

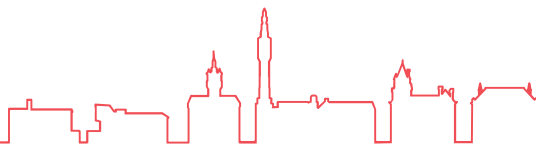


CHAPITRE 2

VOLET TECHNIQUE ET ENVIRONNEMENTAL



Concession pour le développement et la gestion du réseau de chaleur et de froid urbain intercommunal - Mémoire d'Offre finale - Janvier 2025



“ Un réseau performant et résilient tourné vers l’innovation.

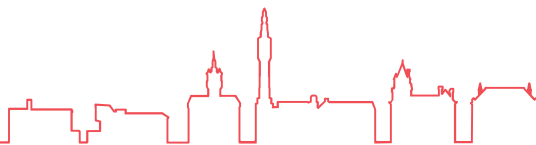
”

Le grand réseau de demain proposé dans notre offre est un réseau qui capitalise sur son histoire et ses forces. Il se renouvelle et innove avec l’aide des nouvelles technologies disponibles. Cette complémentarité a pour objectif d’apporter un **confort sans faille** aux abonnés et les **meilleures performances possibles**.

Ce nouvel ensemble a été conceptualisé pour apporter aux abonnés le juste besoin d’énergie. Plusieurs schémas de sous-stations ont été standardisés et adaptés à chaque situation. Des audits spécifiques et de conseils clients orientés sur la **sobriété énergétique** seront réalisés dès le début de la concession.

Les **technologies du numérique** seront pleinement exploitées pour obtenir les meilleurs performances possibles en terme de rendement de distribution

D’importants **moyens de contournement ou de substitution** seront déployés pour anticiper et accélérer la résilience en cas d’aléas. Le **monitoring du réseau** permettra une réactivité accrue dans l’identification et la localisation d’une perturbation.



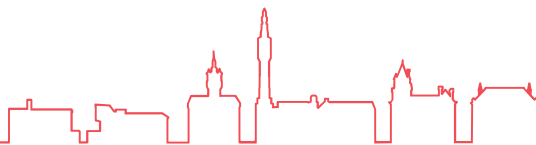
2.J. Note sur les caractéristiques et la performance des réseaux et sous-stations

Principales modifications de la note par rapport à l'offre initiale :

- Cette note n'a fait l'objet d'aucune modification notable.

Sommaire

1. UN RESEAU PERFORMANT	4
1.1. Conception et technologies efficaces	4
1.2. Pilotage intelligent des installations	25
1.3. Apport de l'intelligence artificielle	27
2. UN RESEAU RESILIENT	34
2.1. Un réseau conçu pour être résilient	34
2.2. Un réseau monitoré	43
2.3. Gestion des perturbations	49



1. UN RESEAU PERFORMANT

A partir des différents points de production, la chaleur produite est acheminée jusqu'aux abonnés au travers du réseau. Celui-ci permet de transporter la chaleur, dans le sous-sol du domaine public, jusqu'à chacune des sous-stations. Un système de pilotage, intégralement connecté, permet de superviser cet ensemble technique et de s'assurer, à chaque instant, de la fourniture à l'ensemble des abonnés.

1.1. CONCEPTION ET TECHNOLOGIES EFFICIENTES

1.1.1. LES CANALISATIONS

Le réseau de chaleur se définit par un ensemble de tuyauteries dites « de transport ».

La longueur du réseau existant est de 67 km, dont près de 30 km de canalisations en caniveau, le reste est enterré en sous-sol dans des canalisations pré-isolées.

Le réseau dit « en **caniveau** » correspond historiquement au réseau d'eau surchauffée qui structurait la fourniture de chaleur depuis les sites du mont de terre et des beaux-arts, dans le périmètre lillois.

Ce réseau a été déclassé en 2021, lors du basculement en basse température de l'intégralité du réseau en domaine public.

Ce réseau se compose de deux canalisations en acier pré-isolées à l'aide de laine de verre et d'un revêtement bitume. Cet ensemble est renfermé dans un sarcophage béton appelé caniveau. Cette technologie de réseau était fortement plébiscitée pour des réseaux **haute température** (>120°C).

Des **diagnostics réguliers** par inspection robotisée à l'intérieur des caniveaux nous ont permis de dresser un état des lieux fiable de l'existant. Celui-ci est identifié en bon état de conservation. Plusieurs **mesures d'épaisseurs** révèlent que les tuyauteries ont conservé leurs caractéristiques technico-mécaniques d'origine.

Les quelques portions soumises à des dégradations extérieures nécessitent un renouvellement, elles sont décrites dans [la note 2K - paragraphe MRE](#).

La partie « en **pré-isolée** » correspond à des portions de réseau **basse température** (<110°C) enterrées.

A l'origine, ces portions se trouvaient en aval du réseau en eau surchauffée. Elles sont maintenant directement reliées aux tronçons en caniveau.

Les tuyauteries dites en pré-isolé sont en acier P235GH, enrobées par un **isolant** de type polyuréthane et d'une enveloppe PEHD qui permet une étanchéité parfaite entre l'environnement extérieur et la conduite.

Ainsi, ces tuyauteries peuvent être directement enterrées sans protection supplémentaire. C'est actuellement la technologie de transport d'eau chaude la plus répandue sur les réseaux de chaleur basse température. Elle représente **le meilleur optimum technique et économique**.

La pose de ces tuyauteries directement enterrées dans le sous-sol permet des cadences de chantier plus rapides et de minimiser les coûts.

Cette technique permet également de garantir une isolation thermique **très haute performance** avec une conduction thermique **inférieure à 0,06 W/(m.K)**, comme recommandé par l'ADEME dans sa fiche technique RES CH 106.

Pour le développement du réseau dans son nouveau périmètre et pour l'ensemble des raccordements futurs, Dalkia fait le choix de poursuivre avec cette technologie du réseau pré-isolé.

L'accent sera mis sur la qualité d'isolation thermique de ces canalisations afin de **maximiser les rendements de distribution**.

Pour cela, Dalkia s'engage à sélectionner **les meilleures classes d'isolation disponibles**.

(Voir Note 2A paragraphe travaux réseaux - Note relative à la cohérence de l'ensemble technique)

90%

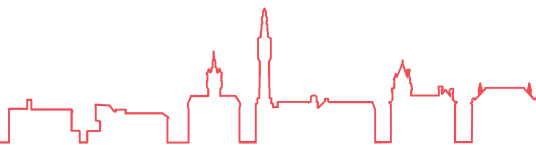
LE CHIFFRE CLÉ

Valorisation maximale de la chaleur produite, avec un rendement de distribution supérieur à 90%.

< 50 W/ml

LE CHIFFRE CLÉ

L'objectif est de limiter les déperditions en diminuant les pertes sous ce seuil.



1.1.2. DES SOUS-STATIONS ENGAGÉES DANS LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

Une **sous-station** est un local technique abritant les équipements qui assurent le **transfert de chaleur** du réseau de chauffage urbain vers le circuit de chauffage -et éventuellement d'eau chaude sanitaire- de chaque abonné.

Concrètement, ce lieu d'échange de chaleur permet de réchauffer le fluide secondaire à la température de consigne. Le transfert de chaleur se traduit alors par l'abaissement de la température du fluide primaire.

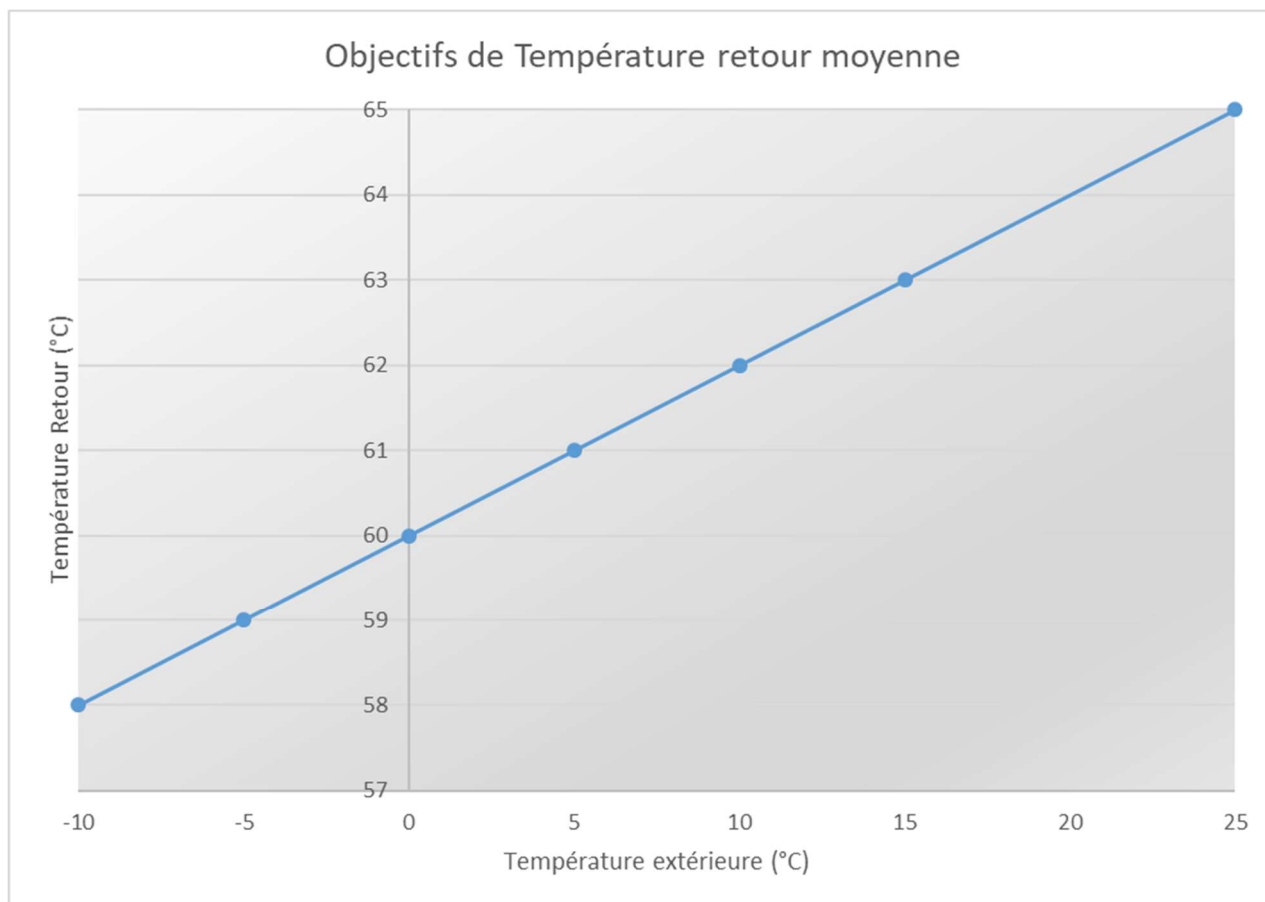
“ Dalkia propose des schémas adaptés aux spécificités des abonnés dans la recherche de baisse des régimes des températures ”

Pour optimiser l'échange, une température de retour coté secondaire la plus basse possible garantira ainsi une température de retour primaire optimisée.

Effectivement pour le réseau de chaleur, plus les températures de fonctionnement sont basses, plus les performances du réseau s'améliorent :

- Les pertes thermiques liées au transport du fluide sont réduites.
- La baisse de la température de retour augmente également le delta de température sur le réseau, ce qui accroît de fait sa capacité de transport.
- Meilleurs rendements sur les productions. Le gain sur les machines thermodynamiques est directement lié à la température de retour. ([Voir note 2A - Note relative à la cohérence de l'ensemble technique](#)).
- Optimisation des capacités de stockage thermique. ([Voir note 2A - Note relative à la cohérence de l'ensemble technique](#)).

Les simulations réalisées en intégrant les différents leviers d'actions de sobriété énergétique auprès des abonnés convergent vers un régime de température retour ci-dessous, fonction de la température extérieure.



Pour réussir à atteindre ces régimes de températures, il est primordial d'exploiter tous les leviers potentiels pour améliorer le transfert de chaleur. Plusieurs moyens sont identifiés suivant cet ordre de priorité :

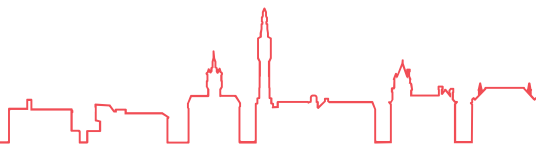
- Suppression des boucles d'eau coté sur la distribution secondaire (par exemple les bouteilles de mélange)
- Séparation et hiérarchisation des typologies de circuits secondaires
- Maintien de la qualité d'eau (pérennité de la capacité d'échange)
- Schémas d'interface spécifiques adaptés à la configuration de chaque abonné

Chaque abonné a ses **spécificités**.

Pour que l'échange énergétique au niveau de la sous-station soit le plus pertinent possible, il faut que cette interface soit **adaptée** aux particularités de l'abonné.

Pour cela, plusieurs schémas sont proposés et adaptables, afin de raccorder un abonné, avec un accompagnement au plus près de ses besoins.

Lors du raccordement des futurs abonnés, une analyse au cas par cas permettra de proposer un interfaçage optimisé. Pour les abonnés existants, les installations feront l'objet d'une étude des travaux nécessaires pour leur optimisation ([voir 1.1.3](#)).



Plusieurs critères pour définir la solution la plus adaptée :

- la **puissance requise** du bâtiment,
- la **surface du local** destiné à la sous-station,
- la configuration des **émetteurs de chauffage**,
- le **besoin en eau chaude sanitaire (ECS)** du bâtiment

Tout d'abord, il est judicieux de proposer des échangeurs étagés selon les différences de **régimes de température au secondaire**, pour des bâtiments d'une puissance supérieure à 1000kW.

L'objectif est de valoriser pleinement la chaleur échangée entre les circuits. Cela consiste à installer plusieurs échangeurs et séparer les circuits secondaires, classés suivant leur régime de température. Ces échangeurs travaillent en **cascade** pour valoriser la **chaleur résiduelle** du circuit le plus contraignant en terme de régime de température ([Voir schéma SR2 et 3](#)).

L'abonné bénéficie ainsi d'une résilience au niveau de son point de livraison. Le concessionnaire améliore la qualité de la distribution d'énergie :

- augmentation de la capacité de transport,
- pleine valorisation des énergies renouvelables et de récupération,
- maîtrise des consommations électriques,
- amélioration du rendement de distribution énergétique.

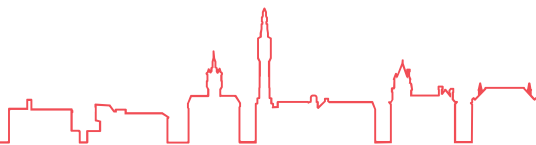
La **surface** disponible en sous-station détermine l'éventail des possibilités. Ainsi, si la place allouée à la sous-station est réduite : un échangeur unique s'avérera potentiellement la meilleure solution ([Voir schéma 1](#)).

Chaque bâtiment dispose de sa propre **configuration des émetteurs**. Un audit spécifique permettra de trouver la solution la plus adaptée au transfert d'énergie. L'objectif est de **hiérarchiser les différents** circuits, en fonction de leur régime de température.

A titre d'exemple, un circuit en plancher chauffant offre la possibilité d'une loi de chauffe moins élevée et de retours plus froids qu'un circuit de Centrales de Traitement d'Air.

Le dernier critère de sélection est la présence et la proportion du **besoin ECS du bâtiment**. En effet, le régime de température du circuit d'eau chaude sanitaire est imposé réglementairement pour limiter les risques de légionnelle, et, de ce fait, plus chaud. De par ce régime élevé, il rentre dans la catégorie des circuits ayant une **énergie résiduelle** potentielle à valoriser.

Suivant la proportion, il peut être opportun de placer cette production ECS directement sur l'échangeur primaire pour optimiser les pincements d'échangeurs. Il sera possible d'adjoindre un module eau chaude sanitaire conçu et dédiée à l'abaissement des températures de retour.



