

CVC

CONDITIONNEMENT D'AIR

CHAUFFAGE

VENTILATION

LE DOSSIER DES CLIMATICIENS

www.aicvf.org

Juin-Juillet 2023

Réseaux de chaleur et réseaux de froid

EXTRAIT
DU N° 920
DE CVC





Réseaux de chaleur et réseaux de froid

Dossier coordonné par Franck Benassis, Jean-Christophe Léonard et José Naveteur

Les réseaux de chaleur constituent le principal levier pour mobiliser massivement certains gisements d'énergies renouvelables et de récupération (ENR&R), pour décarboner le chauffage ou le rafraîchissement dans les secteurs résidentiel et tertiaire. Dans ce dossier nous vous proposons un article de l'ADEME sur les boucles d'eau tempérées géothermiques, puis la FNCCR aborde l'importance du suivi et de l'implication de l'ensemble des acteurs pour la réussite dans le temps d'un réseau de chaleur. En complément sont présentés de nouveaux éléments

pour le classement des réseaux de chaleur et de froid. Les réseaux de chaleur et de froid auront à l'avenir un rôle à jouer pour apporter du confort, une sécurité énergétique aux habitants en limitant l'effet d'îlots de chaleur urbains auxquels les systèmes individuels contribuent. Ce qui nécessite devant la complexité croissante de contraintes à prendre en compte, de disposer de solutions digitales pour leur conception dans l'intégration d'un quartier ou d'un territoire ainsi que pour en optimiser la conduite. Pour finir, nous présenterons un réseau qui se développe en Italie.

Les boucles d'eau tempérée géothermiques, une solution énergétique pertinente pour répondre aux enjeux de décarbonation des bâtiments

➤ Les Boucles d'Eau Tempérée Géothermiques (BETG) sont considérées comme des systèmes énergétiquement efficaces et durables, car elles exploitent des énergies renouvelables et de récupération. Elles peuvent ainsi contribuer à diminuer la consommation d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre associées au chauffage et au refroidissement des bâtiments. Ceci en fait une option attrayante dans le contexte énergétique actuel axé sur l'indépendance énergétique, la réduction des émissions de carbone et la transition vers les énergies renouvelables. Cet article vise à présenter un premier bilan chiffré des opérations de BETG en France soutenues par l'ADEME, l'Agence de la Transition Ecologique.

Qu'est-ce qu'une BETG ?

Un système de Boucle d'Eau Tempérée Géothermique (BETG) est constitué d'un réseau de distribution d'eau à basse température généralement comprise entre 10 et 25 °C qui échange avec une source d'énergie renouvelable ou de récupération et qui relie entre elles des sous-stations de production. Dans celles-ci, sont installées une ou plusieurs pompes à chaleur qui vont puiser ou réinjecter des calories ou frigories sur la BETG en fonction des besoins de chaud et de froid des bâtiments desservis. On parle ainsi de systèmes de productions décentralisées contrairement aux réseaux de chaleur et de froid « classiques » qui sont alimentés par des moyens de production centralisée.

Les BETG valorisent principalement les sources d'énergie renouvelable et de récupération suivantes :

- L'énergie géothermique prélevée sur un aquifère superficiel (eau de nappe souterraine) ou sur un champ de sondes géothermiques, ...);
- L'énergie thalassothermique (eau de mer) ;
- L'énergie cloacothermique prélevée sur les eaux usées en collecteurs d'assainissement, en postes de relevage ou sur les effluents en sortie de station d'épuration.

Les atouts des BETG

Ces solutions offrent de multiples avantages pour les maîtres d'ouvrage publics et privés que ce soit à l'échelle de plusieurs bâtiments, d'îlots voire d'éco-quartiers :

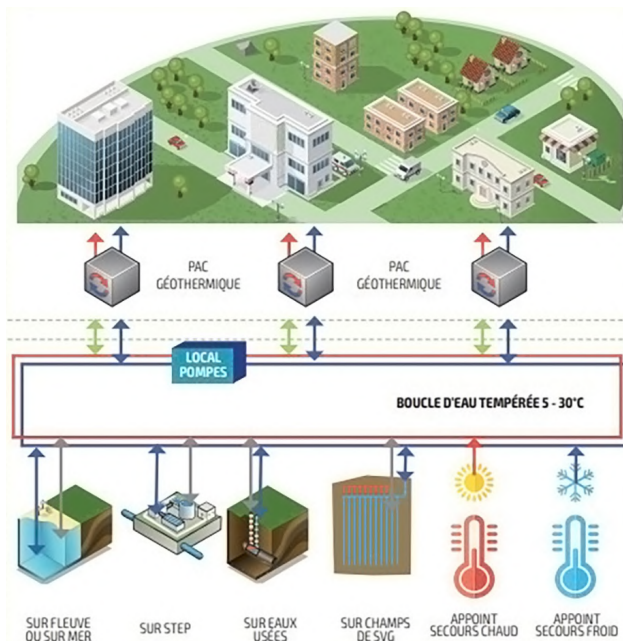


Illustration n°1 : schéma de principe d'une BETG (source AFPG)

- La maîtrise de la facture énergétique des usagers raccordés à la BETG avec une visibilité long terme sur les coûts de la chaleur et du froid ;
- Une technologie performante sur le plan énergétique et environnemental ;
- La promotion de ressources énergétiques locales, disponibles 24h sur 24, indépendantes des conditions >>>

climatiques et ne nécessitant pas de transport :

- Une technologie adaptable aux différents besoins thermiques des bâtiments (chauffage, eau chaude sanitaire et/ou froid) et aux niveaux de température requis dans chaque bâtiment ;
- Une intégration paysagère harmonieuse et évolutive par rapport au déploiement d'un programme immobilier ou d'aménagement d'une zone d'activités.

C'est pourquoi depuis plus d'une dizaine d'années, l'ADEME accompagne la mise en œuvre des opérations de BETG grâce au dispositif Fonds chaleur et attribue des aides aux études de projets et aux investissements¹. Les études de faisabilité de solutions BETG sont financées avec un taux d'aide variant de 50 à 70 % des coûts selon la catégorie du bénéficiaire (collectivités ou entreprises) et sous réserve de recourir à des prestataires qualifiés. Les subventions accordées à la réalisation des installations sont déterminées par une analyse économique permettant d'assurer la viabilité économique de l'opération sur sa durée de vie (donc a minima 20 ans).

Premiers retours sur les projets financés par l'ADEME

A fin 2022, ce sont près d'une trentaine d'opérations déjà en service ou en cours de réalisation qui ont été financées par l'ADEME pour un montant total d'investissements de l'ordre de **216 M€** et un montant d'aide Fonds chaleur de **66,7 M€**.

Concrètement, l'ensemble de ces installations représentent :

- Environ **52 km de BETG** déployés ;
- Près de **166 GWh/an d'EnR&R** valorisés permettant de couvrir **203 GWh/an de besoins en chaud et en froid** ;
- Plus de **3 millions de m² de surface** de plancher desservi (de 4000 m² à plus de 800 000 m²).

La majorité des projets concerne l'alimentation en chaud et froid d'un mix de bâtiments résidentiels collectifs et tertiaires (bureaux, hôtels, commerces...).

La plupart d'entre eux sont localisés dans la moitié sud de la France mais aussi plus au nord dans les régions Ile-de-France, Hauts de France, Pays de la Loire.



Illustration n°2 : localisation géographique des projets de BETG financés par l'ADEME à fin 2022

On peut citer en particulier :

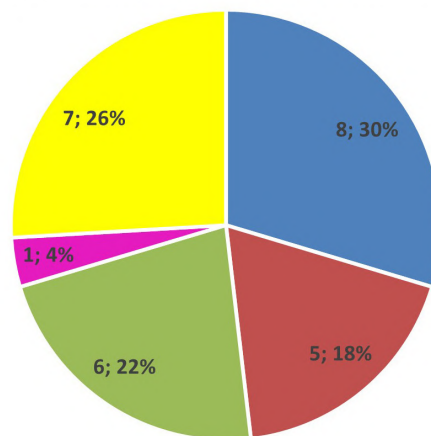
- La boucle d'eau tempérée thalassothermique de Mas-sileo qui alimente en chaud et en froid un éco-quartier de Marseille
- La boucle d'eau tempérée qui échange avec les effluents en sortie de la station d'épuration des eaux Haliotis et qui dessert la ZAC Grand Arénas à Nice
- La boucle d'eau tempérée sur champ de sondes géothermiques pour les bâtiments du siège social d'Airbus à Blagnac

La typologie et taille des projets subventionnés sont très variées démontrant ainsi tout le potentiel de développement de ces solutions.

Différentes ressources EnR&R valorisées

Comme le montre le graphe n°1, les systèmes de BETG valorisent différentes ressources EnR&R locales dont principalement l'énergie des eaux usées ou des effluents en sortie de station d'épuration sur le panel des projets financés. Une BETG un peu plus atypique a été mise en œuvre sur le pôle d'activités Yvon Morandat à partir de la récupération d'énergie des eaux de mines envoyées de Gardanne dans les Bouches-du-Rhône.

Répartition des BETG en fonction de la ressource EnR&R valorisée



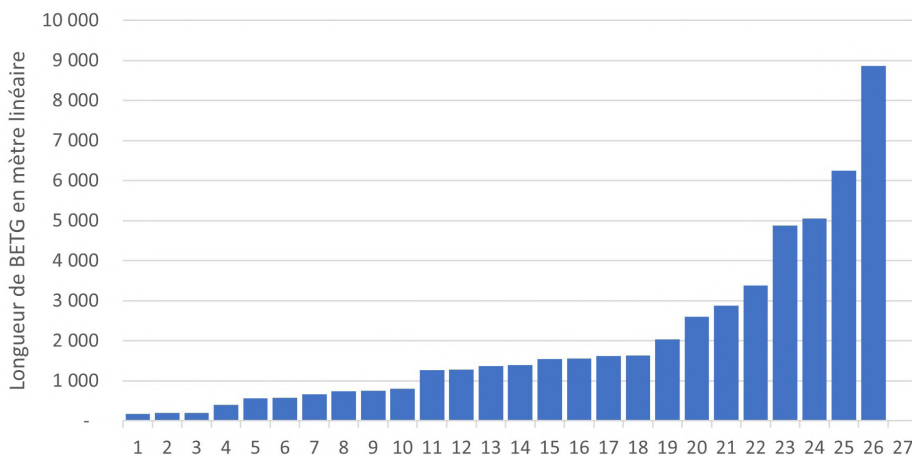
- STEP & eaux usées
- Eau de mer
- Champ de sondes
- Puits de mine
- Aquifère superficiel/intermédiaire
- Eaux de surface

Graphe n°1 : Répartition des opérations de BETG selon la ressource EnR&R valorisée

Des projets de plus ou moins grande envergure

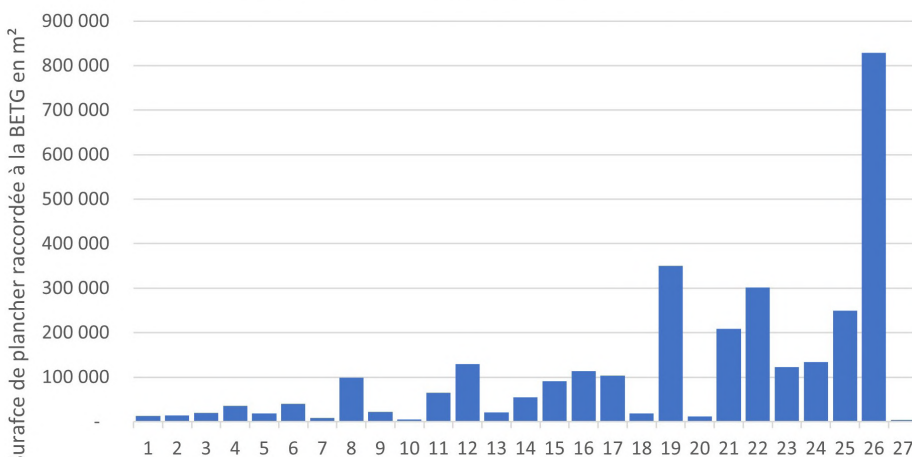
Les longueurs de réseau d'eau tempérée déployées (Graphe n°2) sont très variables d'un projet à un autre (de 200 à près de 9000 mètres linéaires selon l'envergure des projets). Toutefois, plus de deux tiers des opérations concernent une boucle d'eau tempérée de longueur inférieure à 2000 mètres.

Longueur prévisionnelle de tranchée en ml



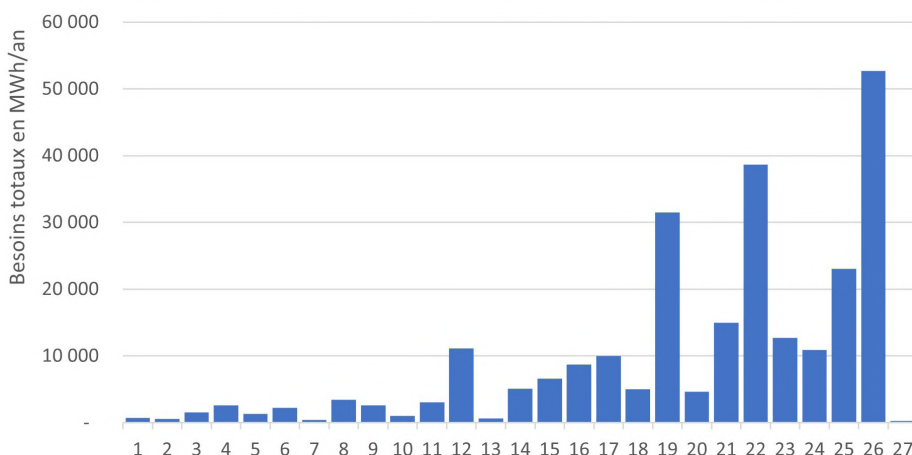
Grappe n°2 : Taille des projets en fonction de la longueur prévisionnelle de la BETG

Surface prévisionnelle de plancher en m²



Grappe n°3 : Taille des projets en fonction de la surface de plancher prévisionnelle des bâtiments raccordés à la BETG

Besoins prévisionnels en chaud et froid (en MWh/an)



Grappe n°4 : Taille des projets en fonction des besoins prévisionnels en chaud et froid des bâtiments raccordés à la BETG

Les opérations de BETG accompagnées desservent des ensembles de bâtiments dont la taille (Grappe n°3) peut varier de moins de 4000 m² à plus de 800 000 m² de superficie totale de plancher. Le projet n°26 concerne la BETG sur la nappe aquifère de l'Albien du plateau de Paris Saclay en Ile-de-France.

