



Strasbourg
orchestre sa transition
numérique grâce à l'IA

Financement des projets
De nouvelles pistes à explorer

smartcity^{mag}

Villes et territoires connectés, durables et inclusifs

www.smartcitymag.fr

N°67 mai-juin 2025

Réseaux de chaleur

Maximiser leurs
performances grâce
au numérique ?



interview **Denis Thuriot**, maire de Nevers
et président de Nevers Agglomération

Le numérique au cœur du bilan de mandat



Réseaux de chaleur: maximiser leurs performances grâce au numérique?

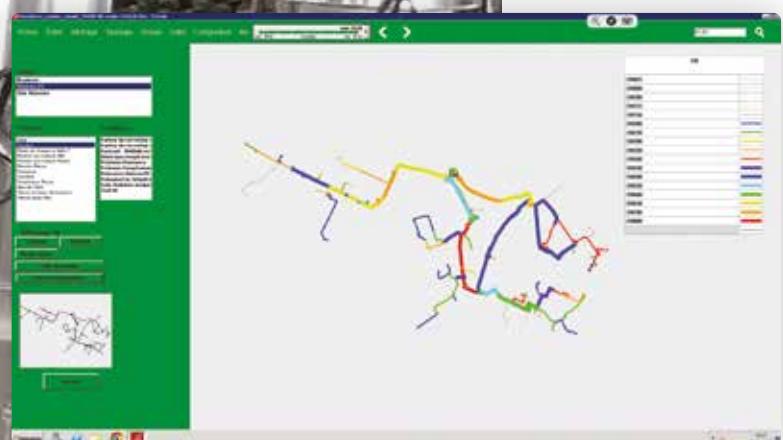


La digitalisation des réseaux de chaleur s'accélère. Principal objectif: améliorer le rendement de ces infrastructures, principalement en identifiant les meilleurs scénarios de fonctionnement et en développant la maintenance prédictive. IoT, IA, jumeau numérique... tour d'horizon des technologies au cœur de la digitalisation des réseaux de chaleur. — **Christophe Guillemin**





IDE



La plateforme
d'Idex permet
d'identifier
les bâtiments
connectés au
réseau de froid
de La Défense

smart
city

17



Le jumeau numérique des infrastructures permet d'en assurer une maintenance prédictive.

En 2025, le secteur des réseaux de chaleur maintient sa forte dynamique en dépassant la barre symbolique du millier d'infrastructures opérationnelles en France, selon les derniers chiffres de la Fedene*. Ces infrastructures de chauffage mutualisé continuent également de se verdir avec plus de 66% d'énergies renouvelables et de récupération (ENR&R) dans leur mix énergétique.

Mais une autre évolution est en cours: leur digitalisation. « *Le numérique occupe une place grandissante dans l'exploitation des réseaux de chaleur* », indique Philippe Provost, directeur des opérations de Dalkia Île-de-France. Même son de cloches chez son concurrent Idex: « *Nous exploitons de plus en plus de solutions numériques, cela est particulièrement vrai pour les réseaux récents et pour ceux de grande taille* », explique Géraldine Picard,

directrice des Opérations Réseaux de chaleur et de froid. *Et depuis une dizaine d'année, nous tirons du câble le long des canalisations des réseaux de chaleur pour répondre aux besoins de cette digitalisation.* »

Cette digitalisation n'est cependant pas aussi avancée que pour d'autres infrastructures urbaines, telles que les réseaux d'eau ou d'éclairage public. « *Nous sommes au début de cette transformation digitale. La marge de progression reste encore forte* », temporise Lionel Guy, chef de département adjoint pour l'énergie, chargé du pilotage technique dédié à la transition énergétique à la FNCCR. « *Nous sommes au milieu du chemin (...) Tous les réseaux n'ont pas la même avancée en termes de digitalisation* », confirme Géraldine Picard.