Ces différents schémas permettent une performance énergétique accrue. Ils sont un des principaux leviers d'actions pour garantir les températures de retour réseaux les plus basses possibles. Ils font partie des solutions techniques de promotions de la sobriété énergétique du réseau. Ils s'inscrivent et s'intègrent parfaitement avec la tarification incitative proposée en [Note 3B – Note relative à la politique commerciale et à la relation à l'abonné.](#)

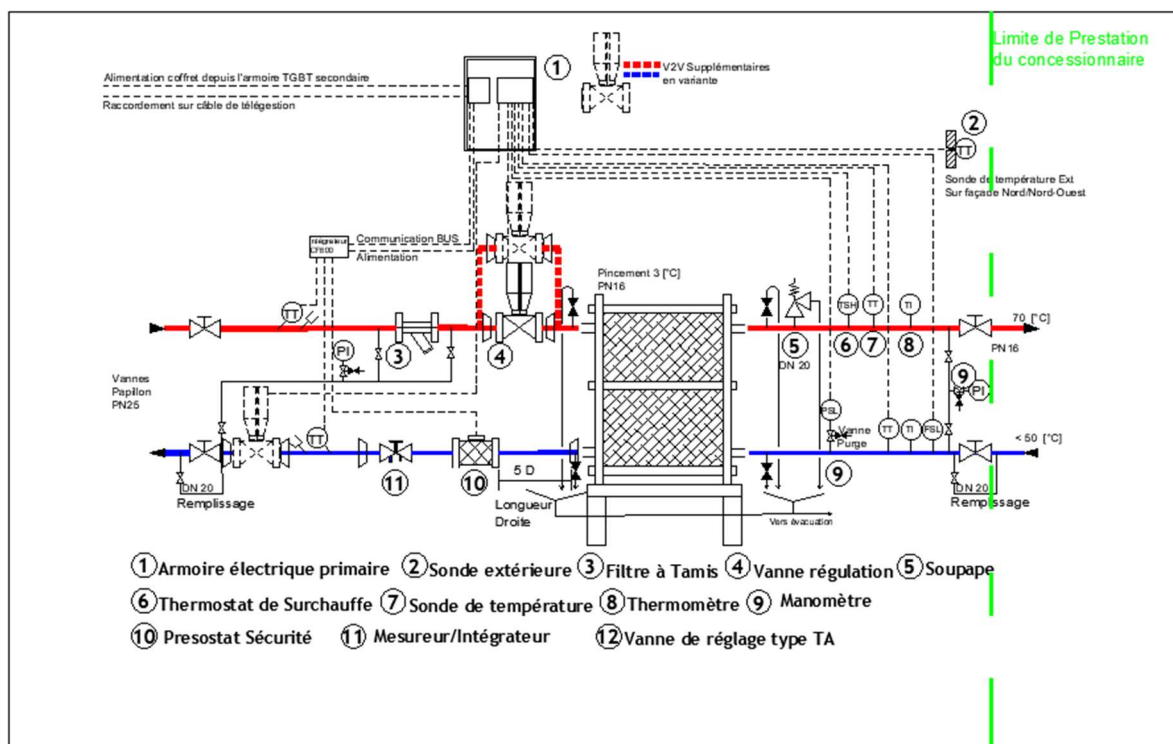
Nous avons créé un **guide des préconisations techniques au bon raccordement des installations** à usage des promoteurs, bureaux d'études, installateurs etc... Ce guide a été adapté aux ambitions de la nouvelles concession, pour optimiser **la performance énergétique** de chaque nouveau raccordement. Il fait parti du pack abonné, remis à chaque nouveau raccordement.

Il est complété par un **guide des préconisations techniques pour la bonne exploitation et la sobriété énergétique des abonnés** afin de les accompagner à la réduction de leurs consommations et à un meilleur pilotage des installations ([cf. Annexe 8 de la note 3.B](#)).

Tous ces supports seront également utilisés et relayés par le **réfèrent Energie**. Il sera le premier ambassadeur de la sobriété énergétique auprès des abonnés.

Selon ces critères, plusieurs schémas d'interfaçage primaire-secondaire sont proposés :

■ Schéma un seul échangeur



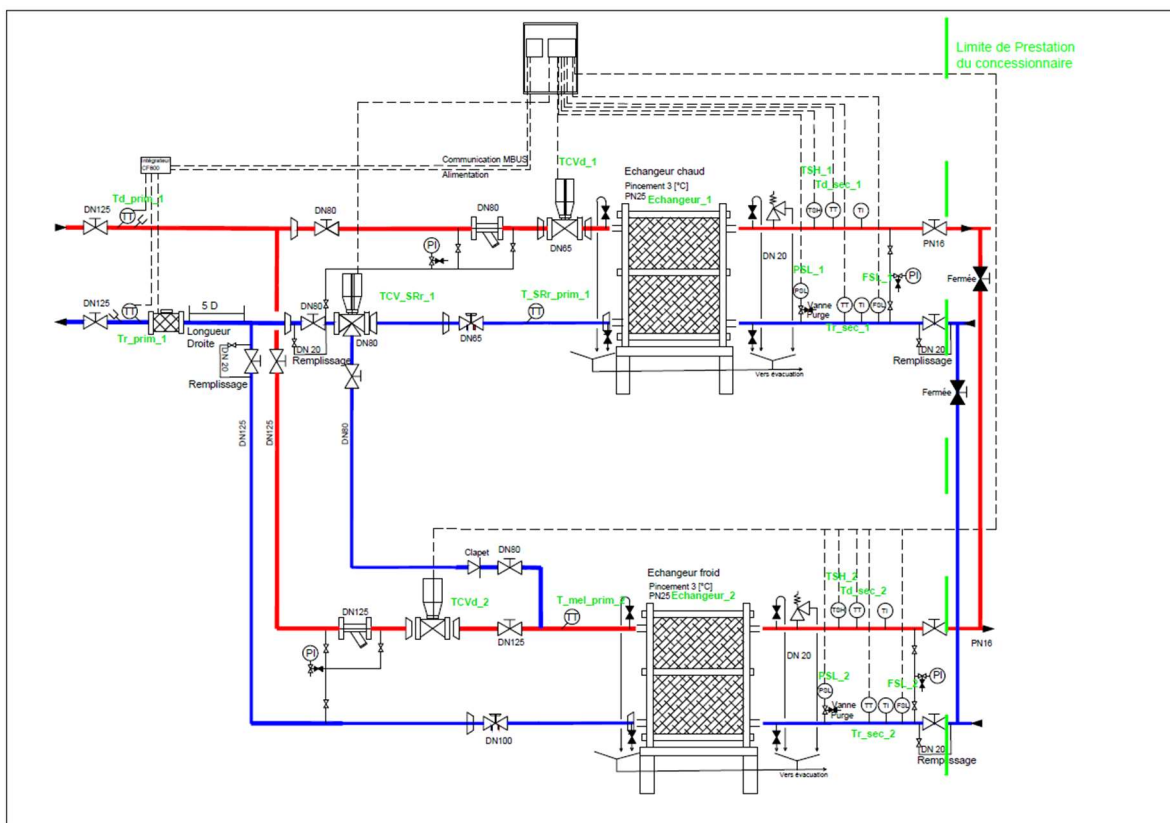
Caractéristiques de fonctionnement

Schéma 1 échangeur	Partie Primaire	Secondaire
Température départ	80 à 105°C maxi	60 à 80°C maxi
Température Retour	60 °C maxi	< 57 °C
Pertes de Charges	3m CE	< 3m CE
Pression maximale	16 bars	16 bars

Ce schéma est prévu pour les sous-stations de **faible puissance**. Il pourra également servir dans le cas où les **régimes d'eau des distributions secondaires sont proches**.

Il s'adresse principalement aux futurs abonnés tertiaires.

■ Schéma avec deux échangeurs dit en « sous-refroidissement »



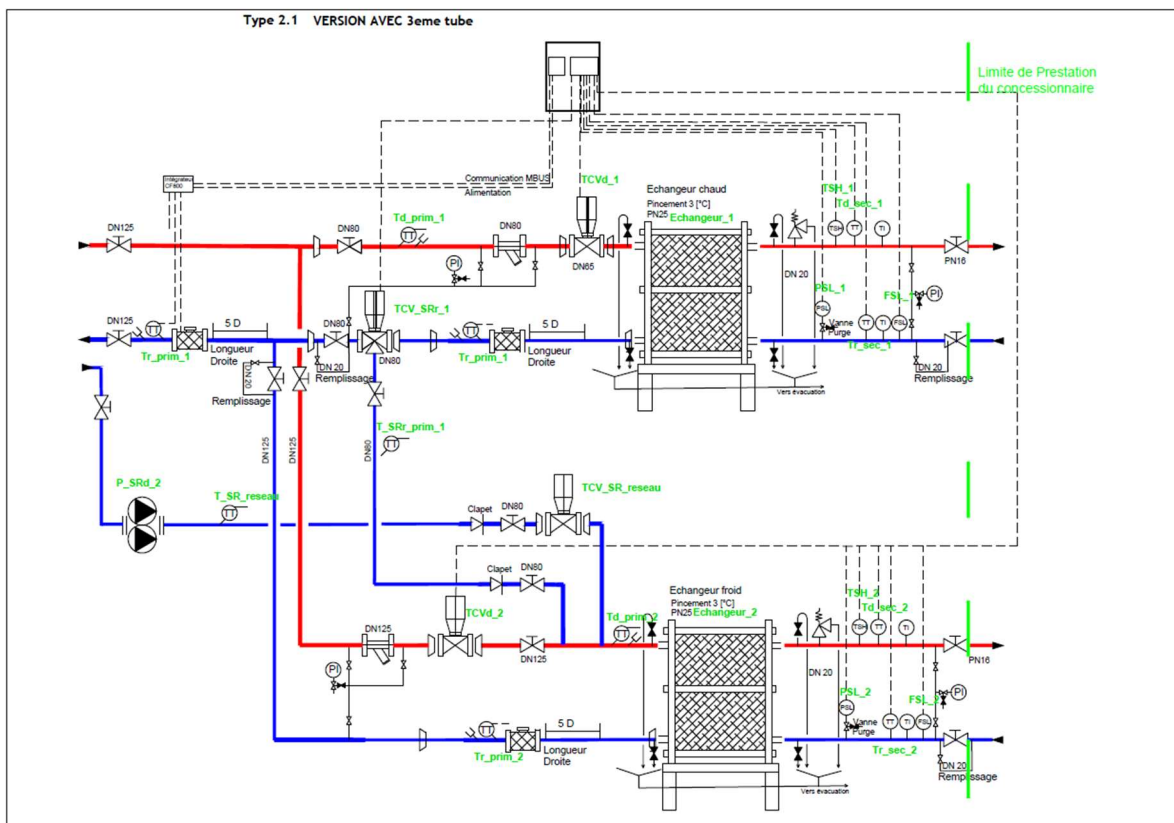
Caractéristiques de fonctionnement

Schéma 2 échangeurs « SR »	Partie Primaire	Secondaire échangeur Chaud	Secondaire échangeur Froid
Température départ	80 à 105°C maxi	70 à 80°C maxi	< 60°C
Température Retour	<50 °C	< 57 °C	<45°C
Pertes de Charges	3m CE	< 3m CE	< 3m CE
Pression maximale	16 bars	16 bars	16 bars

Ce schéma est proposé dès lors qu'une différenciation des régimes de températures secondaires est jugée intéressante. L'abonné bénéficiera d'une réelle **résilience** de la fourniture d'énergie, tout en **régulant de manière indépendante** ses différents circuits.

Le premier échangeur, appelé « **échangeur chaud** », sera alloué aux circuits ayant un régime de température plus élevé, comme l'ECS et les centrales de traitement d'air. Le second échangeur, appelé « **échangeur froid** », récupérera toute la chaleur résiduelle du premier échangeur, pour la transférer aux circuits ayant un régime de température plus froid (comme des distributions par radiateurs ou planchers chauffants). Ce schéma s'adresse principalement aux futurs abonnés des secteurs habitat et santé.

- Schéma avec deux échangeurs dit en « sous-refroidissement » + valorisation des retours du réseau primaire



Caractéristiques de fonctionnement

Ce schéma reprend les caractéristiques du schéma deux échangeurs dit en « sous-refroidissement », avec la particularité de **valoriser le retour réseau global**. Il est proposé suivant le positionnement de l'abonné dans l'architecture du réseau et des besoins de l'abonné.

Le retour réseau global peut être exploité s'il est suffisant en volume et en température, pour assurer à minima certains besoins de l'abonné.

Ce schéma s'adresse principalement aux futurs abonnés des secteurs habitat et santé.

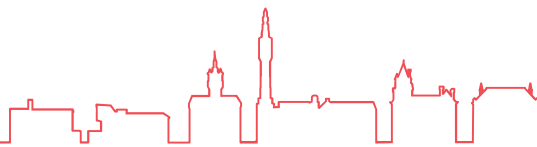


Schéma échangeurs « SR » + 3 ^e tube	2	Partie Primaire échangeur Chaud	Secondaire échangeur Chaud	Partie Primaire échangeur Froid	Secondaire échangeur Froid
Température départ		80 à 105°C maxi	70 à 80°C maxi	60°C	< 60°C
Température Retour		<50 °C	< 57 °C	40°C	< 37°C
Pertes de Charges		3m CE	< 3m CE	3m CE	< 3m CE
Pression maximale		16 bars	16 bars	16 bars	16 bars

Enfin, si le besoin ECS est suffisant, le module d'eau chaude sanitaire est incontestablement un des **leviers majeurs** pour contribuer à la **baisse de température** des retours du site.

Jusqu'à présent, les installations prenaient rarement en compte ces aménagements techniques, en raison du coût du module ECS plus important, de par la taille de l'échangeur et la complexité de la régulation. La sensibilité et les **objectifs environnementaux** ont changé nos orientations.

Ainsi, ce type d'aménagement technique apportera de fortes améliorations :

- baisse des pertes réseau induisant des énergies primaires évitées,
- diminution des émissions polluantes générées par la production de chaleur en pointe
- diminution des CO₂ émis en pointe
- baisse des consommations électriques de pompage par augmentation du delta T et donc permettant un transfert d'énergie optimum

La réglementation impose une température maximale d'eau chaude sanitaire à produire de 55°C. En prenant en compte le pincement de l'échangeur et la législation sur l'ECS de façon conservatrice, cela conduit à une température primaire sur le module de 65°C. La température d'entrée de l'eau sanitaire sur l'échangeur est de l'ordre de 10°C à 15°C. Un échangeur ECS sélectionné avec une surface importante permettra d'abaisser fortement les retours vers le réseau.

C'est pourquoi, un dernier schéma peut être proposé. Le module ECS est alors directement alimenté par le réseau primaire.

Ce schéma s'adresse principalement aux futurs abonnés des secteurs santé et habitat avec une proportion ECS suffisante.

