseau est conséquent. Le rythme de développement du linéaire de réseau annuel devra être multiplié par 3 sur la période 2030-2050. Un effort de commercialisation est attendu de la part du prochain délégataire pour raccorder les abonnés selon le rythme prévisionnel (multiplication par deux par rapport au rythme actuel pour la période 2030-2050).

7.4.6 LES INDICATEURS DE SUIVI

Le tableau suivant présente les indicateurs d'évolution économiques, environnementaux et techniques du réseau de froid parisien pour les prochaines années, puis aux horizons 2030 et 2050

Les indicateurs dynamiques sont repérés en violet : il s'agit d'évolutions annuelles.

Les investissements (en orange) sont présentés sous forme de bilan depuis 2020 jusqu'à l'échéance concernée dans chaque colonne du tableau. Ainsi, le bilan présenté en 2050 correspond à la somme des investissements réalisés depuis 2020 jusqu'à 2050.

Les autres indicateurs présentent une vision statique de l'état du réseau.

Indicateurs	Premières années	2030	2050
Evolution annuelle coût production froid/MWh		0,3%	0,7%
Comparaison coût froid/MWh/référence 2016		4,2%	20,3%
Comparaison coût froid/abonné/référence 2016		-2,9%	-13,8%
Niveau investissement (M€ HT)	20	371	1166
- Dont investissement production	0	203	542
- Dont investissement distribution	16	136	502
- Dont investissements postes de livraison	4	33	122
Emissions GES (teCO2/an)	3 808	5 302	8 528
Emissions GES (kgeCO2/MWh)	8	8	9
Taux dissipation TAR	26%	18%	24%
Surface foncière mobilisée (m ²)	0	7 000	24 000
Nombre nouvelles installations	0	4	16
Puissance production installée (MW)	275	385	585
Puissance production et stockage installée (MW)	296	431	645
Longueur cumulée réseau (km)	76	116	238
Croissance annuelle longueur réseau (km/an)	3	4	6
Densité énergétique moyenne réseau (MWh/ml)	5,9	5,5	4,2
Nombre abonnés	693	1055	2165
Augmentation annuelle nombre abonnés	25	36	56

Le travail sur le plan de financement a été réalisé à coûts constants. Les hypothèses de coûts et le travail de plan de financement sont présentés en annexe 4 au présent rapport. Les hypothèses s'appuient sur l'analyse du bilan financier de la DSP sur la période 2010-2016. Aucune inflation des prix ou taux d'actualisation n'ont été intégrés dans les calculs. Le niveau d'investissement à prévoir sur la période 2020-2050 est 2,4 fois plus élevé que les investissements déjà réalisés sur les équipements intégrés dans le périmètre de la DSP.

Le niveau d'émissions de GES, liés aux consommations d'électricité est contenu grâce aux COP très élevés des unités de production. L'indicateur relatif au taux de chaleur dissipée dans l'air extérieur via les TAR est plus significatif de l'impact environnemental de l'activité du réseau. Son évolution est maîtrisée en diversifiant les exutoires de chaleur dissipée.

D'importantes superficies seront mobilisées pour installer les centrales. Cependant, hormis les TAR à installer à l'air libre, ces installations pourront s'adapter, comme c'est déjà le cas dans des locaux en sous-sols, ou d'anciens parkings par exemple.

8. CONCLUSION

Le développement prévu pour le réseau de froid parisien est très ambitieux. Ce niveau d'ambition s'inscrit dans la continuité Plan Climat adopté en mars 2018 par la Ville de Paris et vise à diffuser le plus largement possible les bénéfices de ce réseau.

Le niveau d'ambition n'est pondéré que par la nécessité de garantir une évolution maîtrisée des coûts de production du froid et un niveau de tarif compétitif pour les abonnés. La clé de la réussite du fort développement du réseau de froid réside dans le maintien de la compétitivité du réseau, la valorisation de ses atouts et la garantie de l'acceptabilité des travaux nécessaires à son extension.

Le réseau de froid est un outil de résilience pour la Ville de Paris pour faire face aux bouleversements climatiques et aux pics de chaleur estivaux. Il a démontré sa capacité à répondre aux aléas climatiques (crues, canicules). Le développement futur du réseau doit renforcer cette capacité à répondre aux besoins quelles que soient les conditions climatiques. Le déploiement du réseau sur le territoire de la capitale permettra de renforcer l'effet d'inclusion et de solidarité entre abonnés.