La majorité des opérations permettent de couvrir des besoins de chaud et de froid (Grappe n°4) mais dans des proportions très variables dépendant de la localisation géographique et de la proportion de bâtiments dédiés aux logements collectifs et au tertiaire.

Conclusion

Des besoins en froid croissants ces dernières années sur de nombreux bâtiments conjugués plus récemment à une envolée du prix des énergies fossiles suscitent un intérêt grandissant pour cette technologie. L'ADEME constate une augmentation du nombre de dossiers de demande d'aide en instruction et des études de faisabilité en cours. Toutefois, la diversité des projets en termes de taille et de ressources EnR&R valorisées sur la BETG nécessitera encore un peu de recul à l'ADEME avant de pouvoir simplifier le processus d'attribution des subventions Fonds chaleur aux investissements et de pouvoir proposer éventuellement des aides forfaitaires pour les projets plus modestes.

1. <https://agirpourlatransition.ademe.fr/entreprises/aides-financieres/2023/installations-production-chaleur-froid-a-partir-boucle-deau-temperee>

Astrid Cardona
Maestro, référente nationale géothermie de surface à l'ADEME



➔ RÉGULATION ➔ USAGERS ➔ CONTRÔLE ➔ COLLECTIVITÉS ➔ URBANISME ➔ OPTIMISATION

Facteurs de réussite d'un réseau de chaleur : un travail avant tout partenarial !

➔ Le réseau de chaleur apparaît comme un outil-clef des politiques de décarbonation des territoires ; porté par les collectivités et les exploitants, ils permettent une transition énergétique rapide en mobilisant les ressources locales. Pourtant, tout n'est pas aussi simple dans le déploiement d'un réseau, et le succès de celui-ci dépend avant tout du suivi et de l'implication de l'ensemble des acteurs qui y travaillent, pendant sa conception mais aussi lors de son exploitation sur le long-terme. Ainsi, loin d'être un sujet uniquement technique, l'aspect humain reste l'un des éléments-clefs de la réussite, comme mis en avant dans l'ouvrage « Les réseaux de chaleur, chauffer durablement les territoires urbains et ruraux » publié chez Dunod.

Suivre dans la durée son réseau et avoir un couple délégant-délégataire efficace

Les retours sont en effet unanimes : un réseau de chaleur qui fonctionne, 40 ans après sa mise en service, est un réseau pour lequel le suivi a été continu. Et au cœur de ce suivi, figure (dans le cas d'une concession), la relation efficace entre le concessionnaire et la collectivité, sur la base de bons indicateurs. Ainsi, si la collectivité ne se préoccupe plus de son réseau, l'exploitant risque lui aussi de rester sur le périmètre initial, de manquer des nouvelles ZAC, des raccordements de bâtiments, de ne pas avoir assez d'éléments pour équilibrer les baisses de puissances souscrites suite aux renouvellements énergétiques. De l'échange vertueux et continu entre la collectivité et son exploitant dépend le bon développement du réseau.

Obligation réglementaire d'une autorité concédante côté collectivité, il lui permet ce suivi régulier et aide au développement du réseau de chaleur, grâce à un cercle vertueux permettant l'optimisation continue du réseau. Au-delà de chercher à se conforter à ce que prévoit la loi, il s'agit de faire de ce rendu régulier un vrai outil, qui vient en complément des autres actions de suivi de son réseau de chaleur par la collectivité, notamment le contrôle continu.

Si le rapport annuel de la concession représente le grand rendez-vous de la collectivité avec son délégataire, il est loin d'être le seul ! Et pour que ce rendez-vous soit réussi, rendez-vous auquel sont associés les usagers du service public, il s'agit de mener une action continue de contrôle, qui profitera, encore une fois, au développement long terme du réseau de chaleur.

Le contrôle peut se décliner sur des aspects techniques, économiques et juridiques ; notons par exemple :

- Visites techniques annuelles ou semestrielles des chaufferies et sous-stations primaires
- Contrôle de la conformité de l'exploitation au contrat de délégation
- Contrôle du bilan énergétique, faisabilité d'un raccordement, d'un nouveau moyen de production d'ENR&R, etc.
- Analyse des problèmes techniques ou contractuels
- Propositions d'optimisation des installations et avis sur les propositions du délégataire
- Contrôle des travaux de gros entretien renouvellement.

Le coût du contrôle par la collectivité de son réseau de chaleur peut être quantifié dans les charges de la concession, via notamment une redevance de contrôle versée annuellement par le délégataire au délégant pour financer le contrôle (entre 25 k€ HT et 100 k€ HT selon la taille du réseau et les compétences demandées (techniques et/ou financières et ou juridiques).

Construire un projet partagé

Au-delà de la bonne entente entre délégataire et collectivité, c'est la relation avec l'ensemble des parties prenantes qui est importante dans le déploiement d'un réseau de chaleur, et doit se traduire notamment par plusieurs vecteurs d'information. La communication a en effet des effets positifs en termes de :

- Réalisation des travaux et amoindrissement des nuisances perçues ;
- Relations avec les abonnés dans le service au quotidien, permettant d'anticiper des plaintes éventuelles, notamment en termes d'aide à la bonne compréhension de la facturation ;
- Relations avec de futurs prospects à raccorder au réseau de chaleur.

Afin de prévenir efficacement toutes réclamations et d'assu-



Chaufferie à bois

rer une bonne gestion du service public, l'action de la collectivité et de l'exploitant (public ou privé) du réseau de chaleur doit se placer sur l'ensemble des phases du développement du réseau.

Ainsi, la mise en place de réunions d'information avec les futurs prospects et riverains concernés par les travaux de réseau avec notamment l'envoi régulier de courrier comprenant des informations sur l'avancée des travaux, l'affichage des panneaux de chantier et la visite régulière pour les habitants du chantier, la sensibilisation des scolaires, des communiqués de presse et articles dans la presse locale, un site internet à jour et des supports de communication, au-delà de la seule phase chantier, par exemple avec des mini-magazines ou une exposition itinérante.

La communication se joue aussi au plus près des usagers, par exemple lors des réunions de comités de quartiers, des assemblées générales des copropriétaires, des formations des syndicats d'immeubles ou des gardiens, etc.

Bien qu'il n'y ait pas de relations contractuelles directes entre les usagers du réseau de chaleur (i.e. propriétaires, locataires) et la collectivité, ce lien se faisant entre l'exploitant et l'abonné, la pratique nous enseigne que lorsqu'il y a un problème, les retours des usagers vers la collectivité sont assez directs, et ce quel que soit le mode de gestion. Les effets vertueux d'une bonne relation client ne sont pas à démontrer. On notera plus particulièrement qu'un usager

informé est un usager qui peut mieux comprendre la dynamique de son mode de chauffage, avec les atouts et limites que celui-ci présente et se montrera plus enclin à recourir ou à accepter des modes amiables (i.e. non contentieux) de résolution des litiges rencontrés. Par ailleurs, l'association des concitoyens et concitoyennes à la gestion du réseau, dans une logique concrète de démocratie participative et de participation à la gouvernance du service public, analogue à celle qui prévaut depuis de nombreuses années dans le domaine de l'eau par exemple, permet une évaluation en continu de ces services et l'amélioration de l'action du service public.

Si la commission consultative des services publics locaux (CCSPL), prévue à l'article L. 1413-1 du code général des collectivités territoriales (CGCT), a pour vocation de permettre l'expression des usagers des services publics par la voie des associations représentatives et contribue ainsi à la participation des citoyens au fonctionnement des services publics, elle n'est pas suffisante. Il est ainsi intéressant de développer un organe d'échange moins formel, pour faciliter la fluidité des échanges, comme peut l'être un comité d'usagers. En effet, si le réseau dessert les abonnés (syndicats de copropriétés, bailleurs sociaux, hôpitaux, bureaux, bâtiments d'enseignement...), véritables « usagers du service public », les « usagers » au sens réseau de chaleur (soit les coproprié-



taires, les locataires et occupants, etc.) ont également des retours importants à porter sur le réseau de chaleur, il est donc structurant de les inclure, directement ou via leurs représentants (associations de copropriétaires, de locataires, etc.).

Dans le cadre des réseaux de chaleur, le comité des usagers n'a pas de valeur réglementaire ni de définition juridique : autrement dit, aucun texte n'oblige sa création ou sa tenue, contrairement par exemple à la CCSPL. C'est ainsi une libre initiative de la collectivité qui peut néanmoins entériner sa création par une délibération de la collectivité portant le service. Il est conseillé d'avoir un comité d'usagers par réseau de chaleur, même s'ils sont liés par un même maître d'ouvrage (par exemple une métropole), sauf dans le cas où il peut y avoir un lien technique ou contractuel entre différents réseaux (interconnexion de réseaux ou moyen de production partagé, dont le fonctionnement sur un réseau entraîne de facto un impact sur un autre réseau). Une autre variante peut consister à avoir un comité global, traitant des problématiques transverses et communes à tous les réseaux, et des sous-comités par réseau de chaleur, traitant des problématiques spécifiques.

Toutefois, il est important de garder en tête qu'il est possible que l'envie d'implication des membres du comité varie, et qu'il peut être intéressant de prévoir une fréquence de renouvellement tous les deux ans par exemple, afin de permettre à ceux qui ne peuvent plus siéger de laisser leur place à d'autres, et de s'assurer régulièrement de leur implication en leur proposant services et outils pour maintenir le lien créé, résultant d'un investissement réciproque.

Relier urbanisme et énergie pour optimiser le développement commercial

Énergie, urbanisme et aménagement : trois domaines essentiels dans la vie d'une collectivité et des acteurs privés, mais dont les fonctions opérationnelles et les orientations politiques sont pourtant séparées. Pour autant, pour qui sait lire ces textes réglementaires parfois complexes d'approche lorsqu'ils ne relèvent pas de notre spécialité, un certain nombre de leviers peut être mis en avant.

Le droit de l'urbanisme accorde une place privilégiée à l'énergie et notamment aux énergies renouvelables. En effet, l'action des collectivités territoriales en matière d'urbanisme doit permettre d'atteindre « la lutte contre le changement climatique, la réduction des émissions de gaz à effet de serre, l'économie des ressources fossiles, la maîtrise de l'énergie et la production énergétique à partir des sources renouvelables ». Ce phénomène s'est accéléré depuis la loi de transition énergétique pour la croissance verte de 2015 et la loi énergie de l'année dernière. Plusieurs documents d'urbanisme intègrent l'énergie et plus particulièrement le schéma de cohérence territoriale (SCOT) et les plans locaux d'urbanisme et d'urbanisme intercommunal (PLU et PLUi). En outre, des outils de planification tels que les plans climat air énergie territoriaux (PCAET) ou les schémas régionaux de

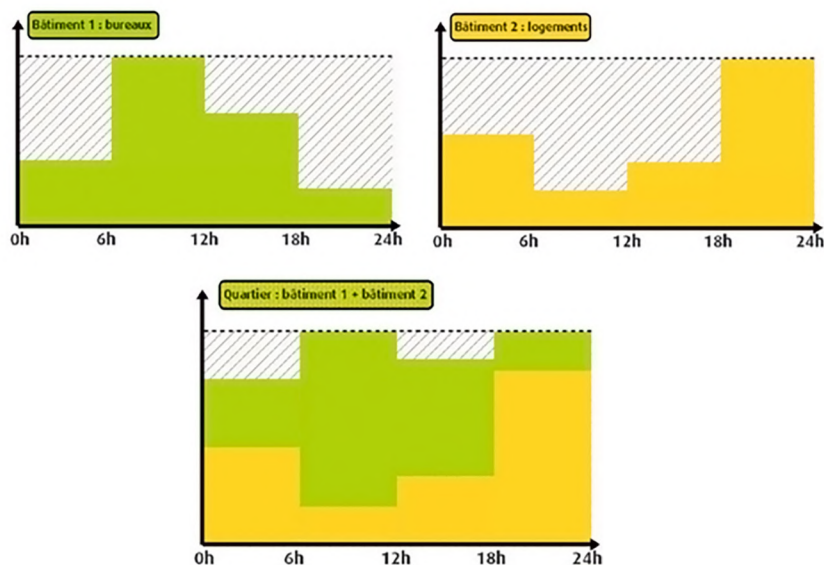
développement durable et d'égalité des territoires (SRAD-DET) permettent d'accroître certains objectifs concernant la production d'énergie renouvelable, l'efficacité énergétique, la réduction des émissions de gaz à effet de serre et de permettre une meilleure coordination entre les réseaux d'énergies sur les territoires.

Les documents d'urbanisme constituent ainsi des outils incontournables pour faciliter le développement des énergies renouvelables (et donc des réseaux de chaleur) dans les territoires, en les associant étroitement aux choix de développement urbain (densité, mixité, étalement, ZAC, réhabilitation...), de mobilité durable ou encore de gestion et préservation des ressources (bois, eau, notamment). En outre, l'utilisation des documents d'urbanisme, en lien avec les documents de planification énergétique, permet un développement coordonné et raisonné des réseaux.

Réussir à faire ce lien entre les documents et les domaines d'action des urbanistes, aménageurs et énergéticiens est essentiel pour favoriser l'émergence de projets vertueux dans les territoires. La lecture des interactions entre documents peut être assez complexe si l'on cherche à les appréhender dans leur totalité. Si l'on se focalise sur les réseaux de chaleur et de froid, il existe un certain nombre de dispositions législatives ou réglementaires qui peuvent faciliter leur développement.

Citons, pour être synthétique avant de rentrer plus loin dans le développement des dispositions de chaque document, que conformément à l'article L.300-1 du code de l'urbanisme, toute opération d'aménagement qui fait l'objet d'une évaluation environnementale doit intégrer une étude de faisabilité sur l'opportunité de la création ou du raccordement à un réseau de chaleur ou de froid sur la zone de l'opération. L'étude de faisabilité va porter sur la densité de la demande énergétique ainsi que sur la diversité de la nature des bâtiments à alimenter (équipements publics, entreprises, logements...). Par ailleurs, afin d'avoir la meilleure appréciation de la densité du territoire pour la mise en place d'un réseau, l'article L.2224-38 du code général des collectivités territoriales impose l'adoption d'un schéma directeur de développement des réseaux de chaleur et de froid et la récente obligation de mise en œuvre du classement, soit le raccordement obligatoire à un réseau de chaleur sur un périmètre donné, permet de faciliter ce lien entre urbanisme et énergie et développer vertueusement son réseau.