■ Schéma deux échangeurs avec ECS

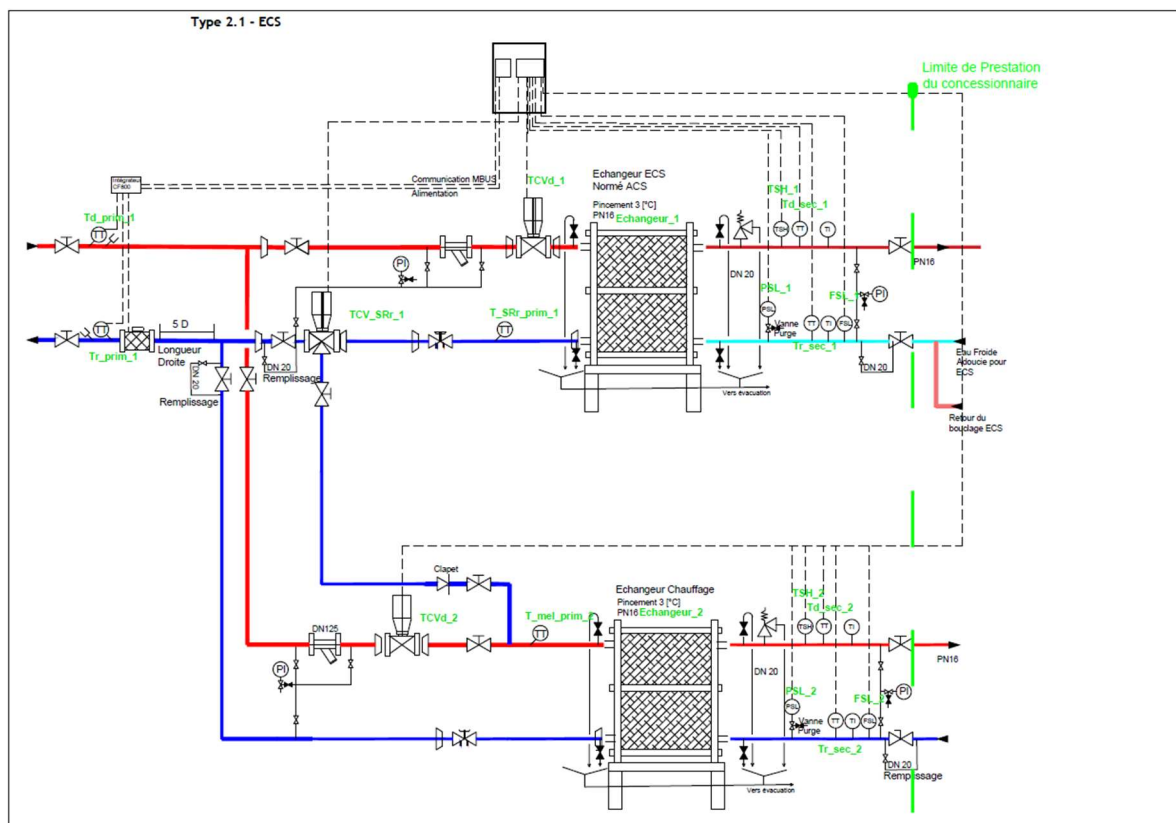


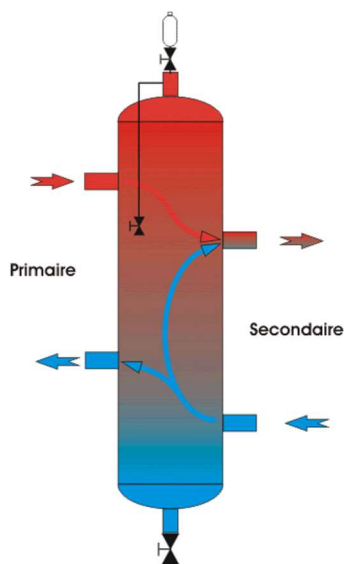
Schéma 4 2 échangeurs avec ECS au primaire	Partie Primaire	Secondaire échangeur Chaud	Secondaire échangeur ECS
Température départ	80 à 105°C maxi	70 80°C maxi	>55°C
Température Retour	<50 °C	< 57 °C	<15°C
Pertes de Charges	3m CE	< 3m CE	< 3m CE
Pression maximale	16 bars	16 bars	16 bars

Ces schémas se veulent **flexibles et adaptables aux particularités** de chaque bâtiment. Toujours dans la recherche d'un optimum de transfert de chaleur, Dalkia proposera, en plus des schémas standards, des configurations plus spécifiques. Une veille technologique sera assurée tout au long de la concession afin de garantir **les meilleures techniques** disponibles à nos abonnés.

Ces schémas du plus simple au plus complexe, sont tous **compatibles avec les potentielles options de tarification proposées à l'abonné** décrite en [Note 3B](#). Les abonnés auront par exemple la possibilité de choisir l'option tarifaire Sobriété pour lisser leurs besoins de puissance. Les démarches de suivi et de régulation sont détaillées dans le paragraphe 1.2.1.

1.1.3. GESTION DES BOUTEILLES DE MELANGES

Une bouteille de mélange est un équipement hydraulique permettant de dissocier les débits des circuits amont et aval à cet équipement.



100% des désordres liés aux bouteilles de mélange supprimées en 2030

LE CHIFFRE CLÉ

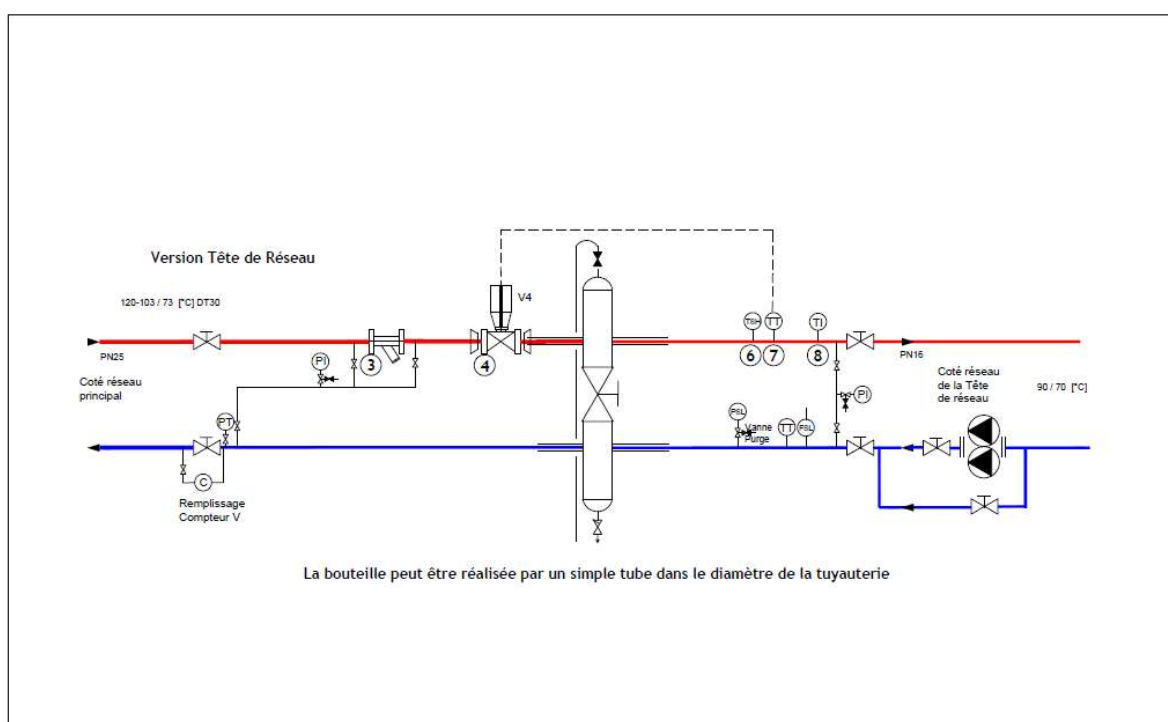
Dalkia s'engage à supprimer ou réguler toutes les bouteilles d'ici 2030.

Dans une installation de chauffage, ce matériel est positionné entre le générateur de chaleur et les circuits de distribution. Ainsi, dans les installations centralisées de chaque bâtiment, il est courant de retrouver cet équipement.

L'inconvénient majeur réside dans le fait que les flux d'eau ne sont pas régulés au sein de cette bouteille. Cela génère des boucles d'eau continues. Par mélange, ce bouclage d'eau augmente la température retour du circuit, en amont de la bouteille.

Il faut distinguer les bouteilles présentes sur le réseau primaire installées en tête de réseau de celles qui se trouvent sur le circuit de distribution secondaire de l'abonné.

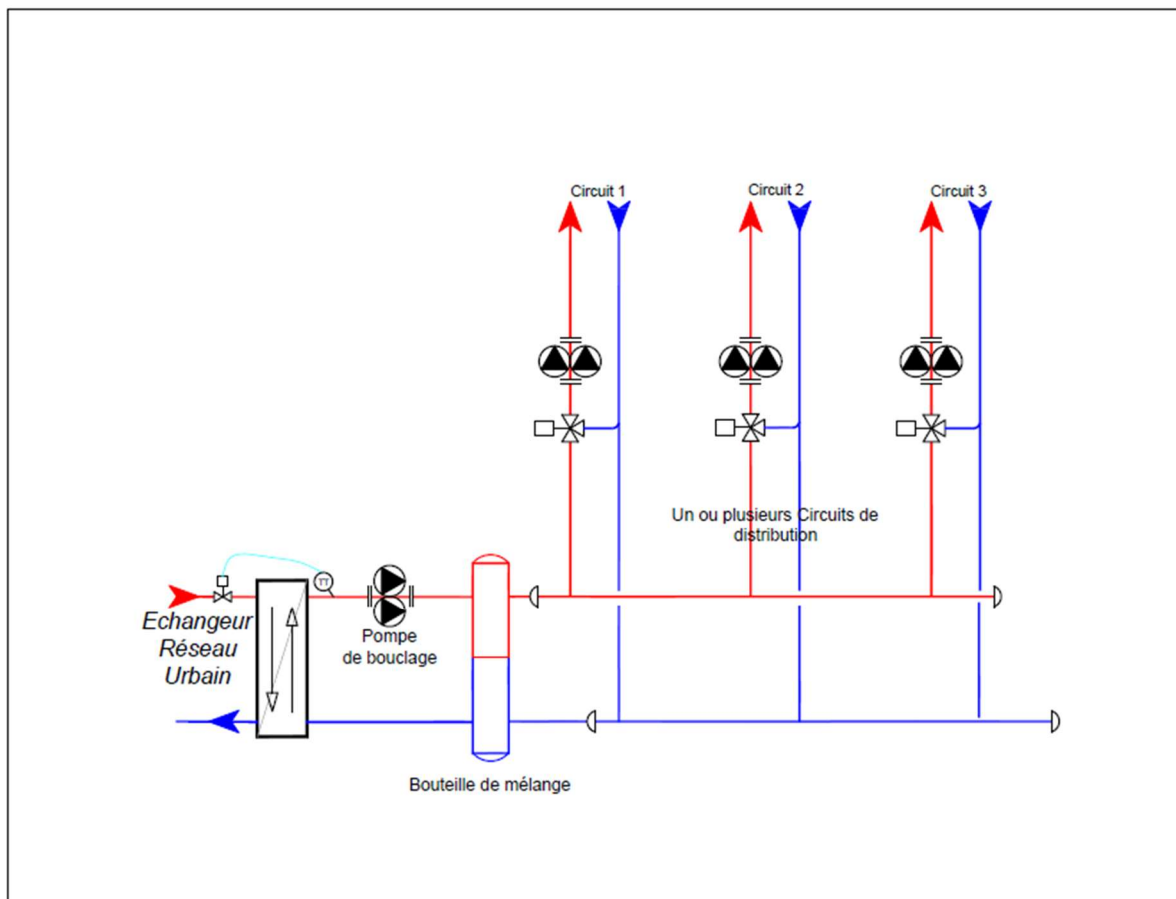
- Sur le **réseau primaire existant** : la bouteille s'intègre comme indiqué dans le schéma suivant :



Ces bouteilles ont été installées en lieu et place des échangeurs eau surchauffée **pour réduire à zéro le pincement** entre les deux circuits. Contrairement à une simple bouteille de mélange, il n'y a pas de problématique de bouclage d'eau car la gestion **des débits est auto-pilotée** en continue par la vanne deux voies située en amont de la bouteille. Ainsi, il y a une parfaite **adéquation entre le débit primaire et le besoin secondaire**.

Ces bouteilles, dans le cas présent, contribuent à l'efficacité énergétique du réseau. Elles ne sont donc pas à remplacer.

- Sur **les circuits de distribution secondaire**, des bouteilles de mélange existent . Elles se situent entre l'échangeur primaire et les circuits de distribution secondaires.



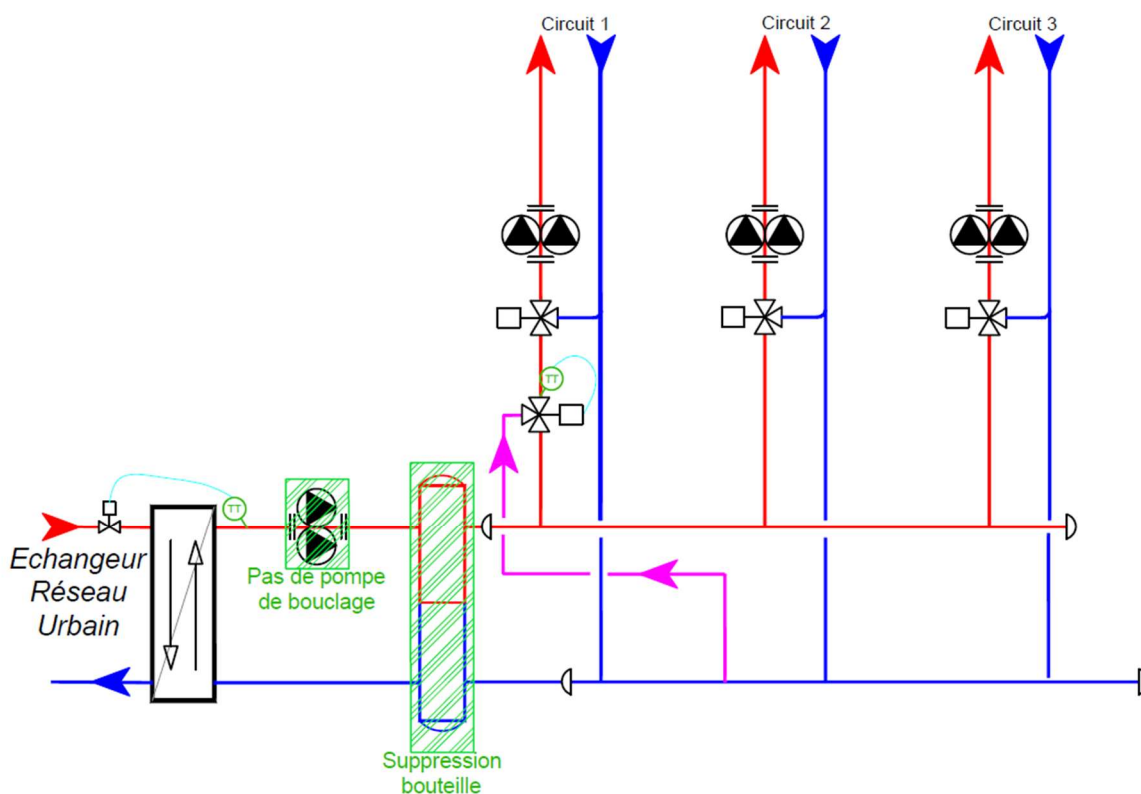
Exemple de configuration à optimiser

Ces bouteilles génèrent des boucles d'eau qui réchauffent la température de retour secondaire aux bornes de l'échangeur. La température retour primaire étant directement liée à celle du retour secondaire, **le bouclage d'eau liée à la bouteille de mélange ne permet pas de prendre l'ensemble les calories issues du réseau primaire.**

Lors d'un raccordement, il était courant d'installer l'échangeur à la place du générateur local, sans modification de la distribution existante. Pour optimiser l'interface avec un réseau de chaleur, et **épuiser intégralement la chaleur fournie** par le primaire, la **suppression ou la régulation de ces bouteilles** s'avère être un levier incontournable.

Dalkia a ainsi réalisé un inventaire sur les réseaux existants, afin d'identifier la présence de ce type de bouteille. Sur les 390 sous-stations des réseaux de Lille et Wattignies, **120 sites** présentent cette typologie de fonctionnement.

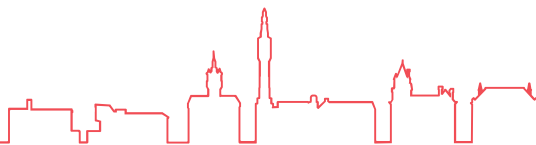
Exemple de sous-station optimisée



Dans le cadre de la nouvelle concession, **nous proposons de réaliser les travaux d'optimisation en collaboration avec les abonnés**, sur les sous-stations concernées.

Cette démarche se déroule en quatre parties :

- **Un audit de l'existant :**
 - Etat des lieux de l'installation existante
 - Etablissement d'un schéma de fonctionnement de l'installation
 - Catégorisation des régimes de fonctionnement de chaque circuit
- **Une étude d'optimisation :**
 - Identification des points de bouclages
 - Suppression ou régulation des bouteilles de mélange
 - Proposition d'un schéma projet de l'installation optimisée
 - Présentation et validation avec l'abonné des conditions techniques et tarifaires y compris valorisation des CEE pour limiter l'impact coût des travaux
- **Réalisation des travaux :**
 - Planification
 - Mise en place des solutions d'optimisations proposées
 - Reception avec l'abonné de l'installation



■ **Accompagnement de l'abonné :**

- Suivi du dossier d'obtention des subventions
- Formation à l'exploitation de sa nouvelle installation (pédagogie énergétique)
- Sensibilisation à la sobriété énergétique
- Accompagnement dans l'amélioration continue des performances

Dalkia s'engage en collaboration avec les abonnés **à supprimer ou à réguler toutes les bouteilles** sur le réseau existant avec un **cadencement de réalisation ambitieux** de moins de **5 années**.

Plan de progression de l'optimisation des bouteilles de mélange

Année	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Abonnés optimisables	120	90	60	40	20	0
Nb abonnés - accompagnés		30	30	20	20	20

Cette démarche utilisée sur les sous-stations existantes sera également proposée pour les nouveaux raccordements. De cette manière, le raccordement au réseau de chaleur permettra à la fois de bénéficier **d'une chaleur vertueuse**, tout en **optimisant ses circuits de distribution**.