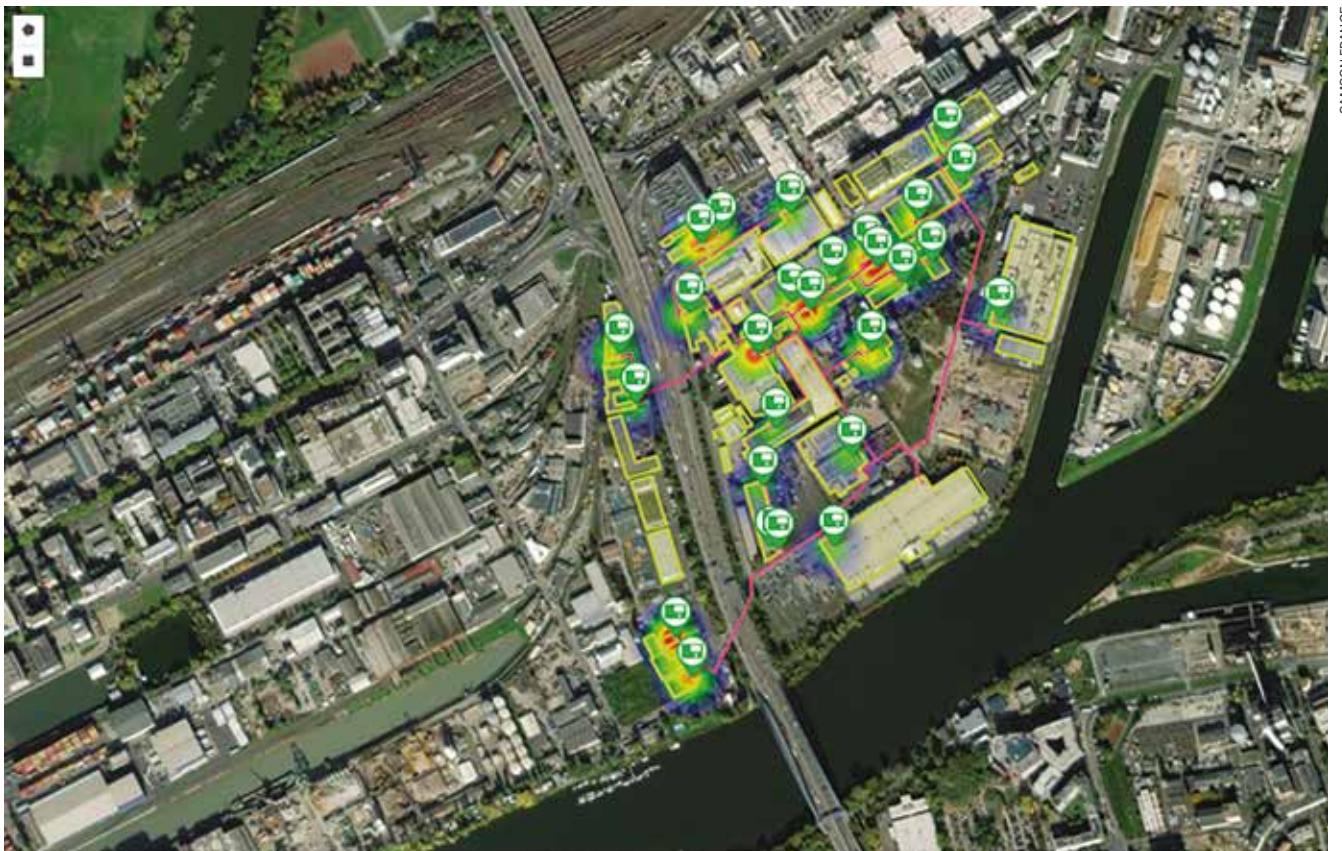
Qu'est-ce qui motive les territoires et leurs exploitants à digitaliser les réseaux de chaleur? La principale raison est l'optimisation des performances et par extension la réduction de l'impact environnemental des réseaux. Autre point: cette digitalisation répond aux enjeux de verdissement des réseaux, qui exploitent de multiples sources d'énergie (biomasse, géothermie, chaleur fatale industrielle...). « *Les réseaux sont de plus en plus multi-énergies et pour faire face à cette complexité grandissante, il est nécessaire d'utiliser le numérique* », souligne Bertrand Nachbaur, président de Fedene Solutions numériques, la branche digitale de la fédération.