L'ensemble de ces documents, à la lecture parfois complexe lorsque l'on n'est pas spécialiste, fait apparaître une articulation et montre et qu'on peut les combiner en s'impliquant dans leur élaboration pour les faire converger vers un même but : le développement des réseaux de chaleur (et de froid), pour peu que les compétences internes, en matière de relations humaines et professionnelles, travaillent à désiloter les secteurs de chacun.



Graph 1 : Courbes d'appels de puissance décalées

Optimiser les typologies de bâtiments raccordés et affiner le pilotage du réseau

Le foisonnement permet de lisser la demande de chaleur d'un ensemble de bâtiments qui sont reliés par un réseau de chaleur, du fait du décalage temporel de leurs besoins. La prise en compte de ce phénomène dans le dimensionnement d'un réseau de chaleur permet d'éviter un sur-investissement local par bâtiment, pour se concentrer sur une chaufferie globale mutualisée.

Il est ainsi intéressant de jouer sur cette mixité d'aménagement, en particulier lorsqu'on construit de nouvelles ZAC, en installant à la fois bureaux (ayant une demande en journée) et logements (demande inverse des bâtiments tertiaires type bureaux). Notons par ailleurs qu'un jeu sur cette typologie de bâtiments permet de minimiser l'été l'effet d'îlot de chaleur urbain, tout comme la morphologie du nouveau quartier ainsi que sa densité. Enfin, cette mixité d'usage peut avoir un effet bénéfique sur la stratégie de mobilité durable de la collectivité, en rapprochant les quartiers les uns des autres avec différentes fonctions.

En additionnant deux courbes d'appels de puissance décalées (Graph 1), par exemple un bureau et une copropriété de logements (soit si on relie les deux bâtiments par un réseau de chaleur), on obtient une courbe d'appel sur la journée beaucoup plus stable, les pics du bâtiment de bureaux étant en phase avec les heures creuses du bâtiment de logements. La puissance totale installée est plus faible et les générateurs fonctionnent plus souvent à un régime proche de leur puissance nominale, ce qui améliore leur rendement et l'adéquation entre le coût d'investissement et les revenus. Cette analyse de recherche du meilleur régime nominal, doit être constante avec le pilotage d'un réseau de chaleur : plus on s'approche de la courbe de charge des bâtiments reliés avec

une chaufferie correctement dimensionnée, meilleure est l'utilisation à pleine puissance (soit la durée de fonctionnement), donc l'amortissement de notre installation. Moins les besoins sont intermittents, plus la durée d'utilisation équivalente à pleine puissance est élevée.

Le CEREMA, dans son article (1) dédié au foisonnement, précise par ailleurs que pour un fonctionnement théorique à pleine charge (réseau qui fonctionnerait à 100 % de sa puissance nominale toute l'année), la durée de fonctionnement serait de 8760 heures (24x365). Une chaufferie bois (photo 1) fonctionnant plus de 5000 heures est jugée très performante. Une durée de fonctionnement de 2500 heures est courante. Lorsque la durée de fonctionnement est inférieure à 2000 heures, cela signifie que la capacité de la chaufferie est peu exploitée, avec un impact négatif sur le coût de la chaleur, dont une partie sert à rembourser l'achat de la puissance installée. Le lissage de la courbe des besoins augmente la durée de fonctionnement équivalente à pleine puissance. Le point essentiel à retenir ici est donc le suivant : l'évaluation des besoins à satisfaire dans un quartier, lorsque l'on cherche à évaluer la faisabilité d'un quartier, ne peut pas se limiter à réaliser la somme des besoins moyens en kWh/m² sur une année. La notion de foisonnement doit être prise en compte, à travers une analyse de la répartition temporelle des appels de puissance.

1. https://www.cerema.fr/system/files/documents/2022/02/2022janvier_cerema_note_methodo_reseauchaleur_et_zac_indicateurs_v2.pdf

Guillaume Perrin. Chef adjoint du département énergie, chef du service des réseaux de chaleur et de froid, Fédération nationale des collectivités concédantes et régies (FNCCR)



➔ RÉGLEMENTATION MK2 ➔ USAGERS ➔ RÉSEAUX DE CHALEUR ➔ RÉSEAUX DE FROID ➔ CLASSEMENT

Au 1^{er} juillet 2023 la procédure de classement devient opérationnelle : les réseaux de chaleur et de froid vont-ils devenir la solution énergétique de référence des villes ?

➔ Le classement est un outil de planification énergétique pour la collectivité, qu'elle doit articuler avec ses compétences en urbanisme et en aménagement, ainsi qu'avec son plan climat énergie territorial, afin de contribuer à l'atteinte de ses objectifs locaux de réduction des émissions de gaz à effet de serre et de développement des énergies renouvelables.

Le classement permet au maître d'ouvrage d'avoir une visibilité sur le taux d'utilisation du réseau sur le long terme : ceci permet d'engager plus sereinement les investissements nécessaires au développement de ce réseau, qu'il s'agisse de densification, d'extension, de modernisation ou de création de nouveaux réseaux. Les réseaux de chaleur ont l'avantage d'être les seuls systèmes, à la fois à pouvoir valoriser de la chaleur fatale et à pouvoir faire évoluer leurs mix énergétiques pour augmenter la part des énergies renouvelables et ainsi décarboner massivement les zones urbaines. Cette réforme du classement est donc l'occasion pour les collectivités de se pencher sur la desserte énergétique de leurs territoires et la priorisation des énergies pour mettre en musique la solution vertueuse du réseau de chaleur et de froid sur leur territoire.

La longue histoire du classement : La procédure de classement des réseaux de chaleur et de froid est loin d'être nouvelle. Initialement créée en 1980¹, elle a par la suite fait l'objet de deux réformes successives en 1996² et 2010³ venues simplifier ce dispositif intéressant mais peu attractif en raison de sa complexité et des nombreuses dérogations permises (un seul réseau classé entre 1980 et 2009 était recensé). Cependant, les lois énergie-climat⁴ et « climat et résilience »⁵, ont permis de redynamiser cette procédure en entérinant le principe du classement automatique des réseaux publics de chaleur et de froid à compter du 1^{er} janvier 2022. L'inversion de la logique de cette procédure, constitue un indéniable outil de développement de ces réseaux dans leurs territoires. Ce nouveau dispositif d'abord ouvert au 1^{er} juillet

2022 entre dans sa pleine phase opérationnelle au 1^{er} juillet 2023⁶ pour les 636 réseaux classés automatiquement par le dernier arrêté du 23 décembre 2022.

L'effet révolutionnaire de la réforme réside dans l'extension de cet outil initialement prévu par le seul code de l'énergie vers de nouveaux acteurs soumis aux dispositions des codes général des collectivités territoriales, de l'urbanisme et de la construction et de l'habitation. Le classement est désormais opposable aux documents de planification territoriales ainsi que dans le cadre des dossiers d'urbanisme.

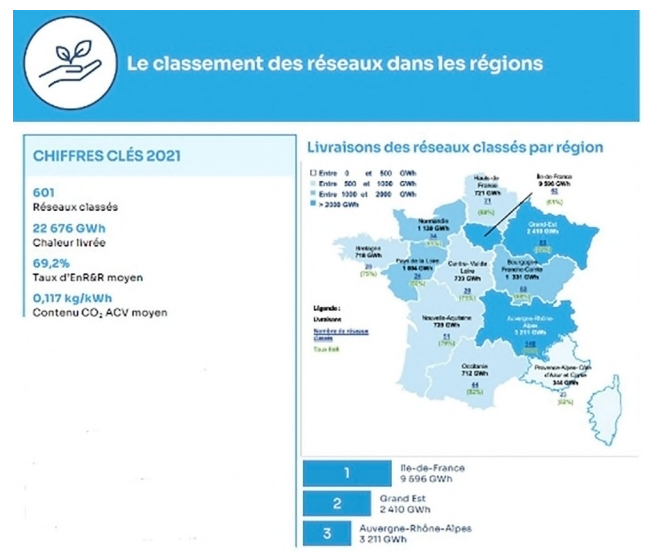


Figure 1 - Répartition réseaux classés en France - source SNCU, données 2021

Quels impacts pour les collectivités territoriales ?

La procédure de classement concerne l'ensemble des **réseaux de chaleur et de froid publics**. A contrario, les réseaux privés restent soumis à l'ancienne procédure sur demande de l'exploitant et délibération de l'autorité publique compétente.

Le classement automatique concerne les réseaux urbains **publics** remplissant ces **trois conditions** :

- un **taux d'énergie renouvelable et de récupération supérieur à 50 %** (hors garanties d'origine biométhane) ;
- l'existence d'un **système de comptage** de l'énergie ;
- l'**équilibre financier** du réseau.

Il est possible d'aménager la période de référence permettant de constater l'atteinte de ce taux⁷ :

- sur l'année **n-1** ou a minima sur la **moyenne des années n-1 à n-3** ;
- par **anticipation** pour les **réseaux en création** (sur déclaration des valeurs attendues ou figurant sur un Titre V Réseau⁸) ou les **réseaux existants** mettant en service une nouvelle installation d'énergie renouvelable ou de récupération (sur déclaration des valeurs attendues).

Une fois que le réseau classé figure dans la liste ministérielle annuelle, plusieurs options sont ouvertes aux collectivités compétentes :

- prendre une délibération avant le 1^{er} juillet de l'année suivant la publication de la liste afin de **déterminer les périmètres de développement prioritaires** au sein desquels s'appliquera le classement, et éventuellement **modifier le seuil de 30 kW** de puissance des bâtiments soumis à cette loi ;
- prendre une délibération **motivée de refus de classement** (à réviser lors de l'actualisation du schéma directeur du réseau concerné) ;
- **s'abstenir de délibérer** : le seuil des 30 kW est maintenu et le classement de l'ensemble du périmètre concerné (le territoire de la collectivité pour les réseaux gérés directement ou le périmètre contractuel de la concession pour les réseaux délégués).

En tout état de cause, au 1^{er} juillet, le périmètre de classement est automatiquement retranscrit dans les documents d'urbanisme et devient opposable aux maître d'ouvrages et propriétaires.

Par ailleurs, la nouvelle procédure de classement induit un suivi accru des réseaux en imposant la collecte et la publication annuelle par les collectivités d'indicateurs technico-économiques et de qualité de service pour chaque réseau, ainsi qu'une obligation de renouveler un audit énergétique tous les quatre ans.

Quels impacts pour les bâtiments ?

Au sein des périmètres de développement prioritaires, doivent se raccorder les bâtiments avec des besoins en chauffage, eau chaude sanitaire et/ou refroidissement **excédant 30 kW** (ou un autre seuil fixé par délibération), lorsqu'ils sont :

- **neufs** avec une demande de permis de construire déposée après la décision de classement ou les bâtiments **partiellement neufs** (ie : surélévation excédant 150 m² ou 30 % de la surface des locaux existants) ;
- **concernés par des travaux importants** (avec remplacement d'une installation de chauffage ou de refroidissement dépassant le seuil susmentionné).

L'opposabilité du dispositif de classement dans le cadre de la procédure d'instruction des permis de construire et déclarations préalables est garantie au sein des périmètres de développement prioritaires par la mise à jour des documents d'urbanisme et la vérification formelle du respect de la procédure par les services d'urbanisme.

Néanmoins, quatre cas dérogatoires à l'obligation de raccordement sont permis :

1. **l'incompatibilité technique** du raccordement ;
2. **l'incompatibilité des délais** de raccordement (sauf alimentation par des moyens de production provisoires)
3. **une solution autonome disposant d'un taux égal ou supérieur d'énergie renouvelable et de récupération** ;
4. le constat d'une disproportion manifeste des coûts de raccordement et d'utilisation au réseau par rapport à d'autres solutions.

Les modalités de comparaison précises des taux et des coûts permettant de faire une application juste et objective de ces dérogations sont en cours d'élaboration par l'administration ainsi que l'ensemble des acteurs des filières énergétiques et acteurs publics concernés. Celles-ci devront notamment inclure : les moyens d'appoint-secours des solutions alternatives dans l'assiette de comparaison des systèmes (ne pas se limiter à la part renouvelable) ; la durée de vie des équipements ; ou encore les températures de fonctionnement.

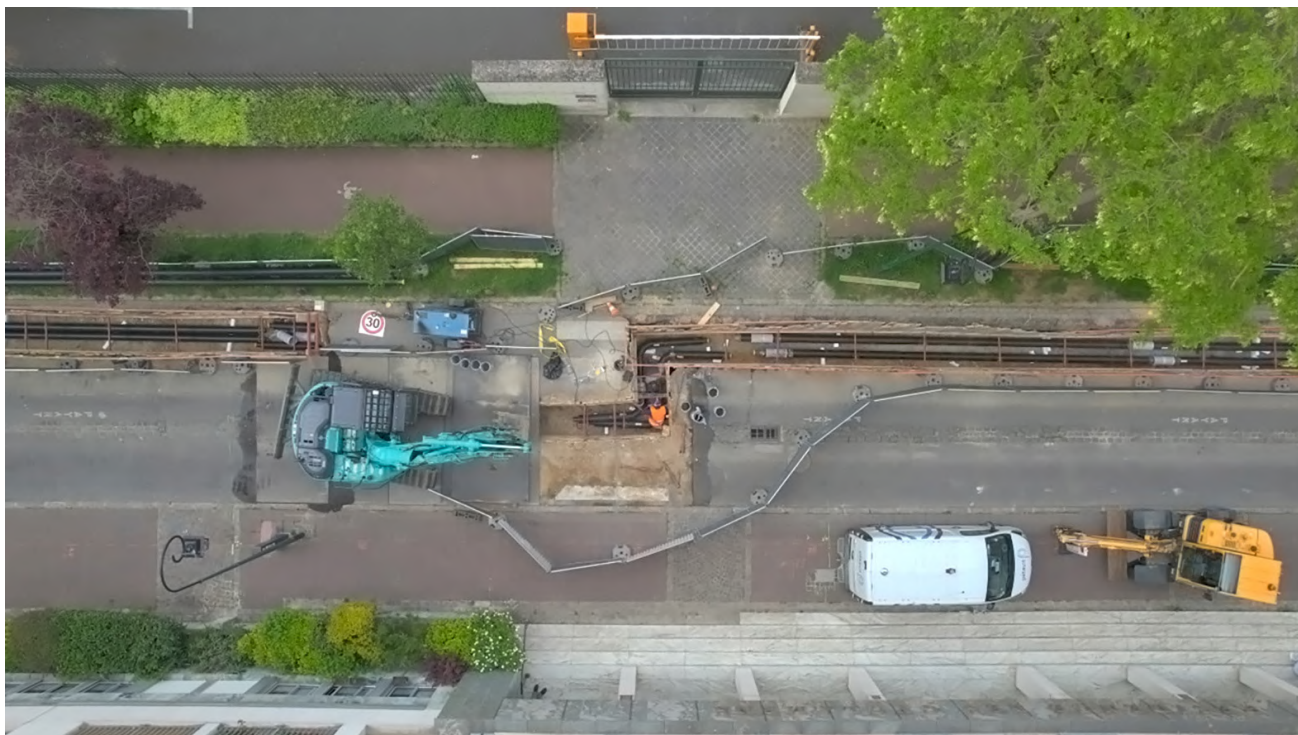
La décision d'agrément d'une dérogation revient à la collectivité compétente, qui consulte l'exploitant de son réseau le cas échéant. Le silence de la collectivité au-delà de 2 mois vaut acceptation implicite de la dérogation.