1.1.4. L'ACCOMPAGNEMENT SOBRIÉTÉ

Dans l'objectif d'améliorer les performances du réseau et d'aider nos abonnés à réduire leurs consommations énergétiques, nous accompagnerons les abonnés vers la sobriété. Pour cela, nous proposons d'aider les abonnés à valoriser **l'ensemble des CEE** possibles sur les travaux d'amélioration des secondaires, en mettant à disposition les moyens nécessaires (conseils, montage des dossiers, ...). Ces aides prévisionnelles seront de précieux leviers pour inciter les abonnés à réaliser les travaux sur leurs secondaires.

Cet accompagnement sobriété complet est un **outil efficace** pour inciter les abonnés actuels et futurs à effectuer ces travaux d'amélioration.

Des audits seront réalisés pour supprimer les bouteilles de mélange des abonnés actuels ainsi que pour **tous les nouveaux raccordements**. Nous prévoyons ainsi d'auditer **l'intégralité des abonnés dans les 10 premières années** de la concession.

Afin de faire de l'amélioration continue, à la fin de cette première décennie, nous prévoyons d'effectuer un deuxième audit chez chaque abonné pour proposer des améliorations et aller plus loin dans la réduction des consommations.

Sur la durée de la concession, deux audits seront donc réalisés chez chaque abonné.

Cas d'un exemple concret :

Un immeuble A de 168 logements déjà raccordé bénéficie d'un audit car il a été identifié dans les sites avec bouteilles de mélange.

Les travaux d'optimisation proposés sont les suivants :

- Suppression de la bouteille de mélange,
- Piquage retour de l'ECS sur le départ chauffage (V3V avec priorité ECS),
- Installation d'une pompe à débit variable sur le circuit chauffage, avec régulation du débit en fonction du delta P,
- Contrôle et optimisation de l'équilibrage des circuits secondaires.

Les fiches CEE valorisables sont :

- BAR-SE-107 / Abaissement de la température de retour vers un réseau de chaleur
- BAR-SE-104 / Réglage des organes d'équilibrage d'une installation de chauffage à eau chaude

**+ de 100
audits par
an**

LE CHIFFRE CLÉ

Soit 120 audits pour supprimer les bouteilles de mélange et 520 audits pour les nouveaux raccordements réalisés d'ici fin 2031.

	Puissance totale (kW)	Puissance ECS (kW)	Budget travaux	Montant CEE	Reste à charge pour l'abonné
Immeuble A	800	250	30 000€	22 982€*	7 017,6€

*Valorisation à 6€ du MWh Cumac

Suite aux travaux, l'abonné bénéficiera d'une **mise en service** accompagnée d'explications pédagogiques sur le fonctionnement de son installation.

Dalkia s'engage à intervenir pour toute demande, suite à une anomalie sur les travaux effectués, dans les **6 mois** après la mise en service. Cela permet également d'être garant des performances que l'abonné pourra suivre dans son Espace Client.

Ces actions de sobriété contribuent positivement à l'amélioration continue et vont ainsi à la fois optimiser :

- le réseau de chaleur avec plus d'EnR&R et moins de pompage ;
- la facture des abonnés via les tarifications incitatives que sont :
 - le terme R1' proportionnel au m3 d'eau véhiculé dans leur sous-station et donc très sensible à la température retour.
 - le challenge des températures retour permettant au 10 abonnés ayant le plus diminué leur température retour d'une année sur l'autre de recevoir un avoir sur facture. Ce dispositif est plus amplement décrit à la Note 3.B.

1.1.5. L'ACCOMPAGNEMENT QUALITE D'EAU

Pour garantir les performances de l'interface entre le primaire et le secondaire, une bonne qualité d'eau de part et d'autre est indispensable. En effet les échangeurs de par leur conception sont un lieu d'accumulation des particules contenu dans les fluides. Ce peut être des particules de calcaire (du tartre) ou/et des particules ferriques ou minérales (des boues). Ces différentes particules se précipitent au contact des surfaces les plus chaudes du circuit. L'échangeur est ainsi fortement exposé à ces dépôts, qui réduisent la surface d'échange.

Coté réseau de chaleur, le concessionnaire a la maîtrise globale du traitement d'eau. Un **suivi au quotidien couplé à des analyses régulières** permettent d'obtenir une qualité d'eau optimale qui garantira la pérennité de l'ensemble des équipements primaires, dont les échangeurs des sous stations.

Il est de la responsabilité de l'abonné d'assurer la qualité d'eau requise pour la préservation des échangeurs. Pour cela, une **fiche de préconisations sur le traitement d'eau** sera remise dans le carnet de l'abonné, (décrit [en Note 3B - Note relative à la relation à l'abonné et à la politique commerciale](#)). Les principales caractéristiques sont détaillées dans le tableau ci-dessous :

Paramètre qualité d'eau	Unité	Valeur cible	Min	Max
TH	°F	< 2	0	3
pH	-	9,5	9	10
TA	°F	5	1	15



Mo6+	mg/L	170	160	180
TTA	mg/L	12	10	15
Fer	ppb	< 100	0	2000
Cuivre	ppb	< 5	0	50

Une éventuelle dérive sur la qualité d'eau se traduit très rapidement par des performances d'échange thermique dégradées. Un suivi spécifique de la qualité d'échange permet d'être alerté en amont, et ainsi de prévenir l'abonné. Cela permet de **manière proactive de conseiller l'abonné** sur les dérives de sa qualité d'eau et d'anticiper la maintenance nécessaire sur l'échangeur pour qu'il puisse retrouver ses performances.

1.1.6. LES EQUIPEMENTS SELECTIONNES POUR LEUR PERFORMANCE

L'ensemble des équipements installés en sous-stations est **standardisé**, ce depuis plusieurs années à l'échelle des réseaux de la MEL. Les standards sont établis par gammes de puissance, basées sur de nombreux **retours d'expérience** à l'échelle de près de **400 Réseaux de Chauffage Urbains** (RCU) exploités par Dalkia.

Ces standards garantissent un matériel **fiable, éprouvé et performant techniquement et économiquement**. Une gamme unifiée permet en outre une véritable tenue de stock d'urgence sur chaque équipement.

Ce stock rend possible une grande réactivité dans nos dépannages et un maintien de la **continuité de service** pour nos abonnés ([Voir 2.3 Résilience réseau](#)).

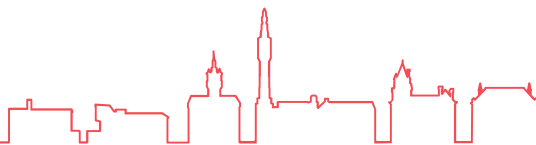
Tous ces standards ont déjà été installés et ont **fait leur preuve**, notamment lors de la bascule du réseau de chauffage urbain de haute température vers la basse température en 2020-2021. Lors de cette période, **212 échangeurs** ont été substitués en moins de 6 mois, sans impacter la disponibilité du réseau de chauffage urbain lillois.

Plusieurs équipements sont essentiels à la performance globale de la sous-station :

- les échangeurs,
- le système de régulation,
- l'isolation thermique.

Tout d'abord, les standards des **échangeurs** ont été définis dans une optique de **haute performance**, à tout niveau :

- structurel,
- logistique,
- économique,
- énergétique.



Sur le plan **structurel**, les échangeurs sont déterminés pour être en parfaite adéquation technique et réglementaire avec les conditions de service des réseaux de chauffage urbain de la MEL. Pour résister à la pression de service du réseau, tous les échangeurs ont une **pression** nominale de 16 bars et peuvent soutenir des **températures** d'eau allant jusqu'à 110°C.

D'autre part, les plaques d'échangeurs sont constituées **d'acier inoxydable en sur-épaisseur** (inox 304) pour garantir une **pérénité** des installations et éviter tout risque de fuite vers les circuits secondaires.

De plus, les « **bâtis** » des échangeurs, qui ont pour rôle le supportage du faisceau de plaques d'échanges ainsi que les interfaces d'entrées/sorties des réseaux primaire et secondaire, **sont concentrés** sur trois gabarits pour un éventail de puissance allant de 100 kW à 2000 kW.

Cela rend possible une grande réactivité de **dépannage** (seules les plaques sont à remplacer) et une **flexibilité** quant à l'évolution du besoin en puissance de l'abonné.

Sur un plan **logistique**, ces standards garantissent une grande réactivité d'approvisionnement. Ces échangeurs sont **fabriqués en France**, réduisant l'impact environnemental lié au transport.

La massification de nos besoins, dans des gammes de puissance bien spécifiques et identifiées permet à nos services achats d'obtenir une performance **économique élevée**. Cette méthode nous permet également de sélectionner des partenaires de confiance engagés contractuellement sur du long terme.

Enfin, sur le plan **énergétique**, les échangeurs ont été sélectionnés avec de **très faibles pincements** et **pertes de charges**.

Le pincement de l'échangeur correspond à l'écart de température entre les retours du circuit primaire et du circuit secondaire. Il impacte donc directement les températures moyennes du réseau de chaleur urbain.

Un **pincement réduit** améliorera les performances énergétiques du réseau.

La perte de charge correspond à l'effort de pompage nécessaire pour faire circuler le flux d'eau au travers de l'échangeur. Plus les pertes de charge sont faibles moins les efforts sont importants. Ce qui permet d'optimiser les **l'efficacité du pompage** à la fois au primaire et au secondaire de l'échangeur.

<3°C

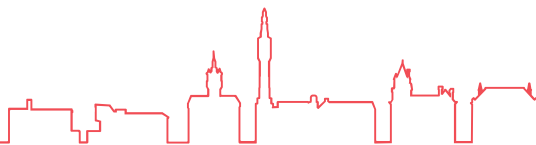
LE CHIFFRE CLÉ

C'est le pincement maximum des échangeurs installés

<3 mCE

LE CHIFFRE CLÉ

C'est la perte de charge maximale de l'échangeur.



Le **système de régulation** comprend toute la partie instrumentation, le système de comptage et l'organe de régulation. Le tout est orchestré par un automate local.

Ces équipements sont également standardisés par gamme de puissance. Ils assurent un véritable contrôle-commande de la sous-station.

Le système garantit à tout instant la fourniture du **strict besoin de l'abonné**, tout en **valorisant pleinement la chaleur** issue du réseau.

Tout cet éco-système localisé en sous-station est connecté avec les systèmes de pilotage intelligent du réseau ([Voir 1.2](#)), et accessible à distance à tout moment via un système global de supervision ([note 3F - Note sur le système de supervision global](#)).

L'isolation de nos équipements en sous-station est un levier majeur de performance. Une bonne isolation des canalisations, des équipements spécifiques (points singuliers) et des échangeurs minimisera les déperditions de chaleur par convection. Ce qui par conséquent améliorera le **rendement de distribution du réseau** ([1.1.1 Canalisations](#)). Il faut souligner également que cette démarche permet d'éviter toute montée hausse de la température ambiante du local. Cela permet notamment de préserver les matériels électriques et électroniques comme les automates et le matériel de distribution secondaire.

100%

LE CHIFFRE CLÉ

Dalkia s'engage à isoler l'ensemble des équipements primaire en sous-station.

1.2. PILOTAGE INTELLIGENT DES INSTALLATIONS

La remontée des données issues des installations est essentielle pour une exploitation intelligente du réseau. Ces données servent à l'alimentation de nos outils d'intelligence artificielle, pour garantir une exploitation efficiente et pour pouvoir être alerté en temps réel de la moindre dérive.

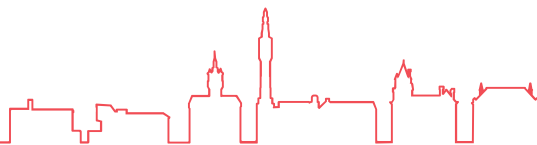
Par volonté de transparence, elles permettent également d'assurer un reporting évolutif à notre autorité déléguante et nos abonnés.

Au sein de l'organisation **ilénergie**, un poste de Data Analyste sera créé dont la fonction sera notamment la fiabilisation des données (cf [Note 3.F – Note sur la supervision globale](#))

1.2.1. AUTOMATISATION LOCALE

Les **sous-stations** sont régulées par un système automate présent dans le local. En première approche, il permet de recevoir et d'enregistrer les données propres au site. Il régule l'optimisation de la sous-station, grâce à des algorithmes internes. En temps réel, il suit l'ensemble des paramètres afin de s'assurer du bon fonctionnement et de garantir la sécurité matérielle des équipements.

Paramètre suivi	Seuil	Action
Pression secondaire	Si <2 bars	Mise en sécurité de l'installation
Température départ secondaire	Si >90°C	Mise en sécurité de l'installation
Température départ secondaire	Si T° départ < consigne	Alerte
Débit secondaire	Si débit nul	Mise à l'arrêt de l'installation
Puissance délivrée	Si > Puissance souscrite	Limitation de la puissance fournie
Température retour primaire	Si > à 60°C	Alerte



Sur chaque **site de production** se trouve un automate dédié aux organes de pompage. Il matérialise l'interface entre la production d'énergie et la fourniture de celle-ci aux abonnés. Ils sont de véritables acteurs de la performance globale du réseau.

Les automates communiquent les uns avec les autres. Ils dialoguent également avec les automates des sous-stations pour définir à chaque instant les besoins énergétiques du réseau. En effet, il est primordial de visualiser les besoins, pour auto-ajuster en temps réel le débit distribué.

Ainsi, si le besoin du réseau augmente, la station de pompage accélère en proportion. A l'inverse, si le besoin diminue, alors la vitesse des pompes sera revue à la baisse.

Ce concept permet d'optimiser l'efficacité du pompage, rendu au strict nécessaire des besoins énergétiques du réseau. C'est un véritable levier d'action vers **la sobriété électrique** de nos stations de pompage. Il permet également de réduire fortement les contraintes mécaniques et les efforts imposés à l'ensemble des équipements du réseau.

Dans la même optique, cet ajustement au besoin du réseau régulera de façon automatisée les différents moyens de production engagés. Pour produire uniquement la puissance utile au réseau ([Voir note 2G - Note technique relative aux moyens de production et de stockage](#)).

Les automates auront également pour rôle de suivre et réguler les paramètres techniques qui conditionnent les incitations tarifaires aux abonnés. Ils sont **prédisposés à l'application des options tarifaires** proposées aux abonnés ([voir note 3B - Note relative à la relation à l'abonné et à la politique commerciale](#)). Les automates seront capables de prendre en considération les options retenues.

Par exemple, pour l'option sobriété, les puissances chauffage et ECS seront préalablement identifiées. Cette option sera privilégiée pour des bâtiments à fortes inerties.

Lors des pics de puissance du réseau, l'automate sera capable **de réguler la puissance totale** aux besoins instantanés de l'ECS sans générer d'inconfort pour les usagers. Cette limitation ponctuelle permettra l'étalement des puissances appelées sur le réseau, pour privilégier nos énergies renouvelables.

1.2.2. SUPERVISION

La supervision est l'outil qui permet de centraliser l'ensemble des données disponibles sur les équipements du réseau et des productions. Toutes ces données sont ainsi collectées, et enregistrées. Cet outil permet également d'intervenir sur l'ensemble des paramètres de fonctionnement des installations de la concession. Toutes les fonctionnalités sont détaillées et approfondies [dans la Note 3F - Note sur le système de supervision global](#).

1.3. APPORT DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

En complément de la Supervision, l'émergence de l'intelligence artificielle permet d'affiner et d'optimiser la conduite du réseau. En se basant sur des analyses statistiques à long terme, ces outils innovants apportent un regard complémentaire. En effet, ces outils sont capables de traiter un important nombre de données en un temps minimal.

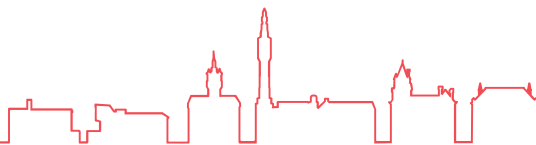
Dans ce but, Dalkia R&D a développé plusieurs outils spécifiques au fonctionnement et à la conduite des réseaux de chauffage urbain.

1.3.1. DEMIX : LA PREDICTION DE CHARGE AU SERVICE DU RESEAU

Demix est l'outil de prédiction de charge sur les réseaux Dalkia. Il a été créé et développé en partenariat avec la **R&D EDF**. Il est composé de deux modules. L'un, DEMix® Conception, pour la conception de réseaux de chaleur, est utilisé par les ingénieurs d'études Dalkia. L'autre, DEMix® Conduite pour le **pilotage intelligent** des réseaux de chaleur par les équipes d'exploitation.