Une autre motivation des exploitants est tout simplement de remporter des contrats de délégation ou de les renouveler. Car les territoires

→ **Géraldine Picard**, directrice des Opérations Réseaux de chaleur et de froid chez Idex

« Et depuis une dizaine d'année, nous tirons du câble le long des canalisations des réseaux de chaleur pour répondre aux besoins de cette digitalisation. »





La principale valeur ajoutée de SAM District Energy se situe au niveau de la gestion des données techniques de vannes.

évoquent désormais régulièrement le numérique dans leurs appels d'offres. Grâce à la data, ils souhaitent ainsi vérifier que les objectifs du contrat, notamment sur la performance technique des installations, sont bien respectés. « Les territoires souhaitent également exploiter de la data pour leur propre communication auprès des habitants et notamment auprès des abonnées aux réseaux de chaleur, via leur espace client », poursuit Bertrand Nachbaur.

Comment optimiser le fonctionnement d'un réseau de chaleur ?

L'optimisation des performances des réseaux de chaleur est donc le premier objectif de leur digitalisation. Mais quels sont les principaux leviers d'optimisation de ce type d'infrastructure ? Une composante essentielle est la baisse des températures de fonctionnement.

→ **Lionel Guy**, chef de département adjoint pour l'énergie, chargé du pilotage technique dédié à la transition énergétique à la FNCCR

« Nous sommes au début de cette transformation digitale. La marge de progression reste encore forte »

Plus la température est basse, moins la consommation énergétique des chaufferies est élevée. Pour trouver la température la plus juste, une des solutions consiste à comparer la température de départ (celle injectée sur le réseau) à la température de retour (celle revenant après avoir diffusé la chaleur sur le réseau). « *Le principe est que le delta entre la température de départ et celle de retour doit être le plus élevé possible* », résume Franck Testoris, responsable de la solution SAM District Energy pour la France chez Samson, entreprise allemande spécialisée dans les systèmes et solutions pour le contrôle et la régulation des fluides (lire ci-après). Plus précisément, la différence entre la température de départ et de retour doit être d'environ 20 degrés de moins. « *Cela signifie que les calories ont bien été diffusées et que la production correspond à la demande* », précise Lionel Guy de la FNCCR. Autre levier important : optimiser la maintenance pour que les équipements gardent un haut niveau de performance et ne tombent pas en panne. Enfin, la température du réseau est optimisée en prenant en compte le contexte météorologique et à minima la température extérieure.

Les solutions numériques permettent de jouer sur l'ensemble de ces leviers d'optimisation. Mais comme évoqué précédemment, la première étape est déjà de pouvoir collecter des données techniques. C'est dans cette optique que les réseaux de chaleur s'instrumentent depuis une vingtaine d'années. « *Les automates communicants remplacent progressivement les régulateurs simples de sous-stations et permettent la connexion des différents équipements des réseaux (...)* En devenant communicants, ces automates envoient des données (débit, pression, température ...) à une





Un POC IA sur le réseau de La Défense



Le célèbre quartier d'affaires et d'habitations de Paris-La Défense dispose du plus grand réseau de chaleur et de froid de France. Cette