Une réforme qui répond aux enjeux actuels

La nouvelle procédure de classement n'en est qu'à ses balbutiements et il faudra suivre ses effets dans les années à venir.

Toutefois, ce dispositif va d'ores et déjà dans le sens de plusieurs rapports officiels parus récemment, tels que le rapport de la Commission d'enquête de l'Assemblée nationale « Souveraineté et indépendance énergétique de la France »⁹ ou encore le rapport de la CRE sur l'avenir des infrastructures





Travaux de raccordement à un réseau de chaleur, @ENGIE Solutions

tures gazières¹⁰. Lesquels positionnent les réseaux de chaleur (et de froid) comme la solution énergétique de référence dans les villes et rappellent la nécessité de coordonner les énergies sur le territoire.

Se pose à présent la question de la faisabilité technique et économique de raccorder l'ensemble des immeubles et maisons encore chauffés individuellement aux réseaux de chaleur. Un groupe de travail « Boucles d'eau chaude secondaires » réunissant les parties prenantes sous l'égide de la Direction Générale de l'Énergie et du Climat et l'Ademe travaille actuellement sur le sujet.

Pour aller plus loin :

- [Enquête des réseaux de chaleur et de froid, édition 2022 \(données 2021\), SNCU](#)
- [Classer un réseau de chaleur ou de froid, CEREMA, 16 janvier 2023](#)
- [Page web dédiée de la Direction Générale de l'Énergie et du Climat](#)
- [Classement des réseaux de chaleur : une nouvelle liste des réseaux classables publiée par arrêté, AMORCE, 4 janvier 2023](#)
- [Liste des réseaux de chaleur et de froid classés \(arrêté du 23/12/2022\)](#)

1. Loi n°80-531 du 15 juillet 1980 relative aux économies d'énergie et à l'utilisation de la chaleur

2. Loi n°96-1236 du 30 décembre 1996 sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie

3. Loi n°2010-788 du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement, dite « Grenelle 2 »

4. Loi n° 2019-1147 du 8 novembre 2019 - relative à l'Énergie et au Climat

5. Loi n° 2021-1104 du 22 août 2021 portant lutte contre le dérèglement climatique et renforcement de la résilience face à ses effets

6. Décret n°2022-666 du 26 avril 2022 relatif au classement des réseaux de chaleur et de froid

7. Arrêté d'application 30 novembre 2022 relatif au classement des réseaux de chaleur et de froid

8. Pour plus d'informations : Déposer une demande de Titre V - Le site «www.RT-bâtiment.fr» devient le site «RT-RE-bâtiment» (developpement-durable.gouv.fr) et <https://rt-re-batiment.developpement-durable.gouv.fr/faq-286-a351.html>

9. https://www.assemblee-nationale.fr/dyn/16/rapports/ceindener/l16b1028_rapport-enquete

10. <https://www.cre.fr/Documents/Publications/Rapports-thematiques/avenir-des-infrastructures-gazieres-aux-horizons-2030-et-2050-dans-un-contexte-d-atteinte-de-la-neutralite-carbone>

**Paulo Cameijo, Directeur Affaires publiques
ENGIE Solutions**



**Assia Ourraoui, Responsable Affaires
publiques ENGIE Solutions**



**Samuel Petit, Responsable Aides et
Subventions ENGIE Solutions**



Le réseau de froid de la Ville de Paris, un réseau à haute efficacité énergétique

➤ Depuis 2013, le réseau de froid urbain ne consomme que de l'électricité garantie d'origine renouvelable. Toutes les émissions résiduelles du service public du froid sont compensées pour un service neutre en carbone depuis 2018 contribuant ainsi à la neutralité carbone de la ville de Paris. Fraîcheur de Paris développe différents modes de production de froid et un maillage intelligent du réseau pour optimiser son fonctionnement et contribuer à la résilience de la ville.

Le service public s'ouvre aussi vers les personnes fragiles en raccordant des espaces de la petite enfance, des EHPAD, ainsi qu'en renforçant le parcours fraîcheur de la ville. « Réduire, éviter, compenser et adapter guident la stratégie de développement du réseau de froid urbain ». La démarche environnementale est globale, de la réduction des émissions des GES à leur totale compensation, de la limitation de l'usage des ressources à leur préservation.

Fraîcheur de Paris a travaillé avec des porteurs de projets d'EnR afin que puissent être actionnés, dès 2022, des contrats « Green PPA », consistant à s'approvisionner en électricité directement sur de nouvelles centrales d'énergies renouvelables construites spécifiquement pour le service et dédiées à ce dernier. La construction et l'exploitation de ces champs solaires sont aussi compensées. Cette électricité à Haute Valeur Environnementale est associée à une traçabilité inviolable, grâce à la technologie « blockchain ». Outre le bénéfice environnemental généré, ces contrats garantissent une stabilité du prix d'achat de l'électricité.

Pour renforcer la résilience du réseau de froid urbain et accroître sa performance, Fraîcheur de Paris s'est engagée à mettre en place des centrales multi-exutoires permettant de dissiper la chaleur issue de la production de la façon la plus vertueuse possible.

A titre d'exemple, la centrale située dans le complexe Adidas-Arena est construite pour répondre à ces besoins de diversité d'exutoires. Centrale chaud-froid, elle utilisera la géothermie comme ressource de base pour le prélèvement et le rejet de calories à la nappe, le réseau d'eau non potable et les tours aéroréfrigérantes en dernier recours.

Ces principes présentent des avantages pour la valorisation de la chaleur fatale, la minimisation de l'effet d'îlot de chaleur urbain, et l'accroissement de son efficacité grâce notamment à la possibilité de recourir au mode de production

free-cooling en abaissement sur réseau d'eau non potable. Avec 6,6 MW de capacité en froid et un maillage à la centrale Paris Nord Est (PNE), elle permettra d'assurer un service toujours plus fiable pour le rafraîchissement d'une zone de plus en plus dense au Nord de Paris (cf. figure n°1).

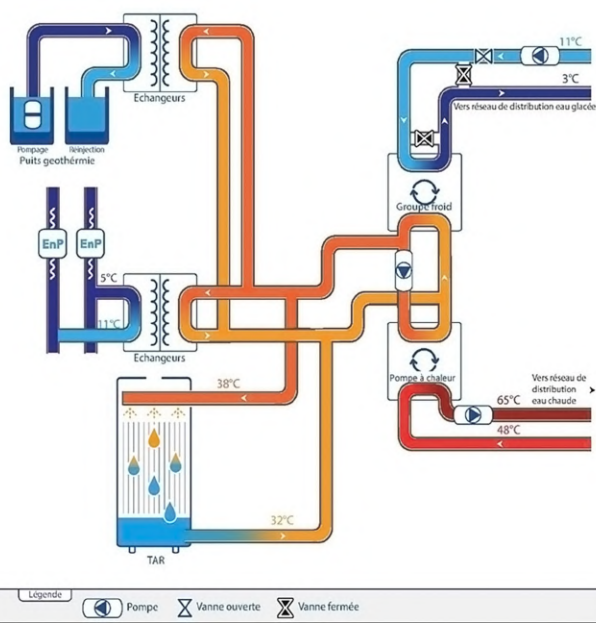
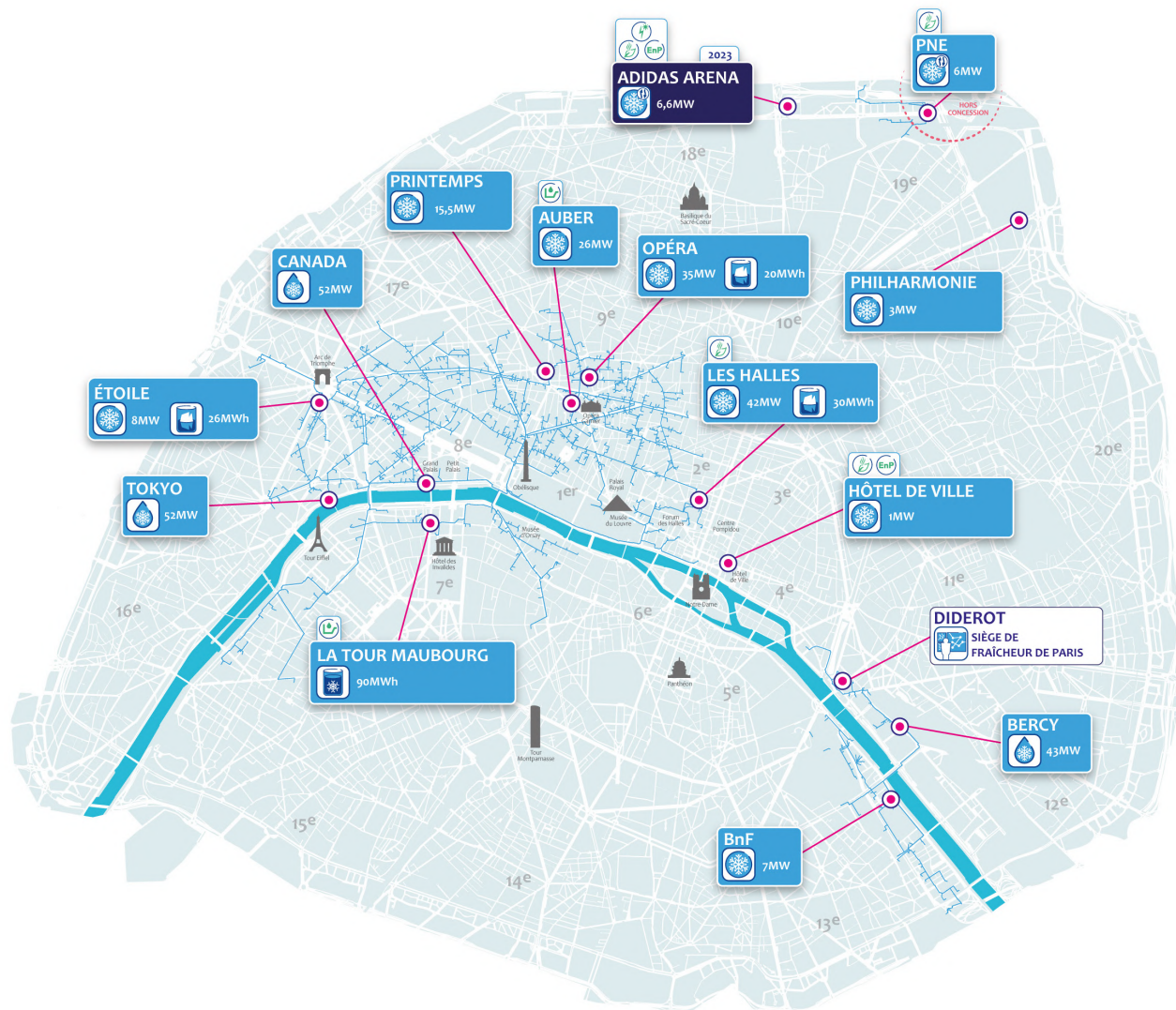


Figure n°1-Schéma de principe-Centrale Arena

L'Adidas-Arena (cf. Figure n°2), est un équipement dédié à la culture, au sport de haut niveau et au sport de proximité, elle participe au renouveau du quartier et est un projet phare du programme d'aménagement de la Ville de Paris d'ici à 2024. Cette salle omnisport d'une capacité de 8 000 places accueillera des épreuves des jeux de Paris, notamment celles de lutte et de basket.





Légende			
Centrales de production	Réservoirs de stockage	Spécificités par site	
Centrale de production	Réservoir de stockage d'eau glacée	Valorisation chaleur fatale	Salle de contrôle
Centrale de production (Eau de Seine)	Réservoir de stockage de glace	Raccordement au réseau Eau non potable	Réseau existant
		Utilisation des eaux d'exhaure	

Figure n°2- Situation de la centrale ADIDAS - ARENA

Fraîcheur de Paris, concessionnaire de la Ville de Paris, a pour objectif de développer 158 km de réseau supplémentaires sur les 20 prochaines années, de construire 20 nouvelles unités de production directes et indirectes (centrales de production d'énergie frigorifique et sites de stockage d'énergie frigorifique) et de raccorder 2300 abonnés en plus des 765 existants.

**Guillaume Nermond (Responsable
Equipe Département Ingénierie Production
Fraîcheur de Paris)**



**Aurélien Gass (Chef de projets
Fraîcheur de Paris)**



Le projet de centrale dans l'ADIDAS - Arena en chiffres

- 6,6 MW** de capacité de production froid
- 2,5 MW** de capacité de valorisation de chaleur
- 6 puits** de géothermie
- 130 m³/h** de débit d'eau non potable
- 1900 m²** de panneaux photovoltaïques avec une production de 190MWh /an d'électricité photovoltaïque pour les besoins de la centrale
- 650 m²** de surface pour la centrale et les tours

Digitaliser les réseaux de chaleur et de froid pour accélérer la décarbonation des bâtiments urbains

→ Pour répondre aux enjeux de la transition énergétique des territoires, Dalkia développe son offre Ecojoule qui vise à digitaliser la conduite de l'ensemble des réseaux de chaleur et de froid. Elle vise à proposer une solution intégrée de pilotage des systèmes accessible au plus grand nombre d'installations, indépendamment de leur taille ou de leur complexité.