Démonstration de la prédiction de charge Demix



Celui-ci est fondé d'une part sur un historique de fonctionnement de plusieurs années, et d'autre part sur un ensemble **d'algorithmes en auto-apprentissage** permanents. Il est également en liaison avec les données météorologiques de la station la plus proche du réseau, en l'occurrence celle de l'aéroport de Lille-Lesquin.

Après analyse de tous ces paramètres, l'outil est capable d'établir les prévisions d'appels de puissance au pas horaire sur les 48 heures suivantes. Il anticipe donc la puissance globale appelée, et détermine l'éventail des moyens de production à engager. Son rôle est de mettre en **corrélation le mix énergétique nécessaire et les besoins prévisionnels du réseau**.

Ces prédictions, en liaison avec les outils de régulation des différentes productions et stockages thermiques permettent une optimisation totale dans le choix et la quantité d'énergie engagée.

Cette connaissance du besoin futur permet d'anticiper les générateurs complémentaires à engager, mais surtout d'éviter des mises en service ponctuelles non nécessaires. Cela se traduit par une meilleure valorisation des énergies vertueuses, **de limiter le recours aux énergies fossiles de pointe** et d'optimiser les stockages thermiques. Les rendements des productions, et bien entendu la mixité, s'en trouvent améliorés.

Demix sert également à **anticiper les besoins en combustibles biomasse** et à optimiser les stocks. Ce qui réduit les coûts de manutention inutile stockage-déstockage, tout en maintenant la quantité suffisante pour produire durant un week-end complet, sans rupture d'approvisionnement des moyens de production.

DEMIX-CONDUITE



- **Plateforme web**
 - Interfaces web conviviales, ergonomiques et flexibles d'utilisation
 - Intégrant modèles, calculateurs et BDD
- **Module de conduite** : pour les chaufferies
- **Tableau de bord J+24h à 5j**
- **Prise en compte des coûts**



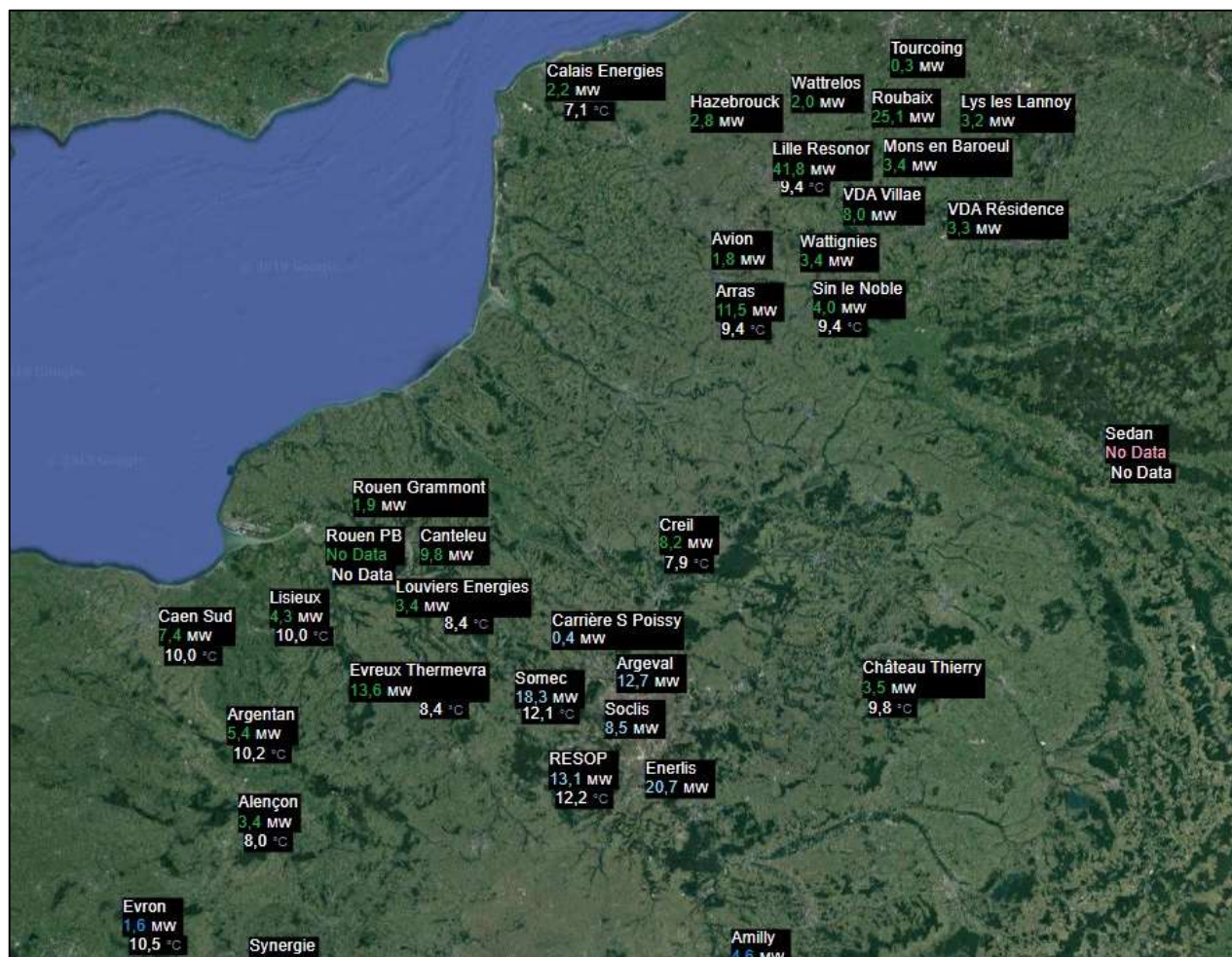
- **Calculs de prévision de charge (IA)**
(ForecastHeat) → tous les sites
- **Calculs d'optimisation économique**
d'engagement des moyens de production (stockage) au pas horaire en puissance (CLEVERY®)
→ sites complexes avec leviers de flexibilité



Synthèse de l'outil Demix Conduite

1.3.2. REZONANCE : UNE SURVEILLANCE GLOBALE ET INTELLIGENTE DES RESEAUX

Rezonance est un outil 100% Dalkia, développé en interne, pour mieux **piloter les réseaux de chaleur**. Déployé sur tous les réseaux expolités par Dalkia en France, cet outil favorise la performance énergétique des réseaux de chaleur et de froid. Il accompagne les équipes opérationnelles et les aide à améliorer la conduite des installations.

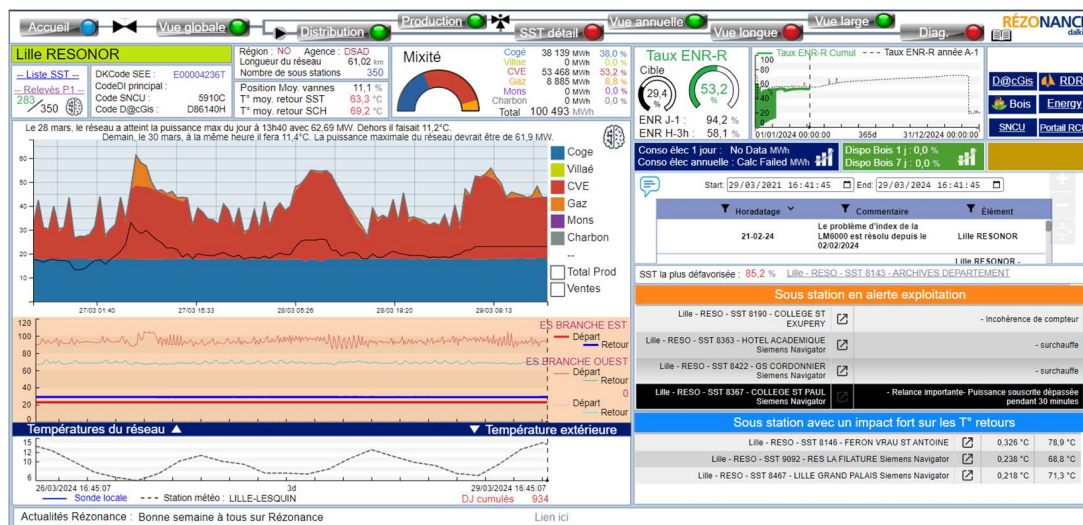


Cartographie des réseaux sur REZONANCE

Rezonance est un **tableau d'analyse intelligent** qui s'actualise en temps réel. Cet outil traite l'intégralité des données remontées du réseau. Des algorithmes évolutifs permettent de mettre en exergue les axes d'améliorations de l'exploitation du réseau.

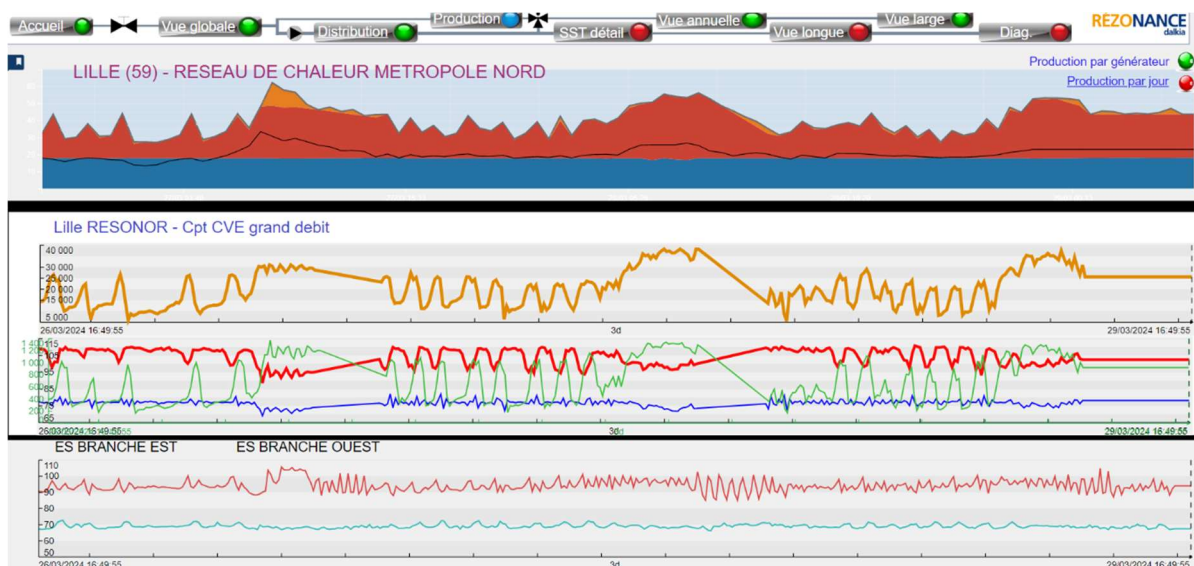


En seulement quelques clics , Rezonance offre une visualisation synthétique du réseau de chaleur et un **bilan intuitif** des éléments tels que : le mix énergétique, les rendements détaillés des moyens de production et de distribution.



Visualisation synthétique du réseau de Lille

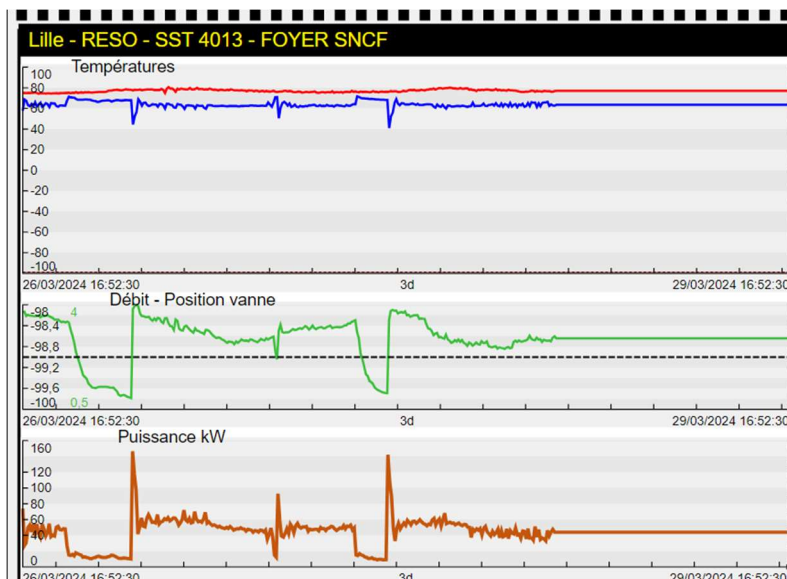
Par le traitement des données, il dresse rapidement et efficacement les monotones journalières de chaque production en déduit les mixités quotidiennes et cumulées. Les rendus sont visuels et intuitifs pour nos techniciens.

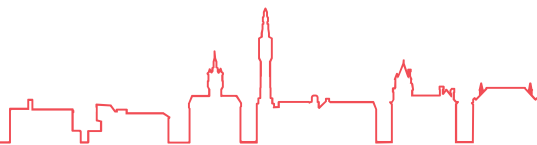


Exemple de courbes des production du réseau lillois

Cet outil fonctionne tant à l'échelle macroscopique qu'à l'échelle de chaque sous-station. Il permet de surveiller le comportement de l'ensemble des sous-stations des réseaux et de mettre en place des **modèles prédictifs** utiles à l'exploitation. Des algorithmes identifient les sous-stations qui ont le plus d'impact sur la température du retour du réseau.

Exemple de courbes en sous-station





Sous station avec un impact fort sur les T° retours			
Lille - RESO - SST 8146 - FERON VRAU ST ANTOINE		0,913 °C	76,8 °C
Lille - RESO - SST 4014 - HOTEL EUROPE		0,323 °C	70 °C
Lille - RESO - SST 4016 - RES LE CORBUSIER		0,245 °C	70,2 °C
Lille - RESO - LMH - SST 8350 - RES PORTE DE TOURNAI Siemens Navigator		0,202 °C	76,8 °C

Cet outil d'aide à la conduite met également en évidence toutes les dérives, quelles que soient leur importance. Ce travail d'identification permet **d'anticiper les anomalies de façon proactive**. Ces défauts sont décelés bien avant un ressenti d'inconfort pour nos abonnés.

Cette détection, assistée par **intelligence artificielle**, permet un gain de temps pour l'exploitation et une plus grande efficacité des déplacements des techniciens. Le gain de temps généré sera mis à profit en faveur de la maintenance préventive.

A titre d'exemple, Rezonance est un formidable outil pour **diagnostiquer des qualités d'échange** en sous station dégradés.

Comme expliqué dans le paragraphe 1.1.5 sur la qualité d'eau, si celle-ci n'est pas respectée, des dépôts de tartre et ou de boues se produisent très rapidement sur les plaques de l'échangeur. A plus ou moins long terme, l'échangeur ne parvient plus à transférer la chaleur au flux secondaire et l'abonné s'expose à des manques de fourniture. Un remplacement des plaques est nécessaire mais occasionnera une intervention urgente le plus souvent lors d'une période froide.

Avec Rezonance, dès qu'il y a un début de dérive sur le pincement de l'échangeur, nous en sommes alertés, et pouvons à notre tour remonter l'information à l'abonné. C'est un atout pour être **force de conseil** auprès de notre abonné. Cela permet également d'anticiper et programmer de manière réfléchie la maintenance de l'échangeur.

Cette **boucle vertueuse** a des avantages en terme de préservation de l'environnement (des déplacements réduits au strict nécessaire) et d'optimisation des performances du réseau.



2. UN RESEAU RESILIENT

La performance du réseau dépend du niveau de disponibilité de fourniture auprès des abonnés. Pour ce faire, une maintenance prédictive permet d'anticiper au maximum tout aléas sur les installations. En cas d'avaries, une grande réactivité dans la résilience du réseau permet de garantir la fourniture de service en toute circonstance.

Lorsqu'on parle de sécurité énergétique pour un réseau de chaleur, il est question de la sécurité d'approvisionnement en un flux continu, sans avarie technique sur les réseaux de distribution ou les moyens de production.

Il est question de la capacité à garantir la fiabilité de la livraison de chaleur, grâce à la prise en compte d'événements exceptionnels liés à d'éventuelles périodes de froid extrême.

En réponse à ces enjeux, notre solution technique propose pour la Métropole de Lille un réseau de chaleur moderne, fiable et sécurisé utilisant les meilleures opportunités techniques et technologiques pour écarter les risques.

Au-delà de l'efficacité énergétique, la production doit s'inscrire dans une démarche de développement durable et sécuritaire en termes environnemental. L'utilisation des énergies EnR&R en priorité, la capacité à piloter le réseau pour une production et une distribution « intelligente », sont là encore notre réponse qui apportera les gages d'une conduite responsable et « Smart Grid » attendue pour un réseau de chaleur de cette envergure.