Le réseau de froid de la Défense est l'un des 43 réseaux de froid en France.
infrastructure est connectée à 160 immeubles de

bureaux et établissements publics ainsi que 66 bâtiments d'habitation et 56 commerces. D'une longueur de 27 km pour la partie chaleur, ce réseau est alimenté à plus de 50% en ENR&R. Son exploitation est assurée par Idex depuis 2002. Le digital y est particulièrement développé avec les historiques de fonctionnement, le monitoring et la maintenance prédictive. Depuis début 2025, un POC (proof of concept) autour de l'IA a également été lancé. Son objectif: évaluer comment l'IA peut optimiser les

paramètres des automates avec de nouveaux éléments comme le sens du vent ou l'humidité de l'air. « L'IA donne des recommandations en traitant un plus grand nombre de paramètres que les algorithmes classiques », confie Olivier Fleck, directeur d'agence Idex La Défense. En perspective: « Revoir le modèle de prévision de la demande pour tenir compte des dernières évolutions climatiques et la réduction de consommation des abonnées, suite notamment au décret tertiaire qui pousse à davantage de sobriété énergétique. »

console de supervision qui permet de visualiser l'état de fonctionnement du réseau », décrit Frédéric Knittel, product manager IoT Smart Environment chez Lacroix Environnement, fournisseur de solutions pour les exploitants de réseaux de chaleur et de froid.

Notons qu'il s'agit surtout de recevoir des informations sur des tableaux de bords, pour avoir une vue d'ensemble du réseau et ensuite d'éventuellement envoyer des équipes sur place. Le véritable pilotage à distance (avec du contrôle commande) est encore embryonnaire. Le réseau de Grenoble Alpes Métropole, est un des rares à mettre en œuvre ce pilotage à distance (lire encadré).

Exploiter les historiques de fonctionnement

Une fois cette instrumentation en place, il est alors possible de générer des historiques des données techniques. Et grâce à ces historiques, des algorithmes peuvent identifier les meilleurs scénarios de fonctionnement, principalement au niveau des paramètres des sous-stations. C'est l'un des principes du logiciel « Rezonance », outil d'aide à la décision pour les équipes opérationnelles, déployé par Dalkia.

« Rezonance donne des recommandations sur les optimisations possibles des paramètres des sous-stations, principalement sur les températures, les débits et les pressions. Pour cela, il exploite notamment des modèles issus des nombreux historiques d'exploitation des autres réseaux de chaleur et de froid exploités par Dalkia », confie Bruno Provost, responsable d'Unité Opérationnelle chez Dalkia.

L'exploitation des historiques est également évoquée par Olivier Fleck, directeur d'agence Idex de La Défense: « Nous avons commencé par mettre en place un archivage des données technique du réseau en 2014 (pressions, températures, débits...) afin d'analyser son fonctionnement. Ensuite nous avons exploité ces données pour optimiser le fonctionnement du réseau, par exemple en jouant sur la priorité d'engagement des équipements » (lire encadré).

Monitoring et maintenance prédictive

Si le pilotage à distance n'est pas encore généralisé, la « simple » surveillance du réseau ou « monitoring » permet déjà de vérifier que le bon fonctionnement du réseau. Pour cela, Dalkia dispose par exemple de sept « tours de contrôle » implantées en régions. Ces DESC (Dalkia Energy Savings Centers) analysent en temps réel les données transmises par les réseaux de chaleur, mais aussi les installations ou équipements de bâtiments publics, logements, bureaux, usines, centres commerciaux ou établissements de soins gérés par Dalkia. « Des sondes d'ambiance, installées dans les bureaux ou logements, permettent également de compléter les données des équipements du réseau, avec la température effective relevée dans les espaces chauffés ou refroidis », détaille Philippe Provost.

A l'échelle d'un site, des logiciels vont également assurer le monitoring du réseau via un superviseur ou même un hyperviseur pour les réseaux les plus larges. Chez Dalkia, cette application de monitoring est donc baptisée Rezonance. « Les données servent au pilotage mais aussi à la communication, précise l'exploitant. Elles alimentent par exemple un espace client où le délégué peut visionner des tableaux de bord, ce qui facilite ainsi ses échanges auprès des habitants et usagers (...) Les abonnés disposent eux-mêmes d'un accès propre avec des informations sur leur réseau, ce qui constitue un vecteur de communication pour le territoire. Et quand un abonné se plaint d'un problème, les données permettent d'objectiver la situation, sachant que le sentiment de chaleur ou de froid demeure toujours un sujet très subjectif. »

Le véritable pilotage à distance avec du contrôle commande est encore embryonnaire.