La démarche :

Dalkia, acteur de la décarbonation des territoires, fournit des solutions énergétiques, de sobriété pour limiter les impacts des usages de la chaleur, du froid et de l'électricité. Après des années d'usage facile du gaz, les circonstances obligent à changer de braquet et à accélérer la transition énergétique. Cela passe par plus de sobriété mais aussi par un usage raisonné et performant des énergies locales et renouvelables. Ces énergies sont plus complexes à piloter, elles demandent plus de coordination et d'anticipation. Pour répondre à ces enjeux Dalkia met en place son offre Ecojoule.

Les collaborateurs de Dalkia savent que la meilleure énergie est celle qu'on n'a pas besoin de produire. Le travail sur la consommation, la rénovation énergétique et la mise en place d'installations plus performantes sont pour eux une priorité. Cependant, même après optimisation, chaque bâtiment montre encore une consommation résiduelle spécifique, différente en termes de période ou d'intensité. C'est là qu'interviennent les énergies renouvelables et bas carbone, qui viennent s'ajouter aux moyens de production initiaux et compliquer la gestion du mix énergétique. Leur meilleur usage et leur coordination sont la clé de la transition énergétique notamment en permettant d'effacer les pointes carbonées et le recours aux solutions fossiles tout en sécurisant l'approvisionnement. Par ailleurs, cela permet de limiter l'exposition aux effets prix du marché. Ainsi, la gestion de l'interaction entre les systèmes thermiques et électriques est primordiale.

Le pilotage de ces systèmes complexes, est réalisé par des fonctions logiques en temps réels par des automates et amélioré par le savoir-faire et l'expertise des équipes opérationnelles. L'enjeu est de capitaliser sur leurs compétences afin d'en faire profiter toutes les équipes et nos clients en particulier en développant des modèles apprenants permettant d'améliorer en continu ces systèmes. Pour y répondre, Dalkia a développé avec l'aide de la R&D du

groupe EDF la suite logicielle DEMix pour Dalkia Energy Mix qui permet de définir automatiquement le meilleur scénario de production de chaque site et adresser les enjeux climatiques des territoires, tout en respectant les engagements contractuels et le confort des usagers. DEMix permet de conjuguer les interactions entre les différentes énergies à la fois du côté de l'offre et de la demande. Elle s'appuie sur l'architecture de collecte et traitement de données Dalkia pour constituer l'offre Dalkia Ecojoule prévision.

Cette offre permet, grâce à l'intelligence artificielle, de prévoir les consommations des différents systèmes et la production d'électricité renouvelable. Ces prévisions sont utilisées par le jumeau numérique de l'installation qui optimise la gestion des diverses énergies au niveau d'un bâtiment, d'un quartier ou d'un territoire.

En quelques chiffres, Dalkia Ecojoule, c'est :

- Un déploiement en test de l'application prévision sur près de 50 réseaux de chaleur ;
- 1,6 TWh de chaleur prédite ;
- Près de 250 000 équivalents-logements suivis ;
- Un objectif de déploiement sur l'ensemble des réseaux de chaleur et les grands bâtiments avec des systèmes de production complexes permettant d'éviter à terme 20 000 tonnes de CO₂ par an.

Pour initier cette digitalisation de la conduite des réseaux de chaleur, un module de prévision de charge a été créé : Ecojoule prévision.

Ecojoule prévision

Dalkia Ecojoule propose un service de prévision déployable sur chaque installation connectée aux systèmes d'information Dalkia. Elle repose sur 10 ans de R&D et embarque des fonctions d'intelligence artificielle en utilisant les données issues du datalake, le système de gestion des données de Dalkia. Un modèle de prévision est automatiquement créé et



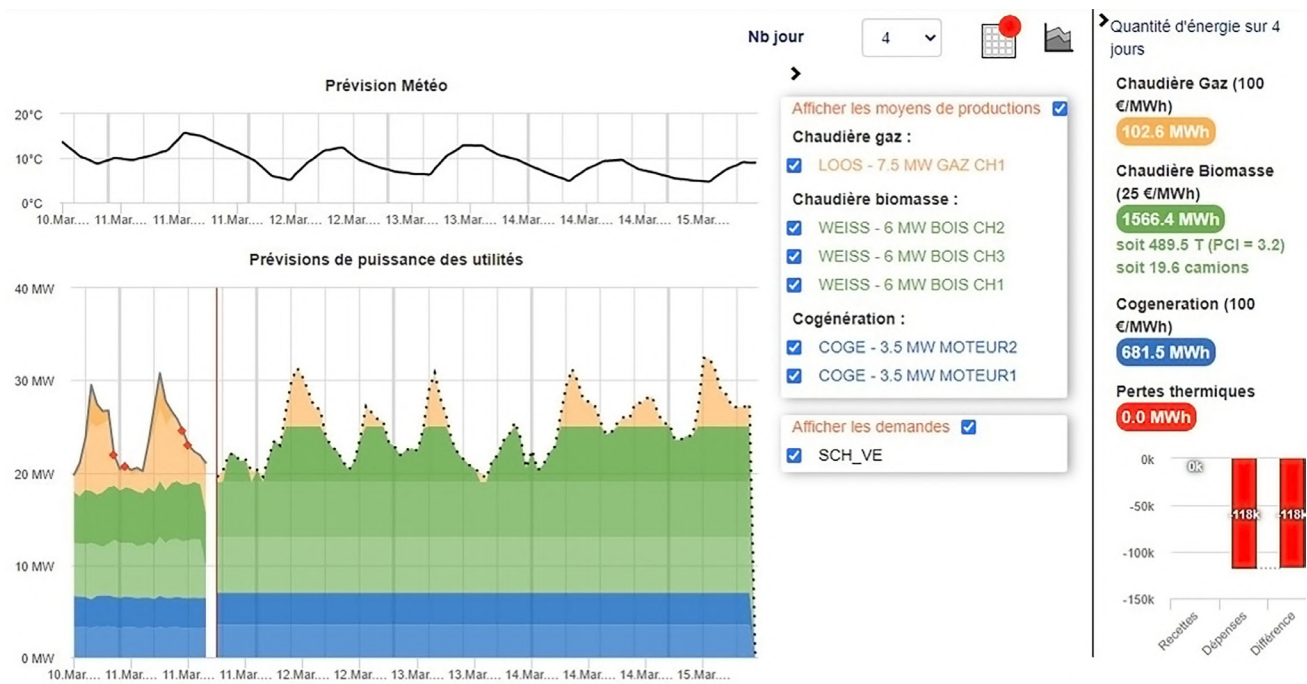


Figure 1 : Vue d'écran de l'application de prévision de charge en service

comparé à la réalité. En cas d'écart, un nouveau modèle peut être recalibré. Ce dernier est comparé à une version simplifiée du jumeau numérique de l'installation afin de fournir un premier niveau d'aide aux différents acteurs du système. Le client, les opérateurs de conduite, les approvisionneurs en énergie et le management disposent d'une même information en temps réel sur la disponibilité, les niveaux de charge passés et attendus dans un futur à quelques jours.

Les clients ont la possibilité d'interroger en temps réel l'impact carbone actuel et à venir du réseau, avec la possibilité de se voir rémunérer en cas d'effacement volontaire lors de pointes de consommation carbonées.

Ainsi chacun dispose des éléments pour partager les décisions d'engagement des moyens de production et adapter les tactiques de conduite et d'approvisionnement en énergie aux événements à venir.

La mise en œuvre des meilleures options de pilotage, établies depuis la prévision Ecojoule (Figure 1) est réalisée par le module Ecojoule pilotage qui est en démonstration sur deux sites La Seyne-sur-Mer et Nanterre.

Le déploiement industriel de Dalkia Ecojoule débutera au troisième trimestre 2023.

Pour rendre cela possible, il a fallu tester ces systèmes en grandeur réelle sur des installations opérationnelles. C'est ainsi qu'il est installé sur le site de La Seyne-sur-Mer où il est un des démonstrateurs dans le cadre d'un projet de recherche financé par l'Europe.

Projet Européen et démonstrateur de La Seyne-sur-Mer

Le **réseau de chaleur et de froid** de la Seyne-sur-Mer a vu le jour en 2007 et desservait alors 4 clients privés (des logements et un casino). La Métropole Toulon Provence Méditerranée a confié à Dalkia en 2018, pour une durée de 20 ans, un

contrat de délégation de service public en vue d'optimiser et **tripler la capacité de ce réseau.**

Depuis l'origine, le système repose sur la thalassothermie, qui valorise **en chaleur et en climatisation (froid) l'énergie issue de la mer Méditerranée à travers une boucle d'eau tempérée (fig 2)**

La boucle d'eau tempérée de la Seyne-sur-Mer en quelques chiffres

- Longueur du réseau : 1 632 ml ;
- 12 abonnés : 4 868 kW de puissances raccordées, logements (42 %), bailleurs 19 %, tertiaire (19 %) et enseignement (8 %) dont 3 558 kW chaud et 1 310 kW froid ;
- Échangeurs eau de mer en titane 3 x 1,6 MW ;
- Pompes eau de mer en bronze de 3 x 163 m³/h alimentée par une prise d'eau DN1200 à 5 m sous la surface de la mer ;
- Pompes réseau de 3 x 160 m³/h ;
- Fourniture 2523 MWh Chaud et 1172 MWh Froid. COP 3,34
- Taux ENR de 74,5 %
- Tarification : Abonnement R2-Chaud 71,14 €/kW R2-Froid 86,02 €/kW Consommation R1-Chaud 40,88 €/MWh R1-Froid 33,93 €/MWh.

Le principe est simple : une prise d'eau sous-marine amène l'eau de mer jusqu'à des échangeurs. De l'autre côté des échangeurs une boucle d'eau tempérée amène cette énergie jusqu'aux pompes à chaleur (PAC) installées au sein des bâtiments. Ces dernières, selon les saisons, augmentent ou diminuent la température de l'eau de la boucle. Celle-ci, initialement captée dans la mer à une température comprise entre 12 et 24 °C et à une profondeur d'environ 4 mètres, produit suivant les besoins chauffage, climatisation (froid) et eau chaude sanitaire. L'énergie délivrée est considérée à 75 % comme une

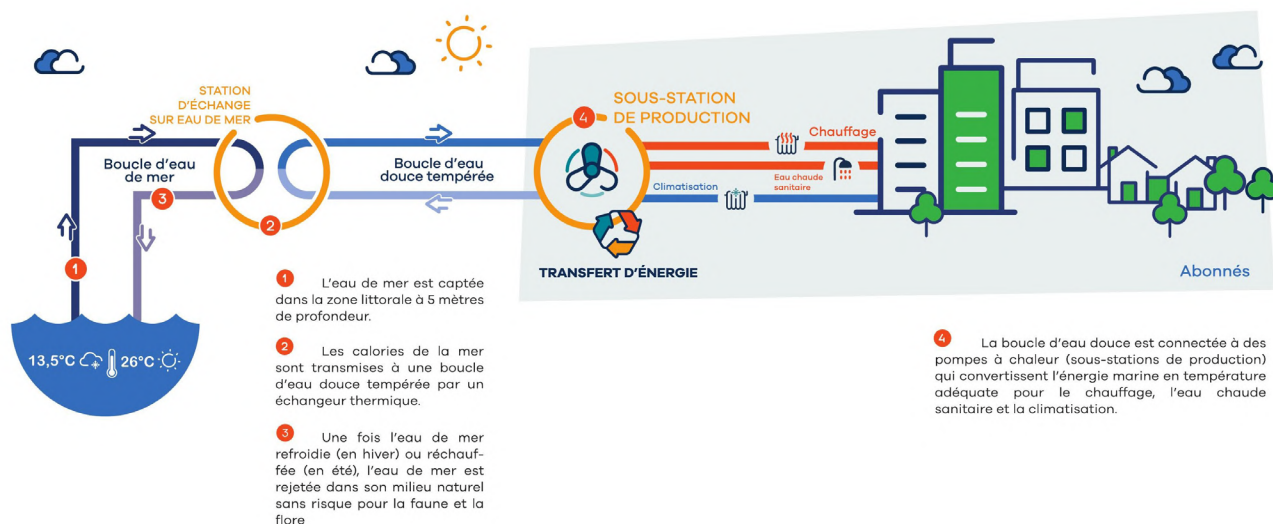


Fig. 2 : Schéma de principe de la boucle d'eau du réseau de la Seyne-sur-mer

énergie renouvelable et évite ainsi l'émission de 1 149 tonnes de CO₂ par an. Il faut noter que suivant la réglementation des réseaux de chaleur, l'électricité qui alimente les PAC, même si celle qui est utilisée est certifiée renouvelable, est exclue pour le calcul du % ENR&R du site.

Ce démonstrateur qui a été retenu dans le cadre du projet européen REWARDHeat est un projet de recherche qui a reçu un financement du programme de recherche et d'innovation Horizon 2020 de l'Union européenne. Il vise à mettre en avant les réseaux de chauffage et de refroidissement urbains à basse température. Il se concentre sur l'optimisation des énergies renouvelables et de récupération urbaines, la répliquabilité et le potentiel de mise à l'échelle des solutions décentralisées. Ces solutions visent à promouvoir une décarbonation rentable et techniquement viable du secteur européen des réseaux de chaleur et de froid urbains (DHC en anglais). Plusieurs démonstrateurs en France permettent de mettre en avant des solutions innovantes en particulier pour digitaliser l'intégration de sources d'énergie basse température.

Lien vers le projet RewardHeat : <https://www.rewardheat.eu/en/home>

Le réseau de chaleur de la Seyne-sur-Mer est le démonstrateur français des solutions développées dans le cadre de ce projet. Il est piloté en temps réel avec Dalkia Ecojoule dont le fonctionnement est perfectionné dans le cadre de Rewardheat.