99,98%

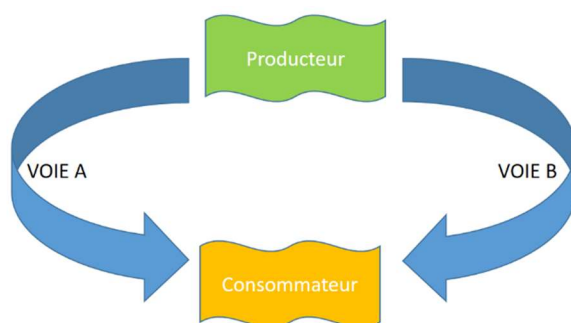
LE CHIFFRE CLÉ

Le pourcentage minimum de disponibilité du réseau de chauffage urbain.

2.1. UN RESEAU CONÇU POUR ETRE RESILIENT

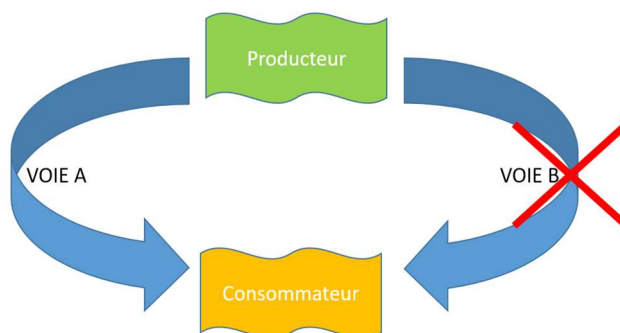
2.1.1. UN RESEAU BOUCLE

A l'image de la sécurisation et de l'équilibrage des réseaux de transports électriques, le réseau de chaleur lillois se compose d'artères principales bouclées. Un bouclage se traduit par la faculté de distribuer de l'énergie à un point fixe du réseau depuis deux voies d'acheminement différentes.

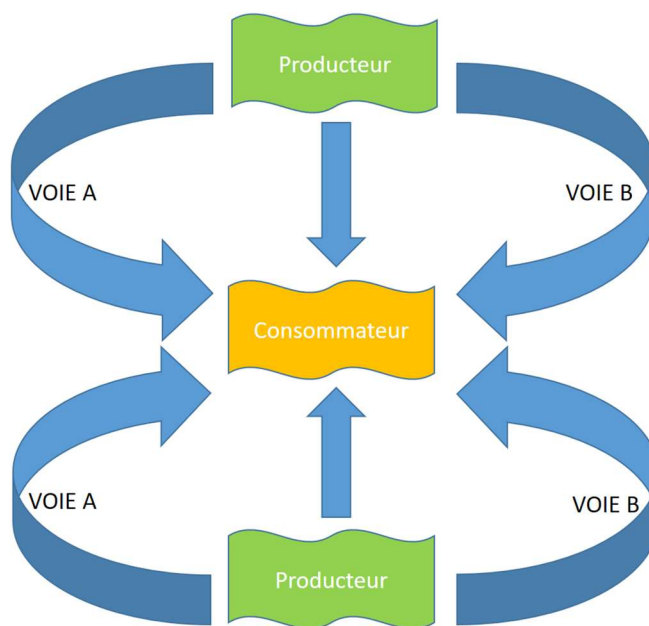




L'avantage d'avoir un réseau bouclé réside en sa capacité à maintenir la fourniture d'énergie en cas d'aléas sur l'un des deux cheminements:



De plus, les moyens de production sont placés à différents lieux du réseau, de manière stratégique, pour pouvoir alimenter ces boucles de différentes manières :



Basé sur ce principe, le réseau lillois a été conçu pour être le plus résilient possible :

- Le réseau principal de distribution appelé « feeder » se présente sous la forme d'un grand périphérique de la ville, « le ring », traversée en son centre sur un axe Nord-Sud.

- Les antennes de desserte reliées en plusieurs points aux feeders constituent, à plus petite échelle, de nouvelles mailles imbriquées dans les boucles principales :
 - boucle de la ZAC de Valenciennes,
 - boucle de la TDR Opéra,
 - boucle du Vieux-Lille,
 - boucle Esquermes,
 - boucle avenue Gustave Delory,
 - boucle Casino.

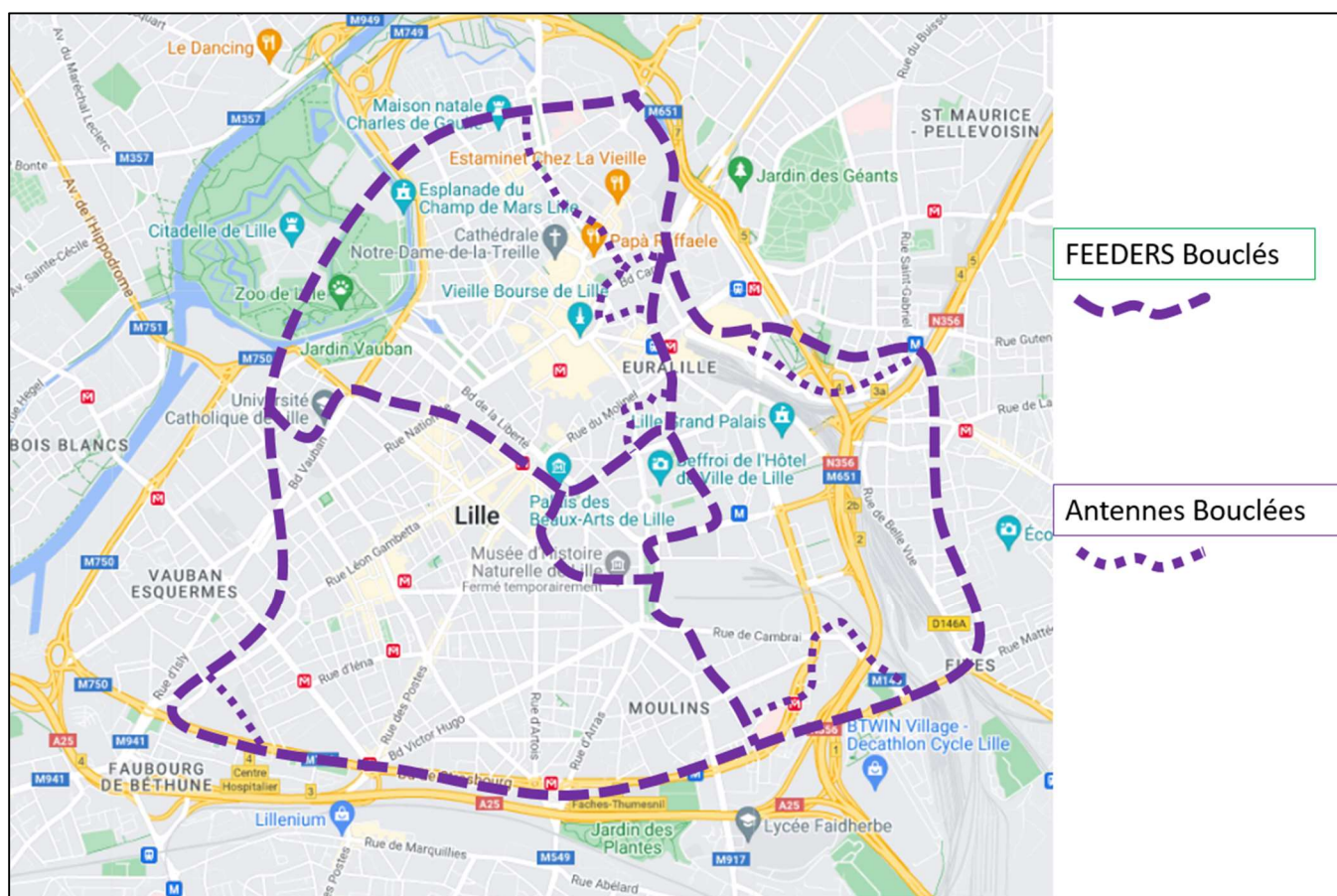


Schéma des bouclages du réseau Lillois

Cette conception de réseau permet de garantir une excellente disponibilité du service. A titre d'exemple, sur le réseau lillois en 2020 et 2021 lors du basculement en basse température de près de 20 kilomètres de réseau en eau surchauffée, le taux de disponibilité du service a pu être maintenu à un taux supérieur à 99,98% grâce à la mise en place de bouclages.

Le plan de développement du futur réseau intègre cette même logique de bouclage. Ce qui nous permet de s'engager sur **un taux de disponibilité toujours supérieur à 99,98%** pour chaque année d'exploitation notamment celles où l'ampleur des travaux sera importante.



2.1.2. UN RESEAU SECTIONNABLE INTELLIGENT

Pour faire preuve de résilience, un réseau bouclé se doit d'être sectionnable. Pour cela, des vannes de séparation hydrauliques sont placées stratégiquement sur les différents feeders précédemment illustrés. En cas d'avarie, ces équipements permettent d'isoler la portion du réseau impactée, tout en garantissant la continuité de service sur la majeure partie du réseau.

Basée sur ce concept, une couche d'automatisation a été ajoutée afin d'accroître la réactivité d'identification du tronçon concerné. Pour cela, les vannes de séparation hydrauliques stratégiques ont été motorisées et instrumentées. De plus, des capteurs de pression ont été ajoutés sur chacun de tronçons de feeder et remontent sur une unité d'analyse centralisée.

Lorsqu'une fuite d'eau est détectée (voir [2.1.3](#)), le système est capable de partitionner les feeders en sous-sections. Les capteurs identifieront la section qui présente la baisse de pression. Les avantages de cette méthode innovante sont :

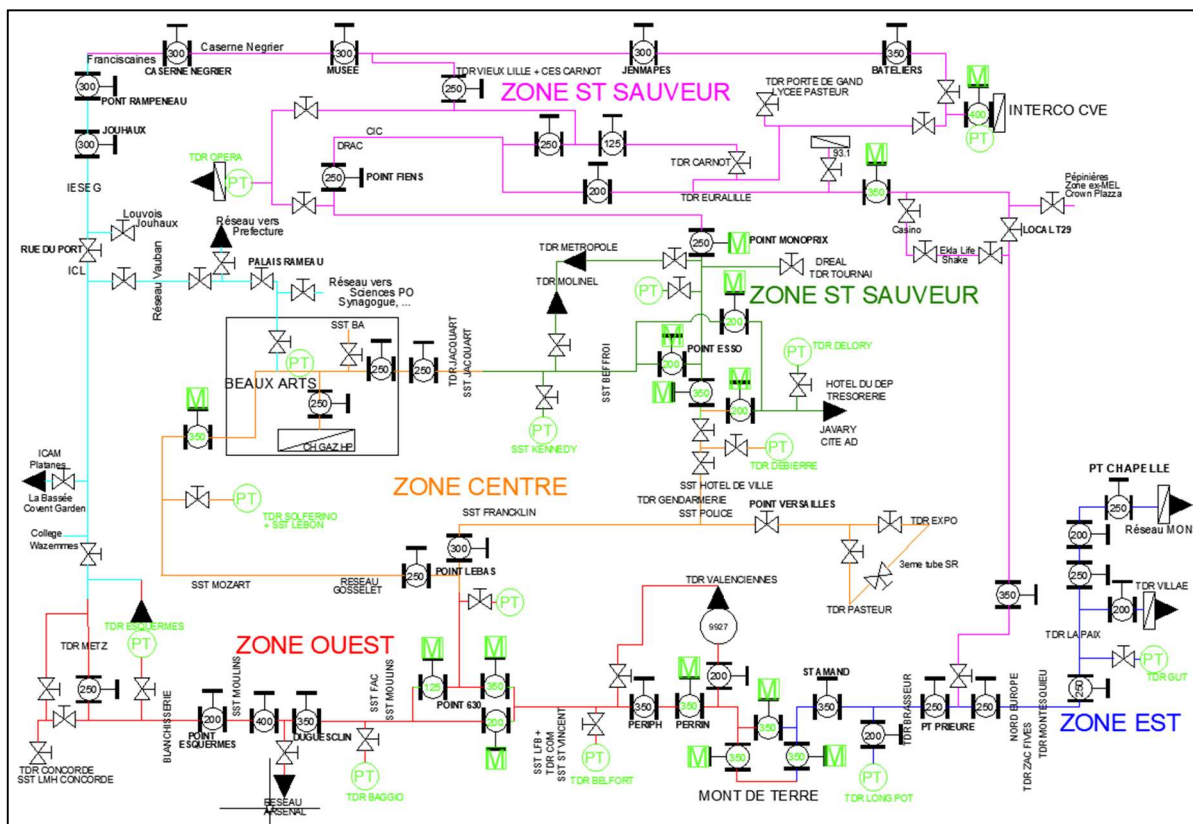
- un gain en réactivité,
- une maîtrise des consommations d'eau,
- une préservation de la continuité de service.

6 heures

LE CHIFFRE CLÉ

Dalkia s'engage à trouver une fuite entre deux vannes de maillage automatique en moins de 6 heures.

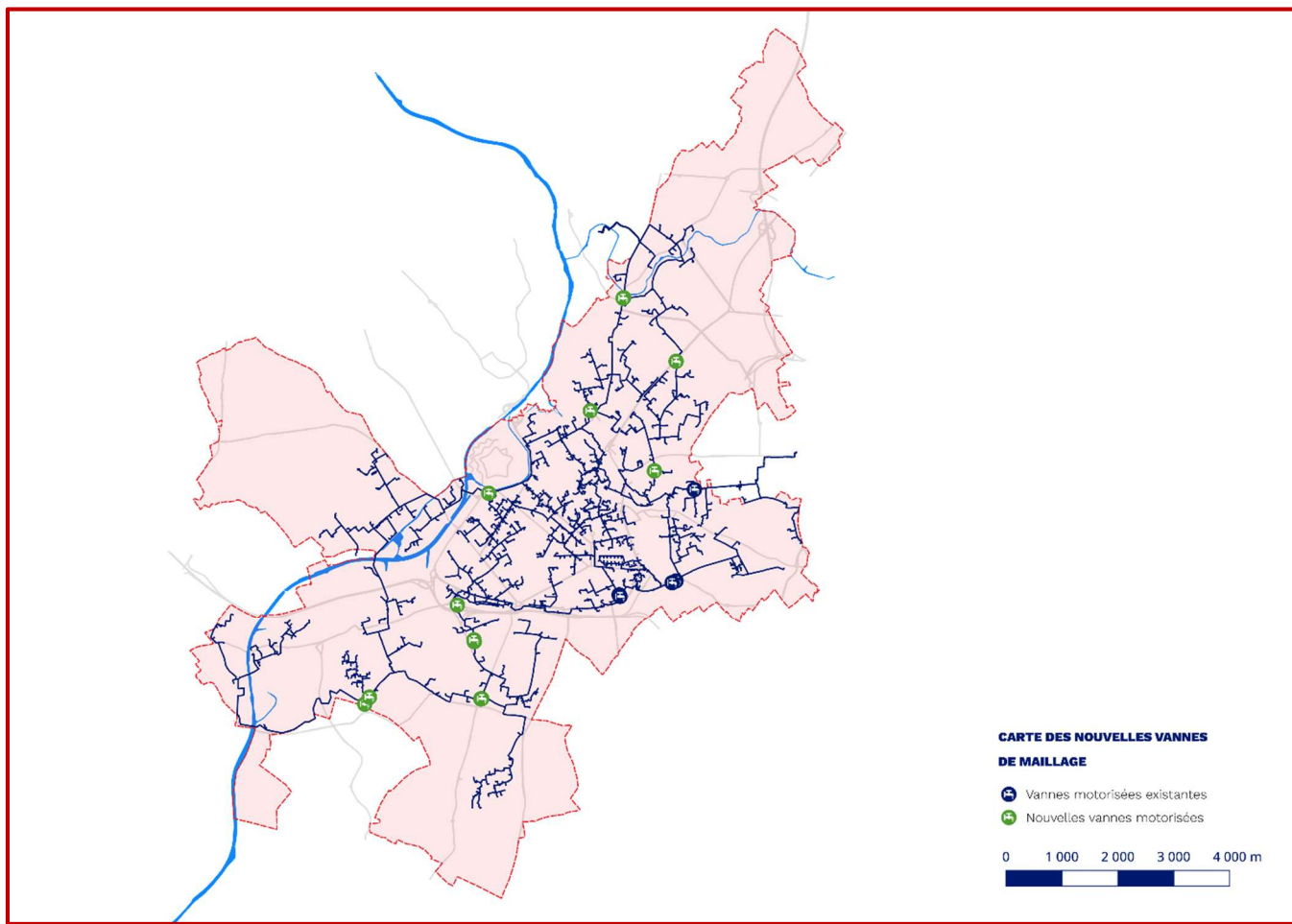
Ci-dessous le synoptique du plan de maillage automatisé du réseau existant :



Les vannes motorisées sont symbolisées avec la lettre « M » verte pour moteur. Les capteurs de pression sont représentés par le symbole « PT ».