SCHNEIDER ELECTRIC

▲ Tous les paramètres du réseau peuvent être suivis.

L'ensemble des fonctions de Rezonance sont aujourd'hui totalement exploitées par plus d'un tiers des quelque 330 réseaux de chaleur et de froid de Dalkia, les autres étant en phase de modélisation ou d'équipement.

Outre les solutions «maison» des exploitants, d'autres logiciels de monitoring se développent sur le marché. Depuis trois ou quatre ans, Samson France commercialise l'application SAM District Energy (qui devrait être prochainement utilisée par Idex). « SAM District Energy est une application de type portail qui est conçue pour aider à gérer, utiliser et optimiser les réseaux de chaleur. Elle centralise les données techniques des équipements connectés (valeurs des compteurs, valeurs des températures, dans les sous-stations...). Ces données permettent d'évaluer la performance des réseaux, en visualisant sur

une carte des zones optimisées ou non, et ainsi d'en améliorer l'efficacité », relate Franck Testoris.

La principale valeur ajoutée de SAM District Energy se situe au niveau de la gestion des données techniques de vannes: « Nous sommes un des leaders européens de la fabrication de vannes et nous équipons une majorité des réseaux en France. En utilisant SAM District Energy avec nos vannes, il est ainsi possible de collecter de nombreuses données techniques (ouverture/fermeture, nombre de démarques, temps de fonctionnement, taux d'ouverture...). Cela permet de réaliser des diagnostics précis des vannes et de faire de la maintenance préventive et même prédictive. »

Rappelons que le principe de la maintenance prédictive consiste à analyser les signaux faibles de dysfonctionnement afin d'anticiper une perte de performance ou un risque de panne. Les équipes de maintenance peuvent ainsi agir avant que l'incident ne se produise. « Les techniciens reçoivent des alertes par SMS ou par mail. Des API permettent d'intégrer notre solution sur une supervision ou une solution de GMAO (gestion de maintenance assistée par ordinateur, NLDR) », ajoute Franck Testoris.

Dalkia et Idex évoquent également le développement de la maintenance prédictive. C'est aussi un volet d'optimisation de la solution «EcoStruxure Water Advisor - District Energy», développée par Schneider Electric, qui équipe plusieurs dizaines de territoires en France. « Cette plateforme intègre des modèles d'algorithmie pour faire de la maintenance prédictive. Elle sert par exemple de déceler des fuites, à identifier des équipements en panne ou être alerté en cas des dégagements de chaleur anormale »,



→ **Bertrand Nachbaur**, président de Fedene Solutions numériques, la branche digitale de la fédération

« Les réseaux sont de plus en plus multi-énergies et pour faire face à cette complexité grandissante, il est nécessaire d'utiliser le numérique »



Le logiciel Rezonance, au cœur de la gestion du réseau de Courbevoie



Le réseau Seinergie de la Ville de Courbevoie, opéré par Dalkia, chauffe 11 000 équivalents

logements. Une de ses particularités est d'exploiter de la récupération de chaleur issue d'un réseau

Une tour est construite au-dessus de la centrale de froid de la Défense, ce qui en fait une particularité en France.

d'eau de Seine réchauffée par les groupes de froid des systèmes de climatisation de La Défense.

Il est structuré autour de 150 sous-stations, toutes équipées pour envoyer en temps réel les données de fonctionnement au logiciel Rezonance.

Cet outil est utilisé par les équipes opérationnelles pour connaître les scénarios d'optimisation des paramètres des

sous-stations.

Rezonance sert également à identifier des sous-stations qui perturbent le réseau, via un système d'alerte.

« *Et si un abonné signale un problème, les équipes opérationnelles se connectent à Rezonance et peuvent vérifier la situation* », explique Bruno Provost, responsable d'Unité Opérationnelle chez Dalkia.