Les chiffres clés

- 20 ans de contrat
- 75 % d'énergies renouvelables et de récupération
- 370 équivalents-logements
- Réduction de 15 % sur la facture énergétique
- 500 m de réseau en 2018, 2 300 m à terme
- 4,5 MW en 2022 de capacité de production de chaud et de froid,
- 1 149 tonnes de CO₂ évitées par an par rapport à une solution de référence gaz.
- COP machine 3,5 MW

Des stratégies de contrôle et des solutions de détection de défauts sont développées pour assurer le meilleur équilibre thermique entre la production, le stockage et l'utilisation de la chaleur.

Un deuxième démonstrateur Dalkia Ecojoule est opérationnel en région parisienne à Nanterre.

Le double smart grid électrique et thermique de Nanterre - Cœur Université Bouygues Immobilier, en groupement avec Dalkia et EDF a été choisi par la ville de Nanterre et l'EPA Paris La Défense pour participer au projet d'aménagement urbain «Coeur de Quartier» à travers un contrat CREM (Conception Réalisation Exploitation Maintenance) avec financement. Sa mission était de construire un quartier durable et intelligent, afin de concourir à l'attractivité de l'espace Défense Seine Arche autour de :

- boucles énergétiques, chaud, froid et électricité ;
- la production de chaleur et de froid via la géothermie, l'aérothermie, la biomasse et la récupération de la chaleur produite par les unités de production de froid. Les bâtiments (bureaux, commerces et logements) sont reliés entre eux ce qui permet à la fois de mutualiser les besoins des occupants et aux bâtiments d'échanger leurs calories ;
- solutions de stockage en eau chaude et eau glacée qui s'ajoutent au stockage inter-saisonnier sur les 90 sondes géothermiques ;
- une démarche smart électrique avec la production d'une partie de l'électricité nécessaire au fonctionnement du smart thermique via le photovoltaïque et la cogénération en autoconsommation. Le plus ? le pilotage numérique ! Pour encore plus d'efficacité, un pilotage numérique du réseau permet d'adapter la production d'énergie à la consommation en temps réel ;

C'est un système complexe embarquant 21 moyens de productions électrothermiques.

Le pilotage d'un tel système nécessite de nouveaux outils permettant de prévoir la consommation instantanée des bâ-



timents, de coordonner les diverses productions pour assurer la meilleure performance et de maximiser la substitution des énergies carbonées par des énergies vertes par le pilotage des stockages.

Ce site est en exploitation et en montée en régime post réception. Demix Ecojoule est en cours de calage pour devenir la solution de pilotage du site.

Une meilleure maîtrise des coûts pour les utilisateurs avec -20 % des charges pour les occupants. Le taux d'énergie renouvelable est consommé à hauteur de 40 % de l'ensemble de toutes ses consommations confondues (eau chaude, chauffage et électricité) et 65 % d'ENR pour ce qui relève du chauffage et de l'eau chaude sanitaire sur une boucle d'eau tempérée.

Les chiffres clés

- **60 %** d'énergies renouvelables et de récupération ;
- **5 sources** d'énergies locales à piloter,
 - 5 groupes de panneaux photovoltaïques, 1835 m² pour 342 kW_c mettent à contribution le soleil ;
 - 90 sondes géothermiques à 150 m puisent la chaleur de la terre ;
 - Aérothermie 4 pompes à chaleur de 238 à 625 kW pour total 1557 kW permet de valoriser l'air extérieur sur les toits ;
 - Récupération de la chaleur des eaux usées pour le préchauffage des eaux sanitaires (2 unités ERS Biofluide de 45 et 54 kW) ;
 - 7 moteurs de cogénération 30 kW_{elec} et 54 kW_{th} sur biomasse liquide.
- **100 %** d'autoconsommation d'électricité ;

- **27 ans** de garantie de résultats ;
- **76 000 m²** de surface immobilière :
 - végétalisée (toitures incluses) : 700 m²
 - espaces publics : 31 016 m²
 - bureaux : 27 696 m²
 - commerces : 15 000 m²
 - 497 logements : 19 000 m².

Vidéo <https://www.youtube.com/watch?v=PFET8At97Vo>

Conclusion

Les enjeux de la digitalisation des sites multi-énergies ont été mis en avant avec la crise énergétique. Les automatismes courants qui agissent en réaction ne sont plus suffisants pour assurer un pilotage efficace de ces systèmes qui subissent de multiples facteurs internes et externes. Les solutions efficaces comme Dalkia Ecojoule commencent à voir le jour. Elles vont évoluer très rapidement en particulier grâce à la généralisation de l'usage du machine Learning et de l'intelligence artificielle.

Maya TAOUI : Cheffe de projet informatique Dalkia



Romain MAVIC : Responsable Marketing Tertiaire Collectivités Réseaux Dalkia



Bertrand Guillemot : Directeur des programmes Innovation Dalkia



- RÉSEAUX D'ÉNERGIES ➤ AMÉNAGEMENT URBAIN ➤ PRODUCTION THERMIQUE RENOUVELABLE
- RÉCUPÉRATION DE CHALEUR ➤ SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE ➤ MODULES THERMIQUE D'APPARTEMENT
- STOCKAGE THERMIQUE PAR MCP

Eurêka à Castelnau-le-Lez (34), un écoquartier connecté par les réseaux d'énergies à mixité d'usages

➤ Le projet urbain d'Eurêka extension situé sur la commune de Castelnau-le-Lez en bordure de Montpellier s'étend sur 39 hectares. Son aménagement a été confié en 2018 à la SERM par la Métropole de Montpellier. La ZAC est délimitée en « îlots » qui accueilleront à terme 1800 logements, 100 000 m² de bureaux, 40 000 m² d'activités, 5 000 m² de commerces et un EHPAD, sans oublier les 11 hectares d'espaces naturels dont 4 sont dédiés à l'agriculture urbaine.

Comme tous les projets urbains portés par le groupe Altémed, Eurêka a fait l'objet d'un schéma directeur énergie qui a abouti à un programme énergétique innovant et performant avec production d'énergie locale et renouvelable. La réflexion sur le schéma directeur énergétique de la ZAC a été menée en amont de la création de la ZAC avec la collectivité locale, l'aménageur, l'architecte-urbaniste et l'AMO énergie/environnement.

Le groupe de travail sur l'énergie a œuvré de manière collaborative à la recherche d'un dispositif énergétique à l'échelle du quartier, qui allie performance énergétique des procédés et énergies renouvelables avec comme directive de la Collectivité de créer un quartier à énergie positive (QEPOS) en préparation de la future RE 2020.

L'élaboration du schéma directeur énergie de la ZAC a porté sur la sobriété énergétique avec un **bâti performant**, une conception **bioclimatique** et qui privilégie un **confort d'été passif** et les énergies renouvelables avec le **solaire photovoltaïque** et la production de chaleur et de froid à partir de la **chaleur de récupération** sur les **data-centers** voisins.

L'objectif est de réaliser un Eco-Quartier s'approchant de l'objectif « Energie Positive » au sens des 5 usages de la RT (chauffage, eau chaude, climatisation, auxiliaires et éclairage) en s'assurant de la faisabilité technique et de la maîtrise des coûts pour toutes les parties prenantes à savoir, la Collectivité, l'aménageur, les promoteurs et les usagers du service. Le projet énergétique a ensuite été confié à **Energies du Sud**, filiale énergie de la SERM et de la Caisse des Dépôts, qui prend en charge le développement, le montage, la commercialisation, le financement, la construction et l'exploitation de la production thermique et photovoltaïque sans coût pour la Collectivité et l'aménageur.

Production thermique renouvelable (chaleur et froid)

Chaque îlot d'immeuble est équipé de 2 à 3 **thermo-frigo-pompes** d'une puissance unitaire variant entre 200 et 300 kW, produisant la chaleur et le froid nécessaire aux besoins d'eau chaude sanitaire, de chauffage et de climatisation. Dotés d'une **technologie industrielle** de compresseur à vis à vitesse variable, les équipements retenus fonctionnent au HFO 1234ze, **fluide frigorigène sans impact sur l'effet de serre** et permettant d'atteindre un niveau de température de condensation à 62 °C compatible avec la production d'eau chaude sanitaire (cf figure 1).

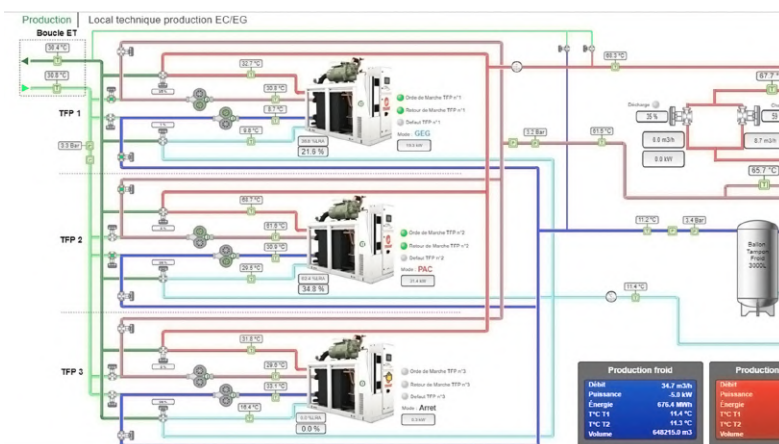


Figure 1 : schéma de principe simplifié de la production de chaud et de froid



Akva Lux II TDP RENO

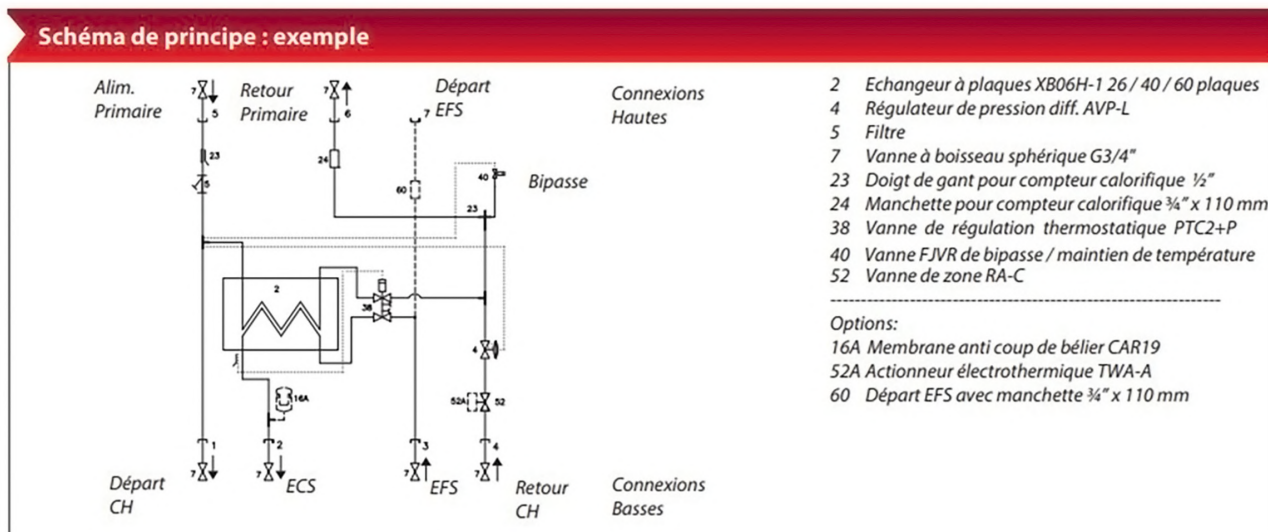


Figure 2 : exemple de principe de raccordement d'un MTA

La livraison de chaleur et de froid se fait par échangeur dans des sous-stations situées en pied des immeubles constituant les îlots. A fin 2022, 5 îlots sont raccordés, portant les puissances souscrites à 1750 kW en chaud et 918 kW en froid. Les sous-stations sont équipées de vannes deux voies de régulation pilotées par la température de retour primaire, permettant ainsi un fonctionnement à débit variable des réseaux de distribution.

L'implantation systématisée de **Modules Thermiques d'Appartement (MTA)** dans les logements permet de distribuer un seul circuit secondaire de chaleur, chaque appartement disposant ainsi de sa propre production d'eau chaude sanitaire et de son échangeur de chauffage avec pilotage par thermostat. Ainsi les pertes thermiques liées aux habituels circuits de bouclage des installations centralisées sont inexistantes, et les risques sanitaires liés à la légionellose sont limités à la seule distribution dans le logement. L'ensemble est dimensionné pour un régime de distribution basse température 62 °C-42 °C (cf figure 2).

Les thermo-frigo-pompes sont connectées à une boucle d'eau tempérée qui chemine sous voirie dans toute la ZAC à une température moyenne de 25 °C. Cette boucle permet un transfert d'énergie entre les différentes centrales de production. Cette mutualisation est pertinente du fait de la mixité des usages sur la ZAC (logements, bureaux et commerces) générant des besoins de chaleur et de froid simultanés tout au long de l'année.

Aux périodes hivernale et estivale, la température de la boucle d'eau tempérée est régulée par la centrale énergétique du Parc Technologique de la Pompignane gérée par Engie Cofely. Le réchauffage en hiver se fait par **recupération de chaleur fatale sur les groupes froid du 4^{ème} centre d'hébergement de données de France**. Le refroidissement en été est assuré par les tours aéroréfrigérantes du site industriel. Cette énergie a donc un **impact carbone nul**.

Les centrales sont « standardisées » pour en homogénéiser le pilotage par un système de Gestion Technique Centralisée commun dialoguant grâce à la fibre privée mise en place lors

de l'aménée des tubes de la Boucle Tempérée, et la maintenance en choisissant les mêmes modèles de thermo-frigo-pompes (figure 3).

Production photovoltaïque

Les toitures sont systématiquement utilisées pour implanter des centrales photovoltaïques avec un travail collaboratif avec les architectes pour maximiser les surfaces mobilisées. Ainsi, **80 % des surfaces des toitures sommitales sont solaires pour 100 % des îlots**.

Les centrales photovoltaïques des premiers îlots sont raccordées en **autoconsommation individuelle** pour alimenter la production thermique, ou en injection sur le réseau public d'électricité. Dès 2023 une **auto-consommation collective** étendue sera créée à partir de la production des futures centrales photovoltaïques pour alimenter dans un premier temps la production thermique puis les habitants et les entreprises du quartier.