Ce système éprouvé ayant apporté pleine satisfaction, Dalkia propose d'intégrer cette même logique dans la conception des nouveaux feeders.

Ci-après, le mapping des vannes motorisées déjà installées (symboles bleus) et celles qui équiperont les nouveaux feeders (symboles verts).



2.1.3. GESTION PROACTIVE DES FUITES

La **préservation des ressources naturelles** étant une priorité pour notre société, Dalkia s'engage à mettre tous les moyens possibles pour minimiser les consommations d'eau d'appoint du réseau de chauffage urbain.

Le réseau de chauffage urbain est maintenu en pression par l'intermédiaire de différents groupes de maintien de pression (GMdP). Ces GMdP ont pour mission de **réguler la pression statique du réseau** pouvant à la fois déverser le surplus d'eau dans des bâches à l'air libre, ou à l'inverse injecter de l'eau de ces réservoirs dans le réseau. **Un fonctionnement en cycle clos permettant** la conservation totale du volume d'eau pour maîtriser l'expansion du réseau.

Ces GMdP sont situés sur différents emplacements stratégiques, sur des feeder structurants et pouvant desservir des quartiers géographiquement différents. Ils sont localisés sur les lieux suivants :

- Chaufferie du mont de terre,
- Interconnexion Pasteur,

- Chaufferie d'Haubourdin,
- ~~STEP de Marquette-lez-Lille~~ Chaufferie installée sur le site de Lesaffre.

Chaque GMdP permet également de gérer le surplus ou le manque de pression :

- la gestion de la surpression est nécessaire pour éviter toute contrainte mécanique sur l'ensemble des éléments du réseau,
- la gestion du manque de pression pour éviter tout phénomène de cavitation des pompes de distribution.

Pour une continuité de service maximale, ces GMdP sont standardisés et communiquent entre eux. Même s'ils sont situés à des altimétries différentes, l'interface automate est calibrée pour corriger ce paramètre contextuel. Ils peuvent ainsi travailler en parallèle pour s'activer sur l'ensemble du réseau.

- Pluralité.

La **pluralité** de nos GMdP est un atout majeur dans la **résilience du réseau de chauffage urbain**. Le maintien de la pression d'eau du réseau est un élément indispensable au transport de l'énergie mais aussi à la protection des matériels. Il est donc nécessaire de pouvoir interchanger facilement les différents groupes en cas de besoin.

Cette multiplicité permet aussi d'isoler des tronçons complets, en cas de séparation physique du réseau pour recherche de fuite par exemple.

- Standardisation :

À l'instar de nos sous-stations [\[voir 1.1.2\]](#), les équipements de nos groupes sont standardisés, ce dans le but **d'optimiser le temps de réponse** en cas d'avarie matérielle. En effet, l'**interchangeabilité** des équipements et la **gestion de stock d'urgence** permettra une réactivité essentielle à la bonne marche de ces installations.

De plus, ces différentes technologies ont déjà fait leur preuve sur de nombreux réseaux et sont challengés chaque année, via une veille technologique sur l'ensemble de la gamme des matériels installés.

La massification de nos demandes d'achats et le suivi de notre cellule d'approvisionnement permet d'obtenir les meilleurs prix possibles.

- Communication :

Reliés à une interface globale, l'ensemble de nos GMdP sont paramétrés pour travailler de manière **complémentaire**. Ainsi, les capacités d'expansion et de pompage de chaque GMdP s'additionnent.

A tout moment, les GMdP peuvent **prendre le relais les uns des autres**, par exemple en cas de séparation hydraulique des réseaux.

La dernière situation qui a demandé le recours à cette technologie a été la séparation hydraulique de l'antenne Solférino. Les GMdP de la chaufferie du mont de terre et de l'interconnexion Pasteur ont assurés de manière indépendante le maintien en pression des deux réseaux.

- Suivi des indicateurs clés de détection d'une fuite réseau

Tous les paramètres jugés pertinents seront remontés au système de supervision. Ce **système intelligent et prédictif** sera capable d'analyser les différentes dérives et/ou anomalies, instantanément. Les informations seront alors transmises au personnel dédié pour la vérification du bon rétablissement de la situation.

Les éléments principaux de suivi seront les suivants :

- consommations d'eau du réseau,
- nombre de démarrages des pompes d'injection,
- temps de démarrage des pompes d'injection.
- niveau d'eau des bâches,
- temps d'ouverture des vannes d'alimentation des bâches.

Sur les indicateurs principaux, des seuils ont été définis pour caractériser la **criticité** de la situation :

Indicateurs clés	Consommation d'eau (m3/jour)	Nbre de démarrages des pompes d'injection (-)	Temps de fonctionnement cumulé quotidien des pompes (heures)
1 ^{er} niveau : Seuil de surveillance renforcée	> 3 m3/Jour	> 10	>1h
2eme niveau : Seuil de diagnostic fuite	>10m3/jour	>30	>2h
3eme niveau : Seuil de déclenchement de la cellule de crise	> 50m3/jour	>80	>5h

La surveillance de ces paramètres, reflétant la déperdition d'eau du réseau, permet une plus grande **réactivité** dans la prise en charge des départs de fuite. A chaque niveau de détection, différentes procédures sont mises en place.

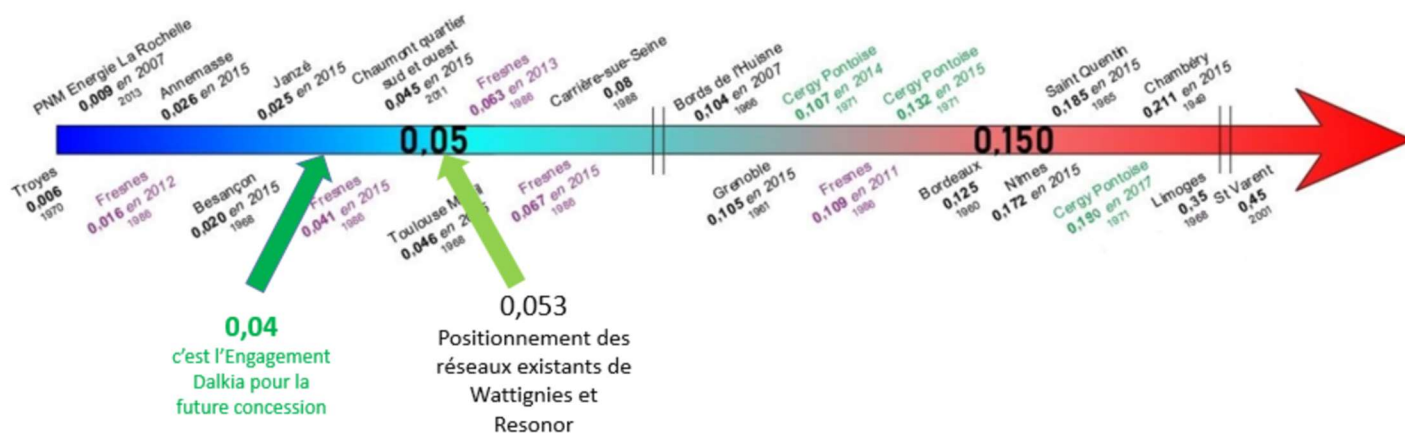
Le taux d'appoint en eau est le ratio de la quantité de mètres cubes d'eau injectée dans le réseau sur la quantité d'énergie livrée par celui-ci aux sous-stations. Il permet d'estimer l'ampleur des fuites. **En-dessous d'environ 0,05 m³/MWh**, le taux d'appoint en eau est considéré comme **très bon** et au-delà d'environ 0,150 m³/MWh il est considéré comme élevé.

**< 0,04
m³/MWh**

LE CHIFFRE CLÉ

Dalkia s'engage à faire de sa consommation d'eau une véritable priorité environnementale.

Consommation d'eau (m³/MWh)



Taux d'appoint en eau en m³/MWh (source SNCU)

2.2. UN RESEAU MONITORE

Pour garantir la meilleure **continuité de service** possible, Dalkia travaille depuis de nombreuses années sur une méthode de monitoring du réseau. Le monitoring est un concept qui consiste à corréler plusieurs moyens de diagnostic de l'état de santé du réseau.

Cette méthodologie est une réponse forte et engageante en terme de réduction des pertes thermiques, de réduction des fuites, de sécurisation du réseau et de planification d'une maintenance prévisionnelle.

Les périodes d'intervention en maintenance étant réduites, il est important de réaliser de façon ciblée et précise les interventions d'entretien et de renouvellement.

Quatre actions combinées et complémentaires seront mises en œuvre :

- des thermographies aériennes globales et ciblées,
- l'utilisation du système nordique décrit plus loin,
- l'inspection des caniveaux par des méthodes non destructives (robot d'inspection),
- l'injection de marqueurs spécifiques.

2.2.1. LA THERMOGRAPHIE

La **thermographie** est le premier élément de contrôle nécessaire à l'application de notre méthode. Pour ce faire, Dalkia a rencontré plusieurs sociétés spécialisées afin de définir les conditions optimales de mise en œuvre et de suivi d'une thermographie sur le réseau métropolitain.



La première thermographie constitue la signature thermique initiale du réseau. Les thermographies suivantes permettent de mettre en exergue l'évolution de **points suspects**.

La thermographie offre des possibilités de nature différentes :

- réaliser le diagnostic thermique de l'ensemble du réseau primaire,
- mettre en valeur les segments à forte déperdition thermique,
- rechercher des points de fuite,
- classer par priorité les zones à rénover,
- réaliser une cartographie des tracés et des plans du réseau permettant de fiabiliser les plans de récolement ainsi que la cartographie (SIG, guichet unique...).



La campagne de mesures se déroule pendant la période hivernale et doivent respecter les critères suivants :

- les mesures se font de préférence tôt le matin,
- des conditions météorologiques minimales permettant le vol (pas de brouillard, visibilité horizontale et plafond adéquat),
- nécessité d'avoir les installations de chauffage en fonctionnement pour faciliter les mesures (delta de température entre le réseau et le sol),
- la température moyenne extérieure doit être inférieure à + 5°C,
- le contrôle est réalisé en effectuant des bandes de survol à altitude réduite.

L'enregistrement est effectué en simultané pour les images visibles en infrarouges. Ces acquisitions réalisées en continu et couvrant des bandes de terrain de 60 à 80 mètres, permettent de repérer l'intégralité du réseau connu.

L'étape suivante consiste à repérer sur plan et localiser le réseau identifié thermiquement en infrarouge. Cette étape permet de construire toute la banque de données des images représentatives du réseau.

Ensuite, toutes les images sont analysées et les anomalies identifiées (levée de doutes sur les points sensibles constatés lors de l'audit, vérification de la qualité des informations transmises, mises à jour des plans).

Un rapport est ensuite établi comprenant les thermogrammes des points significatifs analysés, les images visibles et le positionnement cartographique des points jugés litigieux.

Par ailleurs, le survol étant géo-positionné, la cartographie ainsi obtenue permet un recoupement de positionnement avec les relevés de terrain.

Des thermographies ont déjà été réalisées sur le réseau lillois, la dernière ayant eu lieu durant l'hiver 2022. Celle-ci a été prise en charge par Dalkia.



Exemple de restitution aérienne sur le réseau de Lille

Comme illustré sur cet exemple, la thermographie a permis de déceler des points de déperditions thermiques. Après investigations sur ces points identifiés, nous avons pu rétablir l'étanchéité de plusieurs manchons d'isolation.

Des thermographies seront également réalisées en cas de dégradation des indicateurs de performance.

À partir de l'analyse des résultats de la dernière thermographie réalisée, nous avons procédé à des investigations plus approfondies en associant résultats thermiques, zones de fuites et âge du réseau.

L'ensemble des zones identifiées donne lieu à une priorisation. Ce qui a permis de consolider le plan de renouvellement ([Voir note 2.K -Note relative à la maintenance et au renouvellement](#)).

2.2.2. LA DETECTION D'HUMIDITE DES PRE-ISOLES

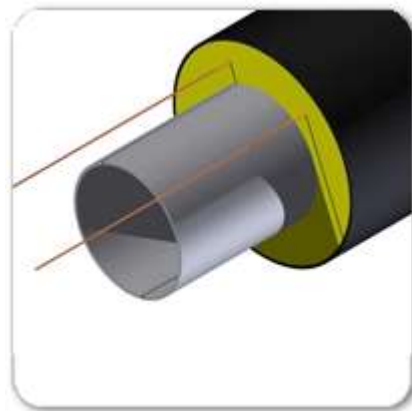
Les canalisations pré isolées sont équipées pour tous les travaux Dalkia du système de **détection nordique**. Cela fait partie des prescriptions de base du cahier des charges réseaux.

Le système de détection Nordique se présente sous la forme de fils d'alarme en cuivre. Les 2 fils d'alarme sont noyés dans l'épaisseur de l'isolant en polyuréthane.

La longueur maximale peut atteindre 7000m en détection et 2500m en localisation.

La variation de la mesure de la conductivité entre les deux fils de cuivre traduit une humidité anormale à proximité de la canalisation. En comparant les états initiaux et à l'instant t, le système de surveillance est capable d'alerter d'une **dérive d'humidité et de localiser la zone suspecte**.

C'est aujourd'hui une solution fiable et économique. Il permet une surveillance permanente du système. Une **liaison avec le système de supervision** ([voir note 3F - Note sur le système de supervision global](#)) permettra de transmettre au centre de pilotage chaque alarme détectée par ce système.



2.2.3. L'INSPECTION ROBOTISEE DES CANNIVEAUX

Dans notre éventail de méthodes de monitoring réseau, **l'inspection robotisée** est particulièrement adaptée pour le suivi de nos réseaux en caniveau.

En effet, le réseau existant est constitué d'un peu plus de 20 kilomètres de réseau de cette typologie.

La détection précoce des problèmes procure de multiples avantages, comme la réduction des coûts de maintenance, des perturbations, du gaspillage d'énergie et d'eau, ainsi que l'amélioration de la sécurité.



Le service d'inspection robotisée présente plusieurs avantages :

- matériel robuste embarqué dans un véhicule d'intervention spécialement conçu,
- productivité des inspections (150 à 200 mètres par jour),
- interprétation immédiate des images et des paramètres.

Le principe de fonctionnement est le suivant : depuis un véhicule d'intervention, un technicien téléguide un robot multi-paramètres équipé d'une caméra

multidirectionnelle haute définition, d'une sonde de température et d'une sonde d'humidité.

En rayonnant autour de chambres de vannes, l'opérateur enregistre en continu ces paramètres et pointe les anomalies comme :

- un effondrement de dalle,
- un calorifuge défectueux,
- une fuite de fluide,
- une température et humidité élevées,
- des agressions liées à l'environnement externe (comme des infiltrations d'eau).



Exemple d'une dalle de caniveau affaissée



Exemple d'une dalle détériorée



Exemple d'un calorifuge qui se dégrade

L'inspection robotisée permet donc de suivre dans le temps les points les plus sensibles du réseau en caniveau. A titre d'exemple, les données collectées peuvent permettre d'anticiper l'apparition prématurée de points de corrosion et d'orienter les mesures conservatoires.