« *Rezonance est aussi exploité pour optimiser l'utilisation des ENR&R, notamment pour le fonctionnement des pompes à chaleur qui récupèrent et valorisent l'énergie fatale des groupes de froid de La Défense.* »

rappelle Louis Feucherolles, responsable marketing segment.

Jumeau numérique et IA

La plateforme de Schneider Electric permet également de gérer le réseau de chaleur via un « jumeau numérique », clone virtuel simulant le fonctionnement de l'infrastructure. « *En phase de conception, le jumeau numérique permet déjà de dimensionner le réseau pour que son rendement soit optimal. Ensuite, durant l'exploitation, il va servir à monitorer l'infrastructure et ses équipements en temps réel* », analyse-t-il. Selon Schneider Electric, le jumeau numérique « apporte de l'intelligence » en donnant du contexte aux données envoyées par les équipements. L'outil peut par exemple combiner des prédictions météo et des coûts de l'énergie. Rappelons que le principal avantage d'un jumeau numérique reste de traiter des données en provenance de multiples sources, qui sont ensuite exploitées via une représentation virtuelle en 2D ou en 3D (lire notre dossier sur le jumeau numérique dans N°66). « *Le jumeau numérique est connecté aux superviseurs du réseau et aux systèmes Scada historiques (Scada = système de contrôle et d'acquisition de données en temps réel pour l'industrie, NDLR)* », précise ainsi Louis Feucherolles.

La commercialisation de cette solution en France est « en phase d'accélération ». Mais ce type d'outil offrirait des résultats très prometteurs, assure Schneider Electric. « *En moyenne, le jumeau numérique permet de réaliser 20% d'économies sur le coût du réseau et de gagner 25% de performances opérationnelles. Le ROI est en général de 18 mois.* » Idex évoque également des travaux autour du jumeau numérique : « *Nous travaillons sur le sujet et commençons à avoir les premiers résultats* », confie Géraldine Picard.

Autre évolution récente du secteur : l'intégration de briques d'intelligence artificielle (IA) dans la gestion des réseaux. Chez Dalkia, les DESC exploitent déjà de l'IA

pour surveiller le fonctionnement des réseaux de chaleur et générer des alertes. « *Mais ce sont les analystes humains qui donnent les consignes* », souligne-t-on chez l'exploitant. Son logiciel Rezonance intègre également de l'IA pour traiter les données et proposer ses recommandations d'optimisation.

Idex évoque également le développement de l'IA dans son activité d'exploitant de réseaux de chaleur. « *L'intelligence artificielle est testée pour analyser les grands volumes de données des réseaux et les croiser avec d'autres informations, comme le contexte météorologique. Un POC autour de l'IA est par exemple mené sur un réseau de La Défense* », annonce Géraldine Picard (lire encadré).

L'IA ne fait aujourd'hui que traiter de la donnée et proposer des scénarios d'optimisation. Mais pourrait-elle prochainement piloter les réseaux de chaleur ? C'est un avenir plus que probable. « *L'avenir sera forcément que l'IA prendra progressivement les commandes et piloteera en temps réel de plus en plus d'installations* », prédit Philippe Provost. Une vision partagée par les principaux acteurs du secteur.

L'épineuse question de la cybersécurité

A mesure que la digitalisation des réseaux de chaleur s'accélère, la question de la cybersécurité s'impose sans surprise comme une problématique majeure. Les réseaux de chaleur sont en effet largement basés sur des solutions industrielles relativement anciennes qui n'ont pas été pensées nativement avec une approche de cyberprotection. Les risques de failles sont donc non négligeables. « *Il n'y a pas de risques qu'une sous-station explose. Mais une cyberattaque de type ransomware peut entraîner un blocage du système et la demande d'une rançon* », commente Cédric Castella, responsable grands comptes du groupe Lacroix.