Un terrain d'expérimentation et d'innovation

La maîtrise du projet par la Collectivité et Altémed depuis sa conception jusqu'à son exploitation sont un gage de réussite de cette opération. Elle permet d'expérimenter les nouveaux concepts d'échanges thermiques mutualisés sur boucle d'eau tempérée, de stockage thermique par matériau à changement de phase avec le CEA, de mesures en continu des flux de production et

Grimsbox : Stockage par MCP (16kWh par module)
www.grimsenergies.com



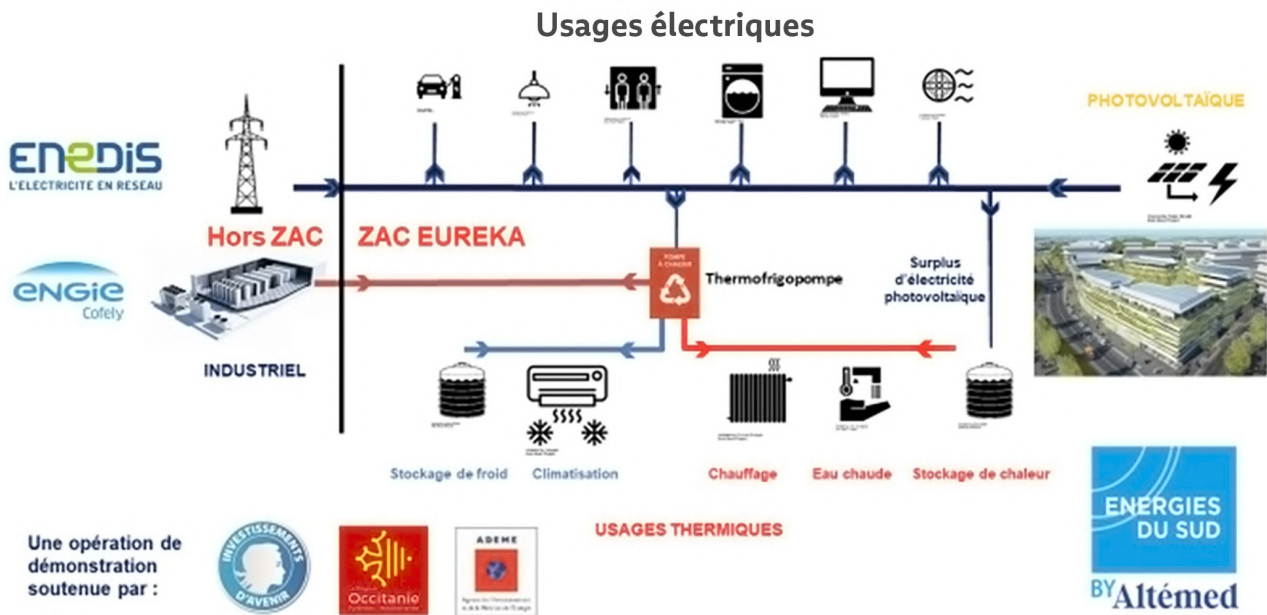


Figure 3 : Schéma des échanges énergétiques ZAC Eureka

de consommation d'électricité à l'échelle d'un quartier avec ENEDIS.

Les premiers indicateurs

Les réponses pour l'année 2022 à l'enquête sur les réseaux de chaleur et de froid réalisée par le syndicat national du chauffage urbain et de la climatisation urbaine (SNCU) avec le concours de l'association AMORCE, sous la tutelle du Service de la donnée et des études statistiques (SDES) du Ministère de la Transition écologique, donnent les résultats suivants :

INDICATEUR	BET EUREKA CHAUD	BET EUREKA FROID
Impact CO ₂	76 g/kWh livré	16 g/kWh livré
Impact CO ₂ (périmètre ACV)	38 g/kWh livré	29 g/kWh livré
Taux ENR&R	64 %	Sans objet

Un programme soutenu par la Région Occitanie, l'Etat, le PIA et l'Europe

Le projet a été labellisé Ecocité - Ville de Demain par le Programme d'Investissement d'Avenir et a reçu le soutien financier de la Région Occitanie, de l'ADEME et du Programme d'Investissement d'Avenir.



Par Isabelle RODOT,
Directrice Exploitation Energies du Sud



➔ SIMULATION ÉNERGÉTIQUE DYNAMIQUE ➔ QUARTIER DURABLE ➔ RÉSEAU DE CHALEUR

PowerDIS : un logiciel de simulation énergétique au plus près vos projets de réseaux de chaleur

➔ Alors que les impacts environnementaux du réchauffement climatique deviennent les sujets d'actualité privilégiés par les médias, il nous tarde d'agir pour aligner nos besoins sur les ressources disponibles. L'énergie est un secteur clé de la transition qui a débuté et qui ne peut que s'accélérer dans les années à venir. Mais afin de s'orienter vers les bons choix stratégiques, il est nécessaire de quantifier préalablement par simulation les besoins énergétiques et modéliser finement les approvisionnements. C'est toute la promesse que tient aujourd'hui le logiciel PowerDIS.

Un unique outil, un outil unique

PowerDIS permet **de simuler précisément les besoins** et les consommations d'énergie d'un quartier d'une dizaine à plusieurs centaines de bâtiments existants, à construire et/ou à rénover, et de **comparer des stratégies énergétiques** : rénovation, évolution des systèmes énergétiques, déploiement/extension de réseaux thermiques et électriques.

Ce logiciel, codéveloppé par Efficacity et le CSTB depuis plusieurs années, a pour but **d'assister à la prise de décisions stratégiques énergétique** les collectivités, aménageurs et bureaux d'études en phase amont d'un projet urbain. La dimension d'un 'quartier', plébiscitée par la solution, est une échelle judicieusement choisie afin de rendre compte de toute la dynamique intrinsèque à l'interconnexion des bâtiments de nos villes.



Fig 1 : Plan d'aménagement urbain durable

PowerDIS **simule à la fois les besoins d'énergie des bâtiments (Fig. 2) et le comportement des systèmes** au pas de temps horaire. Ceci permet d'apprécier la dynamique de consommation d'énergie, de rendre compte des pointes de puissance, des phénomènes de foisonnement et d'éventuelles simultanités entre différents usages (chaud, ECS, froid, ventilation, électricité). Ces besoins sont **calculés grâce à un modèle physique** simplifié des bâtiments, des

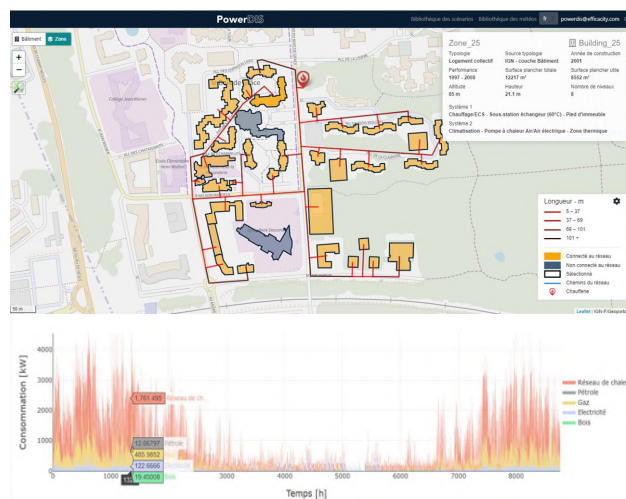


Fig 2 : Illustration de l'interface de PowerDIS

données collectées automatiquement grâce à des portails open data et des **données enrichies** qui permettent une saisie manuelle des plus limitée.

La comparaison de nombreuses variantes de projets urbains est également une spécificité unique, et qui intègre autant le choix des niveaux de performance des isolations que celui des systèmes énergétiques paramétrables pour chaque bâtiment, ou bien encore la définition des usages, régulations et occupations. Il se distingue par une modélisation fine des **systèmes de production et de distribution** aussi bien centralisés (réseaux de chaleur et/ou de froid urbains) que ceux présents au sein des bâtiments (par exemple une chaudière individuelle). L'utilisation de PowerDIS facilite :

- Le prédimensionnement d'un réseau de chaleur
- La priorisation de rénovation thermique d'un parc bâti
- La quantification de l'autoconsommation électrique
- L'étude des moyens de production pour optimiser le taux d'ENR.

La R&D mise à disposition du plus grand nombre

La solution logicielle PowerDIS, tout comme toutes les autres solutions numériques développées par Efficacity, a été créée et est **quotidiennement améliorée en lien direct avec les utilisateurs**. De nombreux partenaires (collectivités ambitieuses, grandes entreprises de l'énergie, bureaux d'études spécialisés...) travaillent avec nous à la spécification du besoin et aux tests sur des cas concrets.

Véritable aide à la prise de décision en termes de stratégie énergétique urbaine, PowerDIS se place en tant que **facilitateur et accélérateur de la transition énergétique des villes**. Son interface intuitive, le regroupement de nombreuses fonctionnalités, et sa forte puissance de calcul lui confèrent un **avantage technique certain et une accessibilité reconnue**.

Voici les principales étapes du déroulement d'un projet (fig. 3):

- Import automatique des bâtiments existants (ainsi que de leurs caractéristiques) et dessin des bâtiments en projet
- Auto-complétions des propriétés thermiques des bâtiments et personnalisation possible des caractéristiques de l'enveloppe, définition des scénarios d'usage et de régulation
- Évaluation des besoins énergétiques horaires pour des bâtiments (pouvant être composés de plusieurs zones distinctes), visualisation cartographique et temporelle des résultats
- Saisie des systèmes CVC (Chauffage, Ventilation et Climatisation), des systèmes électriques, de réseau de chaleur et/ou de froid. Génération du tracé optimal du réseau, dimensionnement des tubes, choix des énergies renouvelables locales
- Simulation horaire annuelle de la dynamique des systèmes énergétiques, visualisation cartographique et temporelle résultats.

Depuis 2022, PowerDIS est officiellement accessible à tout acteur de l'aménagement urbain souhaitant des simulations énergétiques, et s'exporte depuis dans divers pays étrangers. La solution logicielle est à ce jour accessible sous forme de contrat SaaS ou au travers d'une commande d'étude réalisée directement auprès de l'entreprise Efficacity. Plus d'informations sur le site internet <https://efficacity.com/> (rubrique logiciel PowerDIS) ou auprès de l'auteur de l'article.



Fig 4 : Ils nous ont fait confiance

Applications à un projet complet et complexe

L'entreprise Efficacity a effectué des simulations énergétiques dynamiques à l'échelle urbaine grâce à son logiciel PowerDIS afin **d'accompagner la principauté de Monaco (fig. 5) vers la décarbonation** de son parc de bâtiments. Une modélisation des 130 bâtiments du quartier de Fontvieille puis des simulations de plusieurs scénarios (horizons 2030 et 2050) de rénovation, de **raccordement aux réseaux de chaleur et de froid** existants, et de production d'électricité photovoltaïque en toiture. Ils ont permis d'évaluer les stratégies les plus pertinentes en termes de diminution des consommations énergétiques et d'émissions de GES (gaz à effet de serre).

Ce quartier présente une **mixité d'usages importante** : du tertiaire (industries et bureaux), du résidentiel très majoritairement collectif, des commerces dont un grand centre commercial ; ainsi qu'un **panel de systèmes énergétiques large** : réseau de chaud et de froid, centrale de tricogénération, pompe à chaleur sur eau de mer etc...

>>>

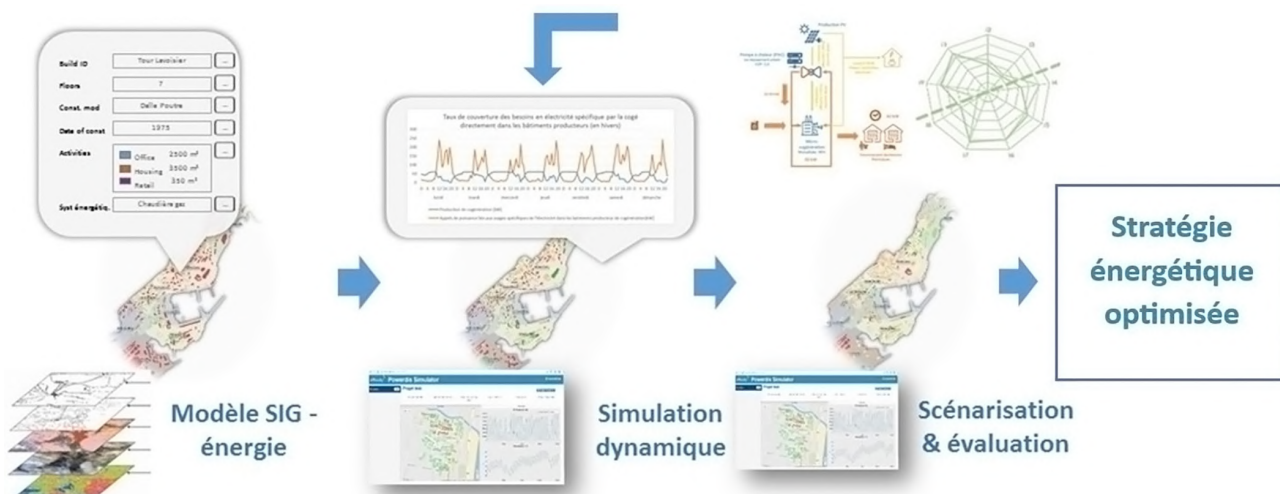


Fig 3 : Illustration des étapes d'un projet sous PowerDIS

Usage principal du bâtiment

usage

-  Logement collectif
-  Maison individuelle
-  Bureaux
-  Bâtiment industriel
-  Théâtre / cinéma / spectacles
-  Commerce
-  Autres hébergements
-  Bâtiment religieux
-  Crèche
-  Enseignement primaire
-  Etablissement sportif
-  Hôtel catégorie



Fig 5: Représentation des bâtiments du quartier

Le projet s'est déroulé en quatre étapes :

1. Acquisition des données
2. Simulation énergétique de l'existant
3. Construction de scénarios aux horizons 2030 et 2050
4. Résultats et prise de décisions

Grâce à l'utilisation de PowerDIS, la principauté de Monaco a pu évaluer différents scénarios permettant de se rapprocher des objectifs de décarbonation du parc. Les résultats montrent ainsi la pertinence de certains gestes d'efficacité énergétique par rapport à d'autres et du rythme des ac-

tions à mener. Comme initialement pressenti, les réseaux de chaleur et de froid urbain (RCFU) jouent un rôle majeur dans l'approvisionnement à grande échelle d'énergies thermiques décarbonées, locale et durable. Le logiciel PowerDIS a permis d'étudier finement les scénarios en chiffrant techniquement et environnementalement les impacts, afin que les choix se fassent de la manière la plus éclairée.