9. ANNEXES

9.1 ANNEXE 1 : PLAN DU RÉSEAU DE FROID

9.2 ANNEXE 2 : PLAN PLURIANNUEL D'INVESTISSEMENT

9.3 ANNEXE 3 : NOTE SUR LA RÉSILIENCE DU RÉSEAU DE FROID PARISIEN

9.4 ANNEXE 4 : PLAN DE FINANCEMENT

Les coûts des consommations

Il s'agit essentiellement des coûts liés aux achats d'électricité et d'eau pour le fonctionnement des TAR et l'appoint sur le réseau. Le coût d'achat du MWh électrique est de l'ordre de 84 €/MWh. L'évolution des coûts de ce poste est liée à la hausse régulière des quantités d'énergie livrées et par conséquent des volumes achetés d'électricité et d'eau potable.

Les coûts d'entretien maintenance

Les frais de fonctionnement du réseau sont de l'ordre de 28 M€/an en 2016. On considère que 30% de ce montant constituent les charges fixes tandis que 70% évolueront proportionnellement à la puissance installée. Les coûts de fonctionnement augmenteront également en fonction de la croissance du réseau et du nombre de sous-stations. Les ratios retenus sont de 197 €/ml/an et 2 024 €/sous-station supplémentaire par an.

Les coûts de gros entretien renouvellement

Les hypothèses utilisées s'appuient sur le bilan financier 2010-2016. Le délégataire distingue les frais de gros entretien (frais de personnel) des frais de renouvellement (investissements). Les frais de renouvellement sont associés aux frais de développement (investissements de premier établissement). Dans le présent schéma directeur, la logique suivie est de présenter les frais de gros entretien et renouvellement d'une part et d'autre part l'amortissement des investissements pour les nouveaux équipements.

Les frais de gros entretien s'élèvent en moyenne à 970 k€/an. Les frais de renouvellement des centrales de production sont de l'ordre de 5 800 k€/an en moyenne et les frais de renouvellement du réseau de 570 k€/an.

Les frais de renouvellement du réseau augmenteront avec l'amortissement des longueurs supplémentaires de réseau et des postes abonnés. Une hypothèse de durée de vie de l'ordre de 40 ans est formulée pour évaluer l'amortissement de ces installations.

Les frais liés à l'amortissement des nouvelles installations de production sont ajoutés. La part des investissements faisant l'objet d'un amortissement sur une durée de vie évaluée à 30 ans est de 55%. La part des investissements avec un amortissement sur une durée de vie évaluée à 60 ans (GC notamment et systèmes nécessitant un faible entretien) est de 30%. Enfin, la part des investissements qui ne requièrent pas de renouvellement est de 15%.

L'amortissement des investissements

L'ensemble des investissements sont amortis sur la base des hypothèses de durée de vie prévisionnelle citées précédemment, avec un taux d'emprunt de 3%. En fonction des technologies mobilisées et des conditions de développement, les coûts d'investissements des centrales de production sont évalués entre 1 400 et 4 000 €/kW froid installé.

Le tableau suivant présente l'ensemble des coûts avec le rappel de la référence 2016 et la projection d'évolution à horizon 2050.

Bilan économique	2016	Scénario 4		
Coûts de fourniture d'énergie	Coûts	2020	2030	2050
Installations existantes	9 752	10 380	11 713	15 374
Eau Seine	6 274	6 775	8 139	8 139
TAR	2 834	3 023	2 967	6 609
Philharmonie (TAR adiabatique Paris Nord Est)	166	166	166	166
Hôtel de Ville (Eau non potable)	16	16	16	16
Stockage froid	16	0	24	44
PNE	445	400	400	400
Nouvelles installations		0	2 522	7 469
Eau Seine		0	2 122	3 111
Eau Non Potable		0	0	2520
Eaux usées		0	400	800
Géothermie		0	0	494
Eau potable		0	0	544
Consommations eau	1 210	1 206	1184	2638
Frais entretien/maintenance	28 000	28 101	36 680	53 192
Production	28 000	28 000	35 840	50 080
Distribution		101	840	3 112
Frais gros entretien renouvellement	7 333	7 838	15 848	34 454
Amortissement investissements	11 667	10 207	24 234	54 812
Production	4 667	3 733	13 445	27 810
Distribution	7 000	6 473	10 789	27 001
Total charges annuelles	57 962	57 732	92 181	167 938
Coût MWh	140	129	146	168
Coût abonné	90	83	87	78
Total charges annuelles corrigées				
Impact sur coût du froid			4,2%	20,3%
Evolution annuelle du coût du froid			0,3%	0,7%

9.5 ANNEXE 5 : 6 SCÉNARIOS ANALYSÉS ET COMPARÉS

9.6 ANNEXE 6 : COMPTES RENDUS DES ATELIERS DE
CONCERTATION

9.7 ANNEXE 7 : DÉFINITION ADEME DU FROID NÉCESSAIRE
(POLITIQUE FONDS CHALEUR)

9.8 ANNEXE 8 : TABLEAUX D'HYPOTHÈSES