Cet enjeu autour de la cybersécurité, et plus large-



IoT et pilotage à distance sur le réseau de Grenoble



CCIAg

Deuxième réseau de chaleur le plus important de France (après celui de Paris), le réseau de Grenoble Alpes Métropole mesure 195 Km de long, est raccordé à 100 000 équivalents logements et est alimenté à 80% en ENR&R (90% prévu pour 2027). Il intègre 1 400 sous-stations, toutes

Toutes les sous-stations du réseau de chaleur de Grenoble Alpes Métropole sont monitorées à distance.

monitorées. « Depuis deux à trois ans nous testons également l'utilisation de la communication descendante pour envoyer des consignes vers les sous-stations et ainsi

faire du pilotage à distance depuis un hyperviseur », explique Nicolas Giraud, directeur de la production et des projets de la CCIAg (compagnie de chauffage intercommunale de l'agglomération grenobloise). « Ceci afin de moduler les appels de puissance des bâtiments les plus inertes lors des pics de consommation. La demande globale d'énergie est par ailleurs anticipée grâce à un outil numérique de prévision et d'optimisation de la production. Il intègre des algorithmes qui vont combiner des historiques de données et des prévisions météo pour prédir la demande ». Depuis 2024, la CCIAg a aussi déployé 250 capteurs de fuites (500 prévus à terme) qui lancent des alertes en cas d'augmentation brutale de

la température et de présence d'eau à proximité des canalisations. Ces deux observations signifient en effet qu'il y a une fuite. « La principale difficulté rencontrée dans ce projet a été de trouver des capteurs suffisamment robustes pour évoluer dans un milieu hostile, avec notamment de l'eau chaude sous pression », confie Nicolas Giraud. En réflexion : exploiter les données de ces capteurs IoT pour prédir les fuites avant qu'elles ne surviennent ou encore identifier d'autres anomalies que les fuites (ex: dégradation de calorifuge). Dans le cadre d'un partenariat de R&D avec le CEA, des outils de maintenance prédictive, basés sur l'IA, sont aussi en cours de développement.

ment de la protection des données, est de plus en plus présent dans les appels d'offres des collectivités, indiquent les acteurs du secteur. Et du côté des industriels, les outils de cybersécurité sont également de plus en plus présents dans leurs offres. Lacroix Environnement évoque par exemple le développement de la gestion individuelle des utilisateurs et des droits d'accès avec un compte spécifique (login + mot de passe) pour chaque utilisateur. « Cela est plus sécurisé que des comptes génériques utilisés par une équipe entière, qui restent hélas encore parfois le cas », regrette Cédric Castella.

Autre protection: le chiffrement des données de bout en bout, des équipements à la console de supervision. Des solutions d'authentification des mises à jour sont également proposées, afin de vérifier la fiabilité des mises à jour des équipements communicants.

→ **Franck Testoris**, responsable de la solution SAM District Energy pour la France chez Samson

« En utilisant SAM District Energy avec nos vannes, il est ainsi possible de collecter de nombreuses données techniques (ouverture/fermeture, nombre de démarriages, temps de fonctionnement, taux d'ouverture ...). Cela permet de réaliser des diagnostics précis des vannes et de faire de la maintenance préventive et même prédictive. »



CGM

Le débit, la pression et la température sont les trois principales mesures relevées en temps réel par les capteurs connectés dans les sous-stations.

Pour son réseau de La Défense, Idex évoque pour sa part des données stockées sur site, sur un réseau local avec « de nombreux process » de cyberprotection.

Selon les acteurs du secteur, la digitalisation des réseaux de chaleur devrait encore s'accélérer. Et avec elle les enjeux de cybersécurité vont prendre de l'ampleur, ce qui constitue une petite révolution pour le secteur. « Un réseau d'une ville qui ne fonctionne pas est bien entendu un problème majeur pour un territoire, qui va générer du mécontentement auprès de la population et un enjeu réputationnel pour l'opérateur », observe Cédric Castella. « Par ailleurs, avec la directive NIS 2, ces enjeux de cybersécurité seront encore renforcés pour les territoires », conclut-il. —

* Enquête des réseaux de chaleur et froid- Édition 2024