**Baptiste François, Product Owner PowerDIS,
Efficacy, b.francois@efficacy.com**

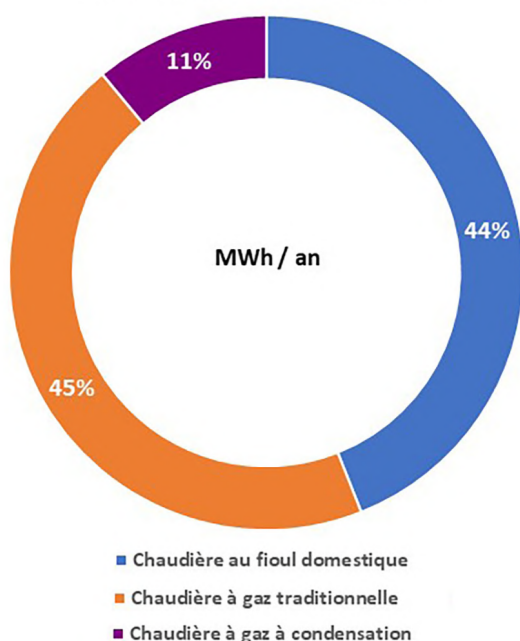


Le chef-lieu de la vallée d'Aoste continue sa transition énergétique

➔ C'est à Aoste, principale ville de la région autonome de la vallée d'Aoste, et artère d'accès entre la France et les régions industrielles du Piémont et de la Lombardie, que se développe un réseau de chaleur urbain ambitieux qui fut étudié de 2007 à 2011 par la société Telcha (filiale d'Engie). Le réseau est entré en service avec succès en 2014.

Aoste est située au pied du Mont-Blanc, à environ 590 m d'altitude, au cœur de la région autonome dont elle est le chef-lieu. Un peu plus de 34 000 habitants vivent dans cette ville froide dont le climat est de type montagnard avec une rigueur climatique de 2850 DJU et une densité de l'ordre de 1600 habitants au km². Le développement du réseau de chaleur dans un tissu urbain existant avait pour but d'offrir une alternative économique, fiable et compétitive aux habitants pour leurs besoins de chauffage tout en réduisant de 50 % les émissions de CO₂ grâce à l'association de la valorisation de la chaleur fatale issue d'une industrie lourde avec une installation de cogénération. Le recensement des consommations de chauffage fait avant 2011 est présenté à la **figure ci-dessous**.

Figure 1: Consommations de chauffage des bâtiments d'Aoste avant 2011



A ce jour, le réseau de chaleur qui a une longueur de réseau 33 km, a délivrée 80 GWh de chaleur à 395 abonnés en 2021 constitués pour 60 % de bâtiments privés, 35 % de bâtiments publics et 5 % de bâtiments tertiaires et commerciaux. La production actuelle est composée d'une pompe à chaleur électrique de 17,6 MW utilisant de l'eau à 20 °C récupérée du processus industriel CAS, d'une cogénération de 6,3 MW, de douze chaudières d'appoint de 3 MW chacune (36 MW), de deux réservoirs de stockage thermique de 1 000 mètres cubes chacun pour une puissance de déstockage de 17 MW pour une capacité de production thermique totale de 70 MW.

Extension du réseau de chauffage urbain :

La connexion entre la centrale de production Telcha et l'usine CAS est couplée à la construction d'une installation innovante de **récupération directe de la chaleur** du four de fusion de l'aciérie (cf. figure 2).



Figure 2- Four de rehausse

L'installation de récupération de chaleur fournira de l'eau à une température de 90 °C alimentant directement dans le réseau de chauffage urbain sans qu'il soit nécessaire de recourir à des sources de production supplémentaires (pompes à chaleur ou générateur pour augmenter la température de l'eau). Ce qui consiste à modifier la tuyauterie et la température des conduites de gaz d'échappement pour



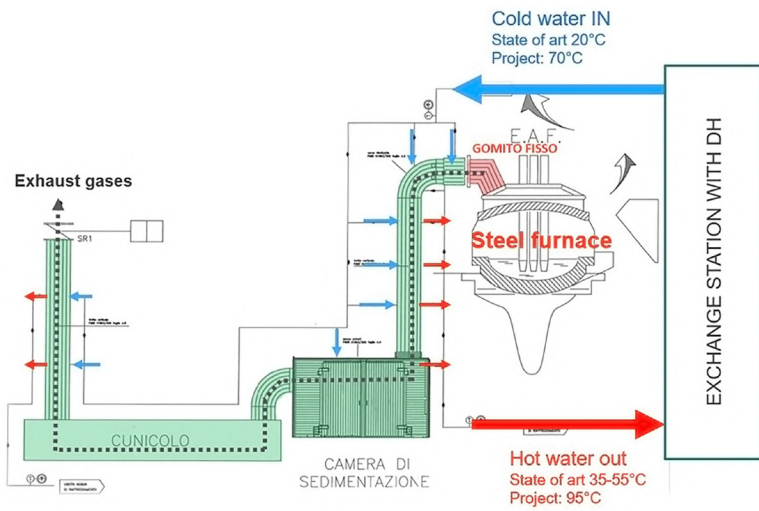


Figure 3-Principe de la récupération

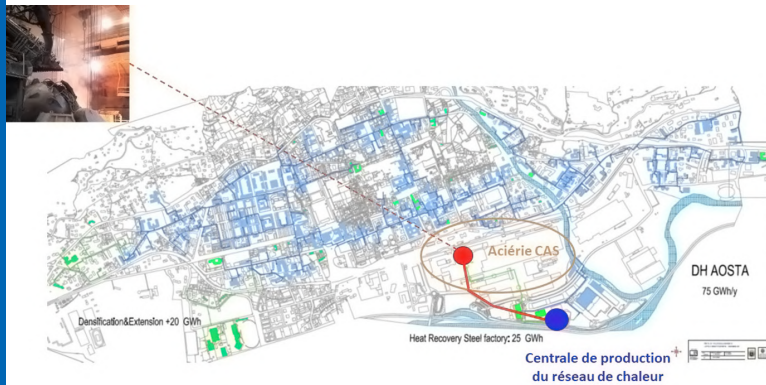


Figure 4- Réseau de chaleur de la ville d'AOSTE -Centrale de production et localisation four

récupérer 6 MW dans le four de l'usine CAS (cf. figure 3). Mais nécessite de raccorder l'installation de récupération à la centrale de chauffage urbain d'Aoste et aux réservoirs de stockage thermique situés à 1,2 kilomètre (figure 4). Les économies d'énergie générées du système de récupération de chaleur seront de 15 GWh supplémentaires par an engendrant une économie supplémentaire de 3 000 tonnes de CO₂ par an.

A la fin de 2023, ce système innovant de récupération directe de la chaleur (récompensé par le fonds européen NextGeneration, le «PNRR» Italien) fournira jusqu'à 20 % de l'énergie nécessaire.

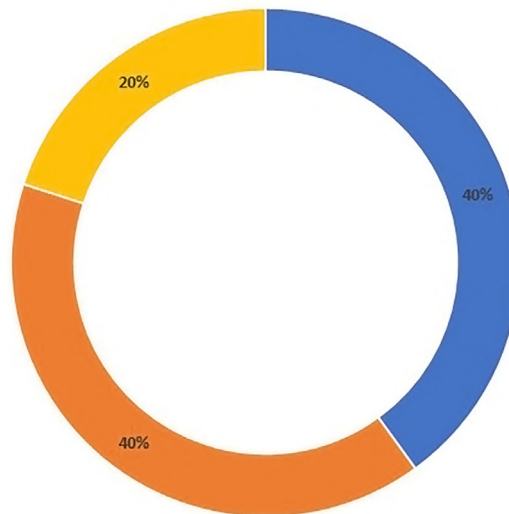
Le mix de production l (2020-2021) a beaucoup évolué depuis la création du réseau de chaleur (cf. Figure 5).

Il a permis de diminuer les émissions de CO₂ de 12 000 tonnes sur l'année 2021, soit une diminution de 37 % par rapport aux systèmes de production conventionnels.

Le mixte de production après raccordement du système de récupération de la chaleur de l'aciérie (CAS) va encore s'améliorer (cf. Figure 6).

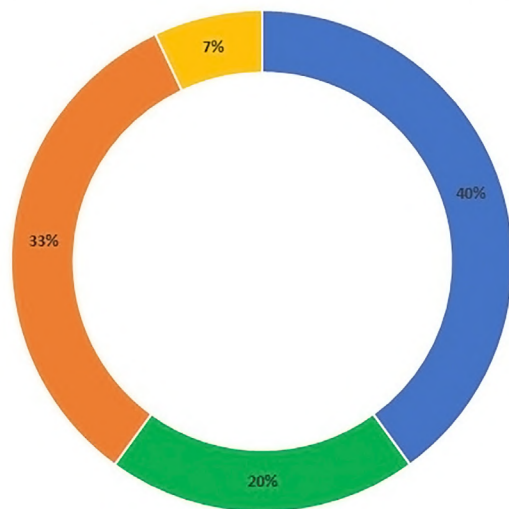
Avec pour bénéfices pour la ville d'Aoste grâce à ce nouveau système de récupération de diminuer les émissions de CO₂ de 15 000 tonnes par an à partir d'octobre 2023, soit un gain de 20 % sur les rejets de CO₂ par rapport à 2021.

Figure 5-Mix de production 2020 - 2021



■ Pompe à chaleur ■ Cogénération ■ Chaudière

Figure 6-Mix de production après mise en service de la récupération sur le four de l'aciérie



■ Pompe à chaleur ■ Récupération de chaleur (CAS) ■ Cogénération ■ Chaudière

Résultats énergétiques et environnementaux :

Le bilan environnemental des solutions retenues par Telcha et par les autorités publiques locales comparé avec les moyens de production de chauffage existants de la ville d'Aoste recensés lors de l'établissement du schéma directeur avant 2011 permettent une diminution de près de 59 % des émissions de CO₂ et réduisent la consommation globale de la ville d'Aoste de 45 GWh par an.

Jean-François Chartrain (CEO-ENGIE Réseaux de chaleur Italie)





LA LIBRAIRIE
TECHNIQUE du bâtiment
PERFORMANT
www.librairietechnique.com

Commande express : expédiée sous un jour ouvré -
Ou par courrier accompagné de votre règlement -
La Librairie Technique - 6, passage Tenailla - 75014 Paris

www.librairietechnique.com - 01 45 40 30 60

Suivez-nous sur :

CONFORT THERMIQUE ET EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE - NOTRE SÉLECTION

**Expédié sous
1 jour ouvré**

France métropolitaine
uniquement



23€ TTC
Hors frais
de livraison

RE 2020 ET RÉNOVATION ÉNERGÉTIQUE

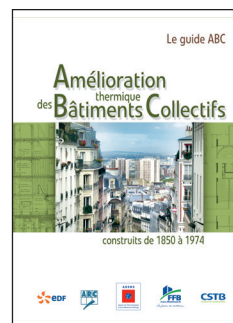
Guide pratique pour les bâtiments neufs et existants.



25€ TTC
Hors frais
de livraison

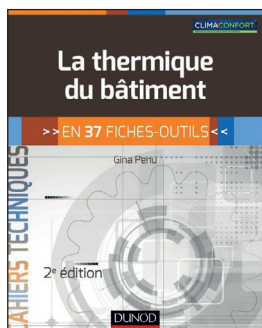
LES CLÉS DU CONFORT THERMIQUE ÉCOLOGIQUE

Bien s'informer pour bien décider : neuf et rénovation



54€ TTC
Hors frais
de livraison

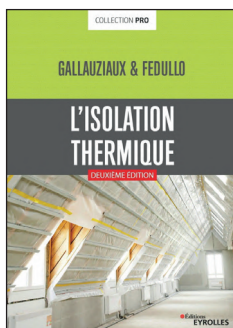
AMÉLIORATION THERMIQUE DES BÂTIMENTS COLLECTIFS CONSTRUITS DE 1850 À 1974



49€ TTC
Hors frais
de livraison

LA THERMIQUE DU BÂTIMENT - 2^E ÉDITION -

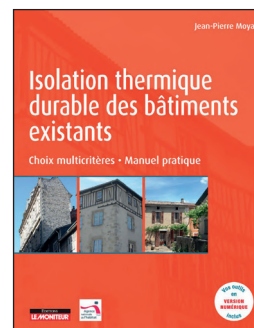
En 37 fiches-outils



39€ TTC
Hors frais
de livraison

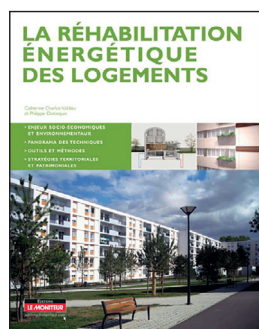
L'ISOLATION THERMIQUE

Règles essentielles, réglementation et matériaux d'isolation et les mises en œuvre.



55€ TTC
Hors frais
de livraison

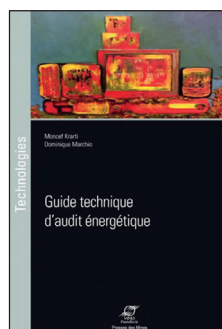
ISOLATION THERMIQUE DURABLE DES BÂTIMENTS EXISTANTS



64€ TTC
Hors frais
de livraison

RÉHABILITATION ÉNERGÉTIQUE DES LOGEMENTS

De la transition énergétique à la ville post-carbone



45€ TTC
Hors frais
de livraison

GUIDE TECHNIQUE D'AUDIT ÉNERGÉTIQUE

Professionnels du Génie Climatique, retrouvez votre librairie en ligne librairietechnique.com

Plus de 400 ouvrages livres et logiciels techniques sélectionnés par nos experts parmi les meilleurs éditeurs.

Consultez les sommaires et passez commande en quelques clics.

Pour être informé de notre actualité, inscrivez-vous vite à notre newsletter.

Frais de livraison - France métropolitaine*

1 ouvrage	+ 5 €
2 ouvrages	+ 9 €
3 ouvrages et +	0,01 €

* En France métropolitaine uniquement. Autres destinations : nous consulter.