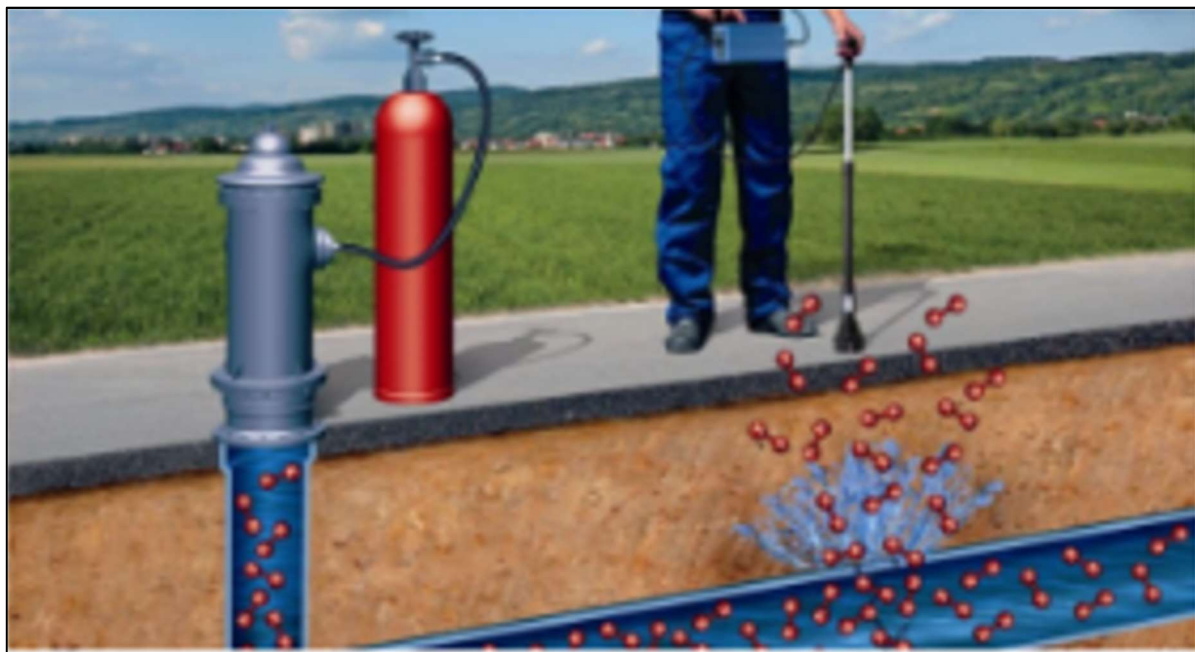
Un réseau mal isolé, c'est une perte récurrente de calories. Le service d'inspection robotisé permet de pointer les tronçons où le calorifuge est dégradé (ou en voie de dégradation), où les pertes énergétiques sont critiques. Les informations collectées aident donc le gestionnaire à résoudre l'équation entre économies sur les pertes thermiques et coûts des travaux d'entretien et de renouvellement. ([Voir note 2.K - Note relative à la maintenance et au renouvellement](#))

2.2.4. LA RECHERCHE DE FUITE PAR MARQUEUR GAZEUX

Dans notre démarche proactive de continuité de service, une 3^{ème} méthode **d'investigation non destructive** sera ajoutée à notre panel de solution. Cette méthode consiste à injecter un marqueur gazeux dans les canalisations. Ce marqueur sera détecté en arpentant le réseau avec un appareil spécialisé. Ce procédé est mis en place dès lors que le seuil de « **surveillance renforcée** » du réseau est déclenché. [\(Voir 2.1.3\)](#)

Cette technologie de détection consiste à la localisation par injection de gaz monoatomique comme l'hélium. Cet atome transporté dans flux d'eau, est tellement petit qu'il ressort par la fuite et remonte à la surface. Il est détecté par un spectromètre de masse miniaturisé portable. Le volume de gaz injecté dépend du volume du réseau.

Illustration d'une détection à l'hélium



Les avantages de ce procédé sont les suivants :

- aucune incidence sur la continuité de service,
- neutre pour l'environnement et pour l'intégrité des tuyauteries,
- ciblage précis de la fuite (moins d'un mètre),
- productivité accrue de la détection (5kms / jour),
- simplicité de mise œuvre,
- garantie du résultat.

Cette méthode a déjà fait ses preuves à de nombreuses reprises sur les réseaux de chaleur de la MEL. A titre d'exemple, une faible consommation a déclenché le seuil de « surveillance renforcée » en 2022 sur le réseau de Wattignies. Cette technologie par marqueur a permis de localiser rapidement et avec précision le dégradation d'un point fixe. En 2023, plus de **80% des fuites ont été détectées grâce à ce procédé**. De nos différentes expériences, c'est à l'heure actuelle, la technologie de recherche de fuite la plus fiable et précise.

Jusqu'à présent l'injection du gaz était faite de manière ponctuelle, après déclenchement du seuil. Le réseau grandissant, Dalkia s'engage à **industrialiser** ce procédé. Pour se faire, plusieurs skids dimensionnés au besoin seront installés de manière pérenne sur les sites de production. Et un **véhicule d'intervention rapide en voirie** sera spécialement équipé d'un reniflard lié au spectromètre de masse pour assurer la détection. Cette industrialisation apportera une plus grande réactivité aux équipes d'exploitation formées à cet outil.

Industrialisation du procédé à l'hélium

Dalkia s'engage à industrialiser cette méthode performante de localisation de fuite.

2.3. GESTION DES PERTURBATIONS

Sur un réseau de chaleur, une perturbation correspond à une avarie pouvant présenter une nuisance potentielle de la continuité du service. Si de nombreux moyens de prévention existent, il peut arriver qu'un aléa survienne. La résilience d'un réseau se traduit également par la faculté de l'exploitant à appréhender et faire face à la situation constatée.

Pour ce faire, plusieurs actions y contribuent.

- Avant tout, il est primordial de bien informer et communiquer auprès de toutes les parties prenantes.
- Il est également essentiel de cibler tous les canaux de communication disponibles pour minimiser l'impact de la perturbation.
- Le respect des procédures de communication et la maîtrise des discours et des délais ont également un impact important dans la résolution de l'aléas.

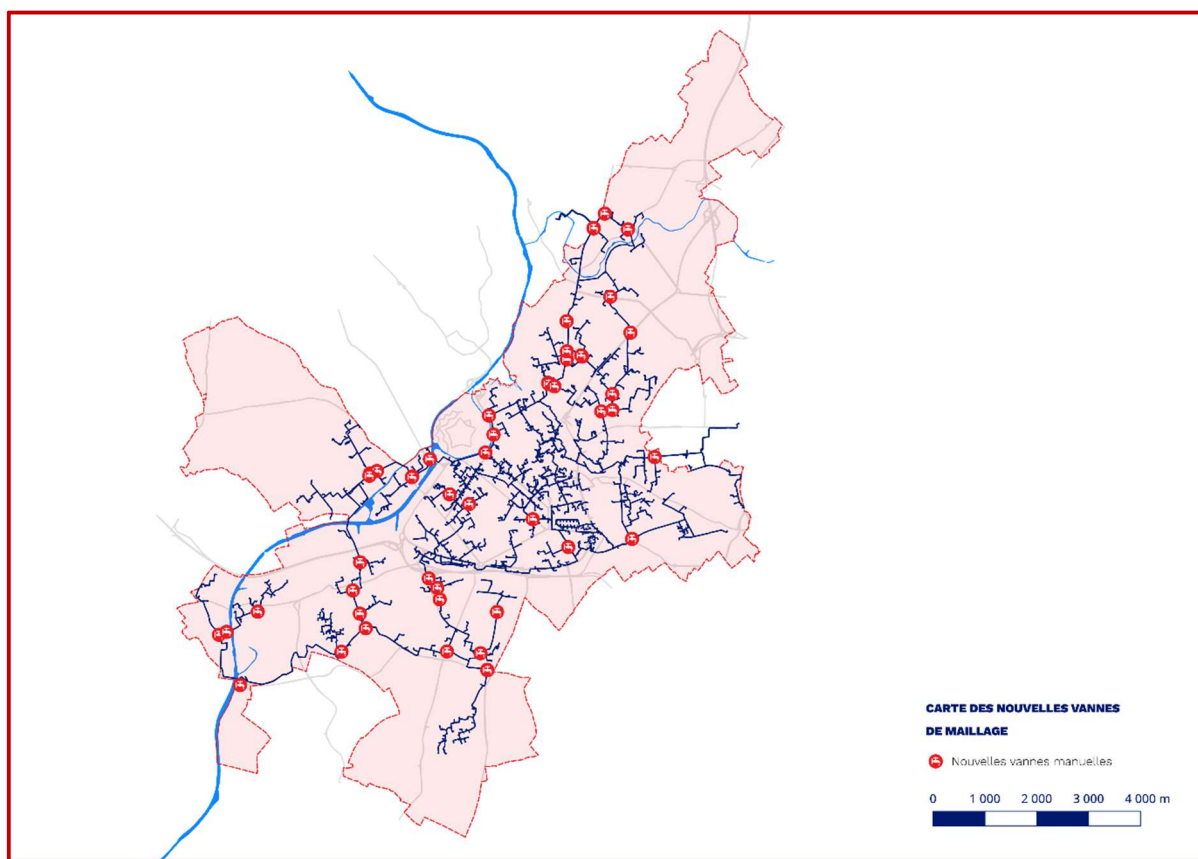
2.3.1. GESTION DE CRISE

La communication entre les différentes parties prenantes est un élément crucial dans la gestion de crise. Dalkia s'engage à disposer **des moyens humains et techniques** pour garantir une **communication fluide et transparente**, avec l'ensemble interlocuteurs nécessaires. Les modalités de communication lors d'une perturbation sur le réseau sont décrites dans la note 3B.

2.3.2. MAINTIEN DE LA CONTINUITE DE SERVICE

Comme expliqué précédemment, le **monitoring innovant** du réseau nous permet de localiser rapidement la perturbation sur un tronçon du feeder. Une fois cette opération réalisée, les équipes d'exploitation appliquent les procédures opérationnelles nécessaires.

Une fois la perturbation pré-localisée, les équipes vont alors travailler par **dichotomie** pour identifier précisément la canalisation présentant une potentielle fuite. Ils vont couper de manière successive et logique en plusieurs sous-ensembles la zone de recherche par la fermeture de vannes d'isolement manuelles. Le sous-ensemble isolé où la pression du fluide chute correspond à la nouvelle zone de travail. L'ensemble des vannes manuelles existantes et futures sont représentées ci-dessous :



Cette démarche permet de manière efficace de **localiser avec précision** la fuite et surtout de pouvoir garantir un maintien du service sur tout le reste du réseau. La zone impactée sera donc isolée du réseau, sur le plus petit périmètre possible techniquement.

Chacun de ses sous-ensembles est répertorié dans le **dossier de gestion de crise**. Dès lors que le tronçon est identifié, la consultation de la base de données permet immédiatement de dresser les abonnés impactés et **d'alimenter les différents outils**

de communication. ([Voir Note 3B – Note relative à la relation à l’abonné et à la politique commerciale](#)).

Des points de production géographiquement distants, associés aux principes de feeders bouclés décrits précédemment, sont un véritable atout pour **garantir le service public** sur les tronçons non concernés par l’aléas.

Une fois la fuite localisée et caractérisée, la procédure de réparation est déterminée. Il est alors possible de mettre des **mesures conservatoires** telles qu’une réparation provisoire pour réduire l’impact auprès des abonnés en période de chauffe. La réparation définitive sera programmée par la suite lors de l’arrêt technique du réseau.

Dans le cas où il ne serait pas possible d’irriguer des parties avals à la fuite, plusieurs **moyens de substitution** sont mis en place. Suivant la nature de la perturbation et de l’impact occasionné, Dalkia s’engage à déployer différentes solutions pour palier l’arrêt du réseau.

12 heures

LE CHIFFRE CLÉ

Dalkia s’engage à mettre à disposition des moyens de substitution, dès lors que l’impact est supérieur à 12h.

- Des chaudières mobiles dédiées au réseau

Ces chaufferies légères et démontables peuvent être utilisées pour produire la chaleur nécessaire pour alimenter les abonnés impactés.

Chaque installation, aménagée dans un camion semi-remorque, dispose d’une chaudière fioul domestique, d’une puissance adaptable de 500 kW à 2000kW. Ces chaufferies mobiles disposent d’une capacité de stockage de 5 m³ de fioul, ce qui leur donne une autonomie de plus de 35 heures en pleine puissance. Plusieurs partenaires sont engagés avec Dalkia pour installer et mettre en service ces installations en moins de 12 heures. Tibbloc dispose notamment d’une dizaine de chaudières mobiles disponibles sur son parc de La Gorgue, à moins de 30km de Lille.

En plus de ces partenariats renforcés dans une optique de résilience rapide, **Dalkia s'engage à équiper la DSP d'une chaudière mobile** d'une puissance de 2000kW. Cette chaufferie mobile sera disposée sur une semi remorque stockée et testée régulièrement sur le site du Mont de Terre. Elle sera équipée du stockage de combustible, d'un maintien de pression, de flexibles pour les raccordements simplifiés sur le réseau de chaleur, du nécessaire au branchement électrique, et d'une pompe pour distribuer la chaleur produite.

1 chaufferie mobile ilénergie

LE CHIFFRE CLÉ

Dalkia s'engage à disposer d'une chaufferie mobile prête à être mobilisée depuis le site du Mont de Terre



- Maintien de la production ECS

Plusieurs skids avec épingles électriques de 12 et 24kW sont tenus disponibles pour secourir la fourniture en eau chaude. Ils sont équipés de raccordements flexibles pour être rapidement installés. Dalkia s'engage à équiper **ilénergie** de 5 unités tenu disponible sur le site du Mont de Terre.

- Maintien du chauffage

Un parc de plus de 1 500 aérothermes et radiateurs électriques sont stockés sur le site du Mont de Terre. Ces radiateurs sont très utiles pour faire face aux situations d'urgence en cas de rupture d'alimentation.

Tous ces équipements permettent, à des échelles différentes, de **minimiser l'impact d'une perturbation** sur le réseau.



2.3.3. TRAITEMENT DE LA PERTURBATION

Une fois la perturbation précisément localisée, il est important d'être **réactif** et d'avoir le personnel **compétent et formé à la gestion d'un chantier sécurisé**, disponible 24h/24. Il est également nécessaire d'avoir un stock d'urgence de pièces et des partenaires liés contractuellement pour réaliser une réparation rapide et pérenne.

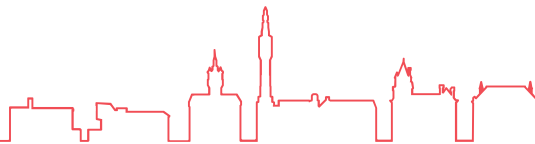
Le délégataire dispose de plusieurs **équipes d'astreintes spécialisées** dans l'exploitation des réseaux urbains et leurs aléas. Les techniciens d'astreintes sont équipés de véhicules d'intervention en voirie et de l'outillage nécessaire pour répondre techniquement à toute situation. **3 ressources** seront disponibles 365 jours par an, 24 heures sur 24, pour intervenir en moins d'une heure sur une perturbation.

Suivant la gravité de la situation et la typologie de perturbation, les ressources d'astreinte pourront soit intervenir seuls sur leur domaine de compétences spécifiques soit en cas de besoin demander le renfort des autres pôles d'astreinte. Le détail des pôles d'astreinte est illustré [en note 3A](#).

De plus, la concession disposera **d'un stock d'urgence de pièces**. En effet, pour pouvoir réparer les tuyauteries définitivement, il faut avoir sous la main les pièces nécessaires. En pré-isolé, l'approvisionnement de pièces comme des coudes ou des tés requiert jusqu'à près d'un mois de délais.

Ce stock de pièces d'urgence sera stratégiquement positionné au centre du réseau **ilénergie**.

Ce stock d'urgence sera alimenté pour avoir à minima le nombre de pièces suffisantes pour gérer les aléas de tout type. Par retour d'expérience, une quantité définie par typologie de pièces et par diamètre nominal a été déterminé comme présenté dans le tableau :



Stock d'urgence pré- isolé	Type de pièce	Type de pièce	Type de pièce
DN	Barre droite	Coude	Té
DN 40	4	4	4
DN 50	4	4	2
DN 65	4	4	2
DN 80	2	4	2
DN 100	2	4	2
DN 125	2	2	2
DN 150	2	2	2
DN 200	2	2	2
DN 250	2	2	2
DN 300	2	2	2



Enfin, Dalkia s'est entouré de **partenaires de confiance**. Fort de notre ancrage territorial, plusieurs prestataires locaux dans les domaines des travaux publics et de la tuyauterie se tiennent à disposition des équipes, disponibles à tout moment pour intervenir d'astreinte. Ces partenaires stratégiques sont engagés contractuellement à intervenir 365 jours par an, 24 heures sur 24 et ont un pôle d'astreinte dédié à ces interventions. La description de nos partenaires se trouve en [note 3A - relative aux moyens déployés pour assurer de service](#).

A titre d'exemple, Resonor a détecté une fuite importante sur l'antenne « Debierre », située face à l'hôtel de ville à 20H30 l'été 2023. Cette fuite étant classée en seuil « gestion de crise » de par la quantité d'eau injectée dans le réseau. Resonor a fait appel à ses partenaires tels que la société ABTP pour le terrassement et la société MUNOZ pour la partie hydraulique. Ce qui a permis aux techniciens d'astreinte Resonor de rétablir le service dans la nuit, et de minimiser l'impact abonné.