



Série technique
Réf AMORCE RCT58
Mars 2025

Les réseaux de froid :

Des solutions de climatisation

Vertueuses



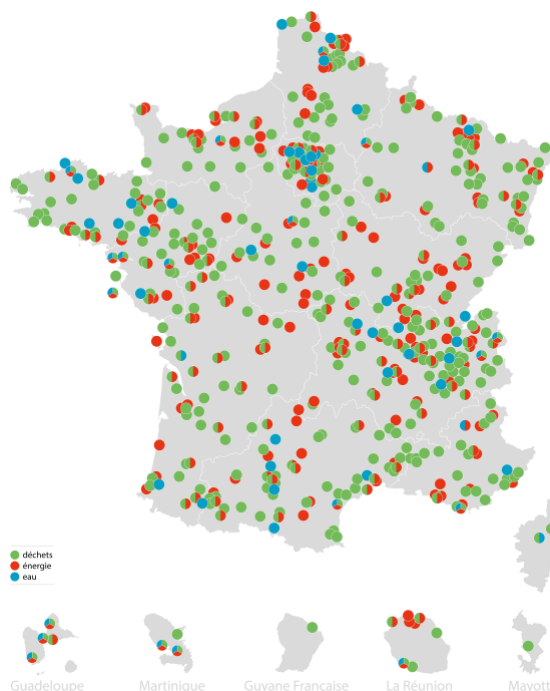
Avec le soutien technique
et financier de

PRÉSENTATION D'AMORCE

Rassemblant plus de 1100 adhérents pour 60 millions d'habitants représentés, AMORCE constitue le premier réseau français d'information, de partage d'expériences et d'accompagnement des collectivités (communes, intercommunalités, conseils départementaux, conseils régionaux) et autres acteurs locaux (entreprises, associations, fédérations partenaires) en matière de **transition énergétique** (maîtrise de l'énergie, lutte contre la précarité énergétique, production d'énergie décentralisée, distribution d'énergie, planification) et de **gestion territoriale des déchets** (planification, prévention, collecte, valorisation, traitement des déchets) et de **gestion durable du cycle de l'eau** (préservation de la ressource en eau et économies d'eau, gestion intégrée des eaux pluviales, traitement des pollutions émergentes, valorisation des boues d'épuration).

Force de proposition indépendante et interlocutrice privilégiée des pouvoirs publics, AMORCE est aujourd'hui la principale représentante des territoires engagés dans la transition écologique. Partenaire privilégiée des autres associations représentatives des collectivités, des fédérations partenaires et des organisations non gouvernementales, AMORCE participe et intervient dans tous les grands débats et négociations nationaux et siège dans les principales instances de gouvernance française en matière d'énergie, de gestion de l'eau et des déchets.

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



PRÉSENTATION DE L'ADEME

Soutenu par



A l'ADEME - l'Agence de la transition écologique - nous sommes résolument engagés dans la lutte contre le réchauffement climatique et la dégradation des ressources.

Sur tous les fronts, nous mobilisons les citoyens, les acteurs économiques et les territoires, leur donnons les moyens de progresser vers une société économe en ressources, plus sobre en carbone, plus juste et harmonieuse.

Dans tous les domaines - énergie, air, économie circulaire, gaspillage alimentaire, déchets, sols, etc. - nous conseillons, facilitons et aidons au financement de nombreux projets, de la recherche jusqu'au partage des solutions.

À tous les niveaux, nous mettons nos capacités d'expertise et de prospective au service des politiques publiques.

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

Contact : Arnaud MAINSANT

ADEME

20, avenue du Grésillé, BP 90406 - 49004 Angers Cedex 01

Tel : 02 41 20 41 20

www.ademe.fr - [@ademe](https://twitter.com/ademe)

AMORCE / ADEME – Mars 2025

Guide réalisé en partenariat et avec le soutien technique et financier de l'ADEME

REMERCIEMENTS

Nous remercions l'ensemble des collectivités et partenaires ayant participé à notre travail, dont celles qui nous ont fait part de leurs retours d'expérience et qui nous ont fourni des documents pour illustrer cette publication.

RÉDACTEURS

Rémi BEAULIEU, rbeaulieu@amorce.asso.fr

Comité de relecture : Sophie COLLET, AMORCE ; Arnaud MAINSANT, Céline LARUELLE, Astrid CARDONA MAESTRO, ADEME ;

MENTIONS LÉGALES

©AMORCE – Mars 2025

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

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

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

SOMMAIRE

INTRODUCTION	6
1. CONTEXTE DE LA HAUSSE DES BESOINS DE REFROIDISSEMENT	7
1.1. HAUSSE DES BESOINS	7
1.2. PRIORISER LA SOBRIÉTÉ, L'AMÉNAGEMENT URBAIN ET LES SOLUTIONS PASSIVES	8
1.3. LES POMPES À CHALEUR (PAC) POUR LE REFROIDISSEMENT	8
1.3.1. FONCTIONNEMENT	8
1.3.2. PERFORMANCES DES POMPES À CHALEUR POUR LA PRODUCTION DE FROID	10
1.3.3. DYNAMIQUE DU SECTEUR	12
1.3.4. PROBLÉMATIQUES LIÉES À L'USAGE DES PAC	13
2. DES SOLUTIONS DE REFROIDISSEMENT VERTUEUSES	16
2.1. DES ENR&R AU SERVICE DE LA PRODUCTION DE FROID	16
2.1.1. GEOTHERMIE ET HYDROTHERMIE	16
2.1.2. THERMOFRIGOPOMPES	17
2.1.3. CHALEUR FATALE	17
2.1.4. SOLAIRE THERMIQUE	17
2.1.5. AÉROTHERMIE – VOIE SÈCHE	17
2.1.1. AÉROTHERMIE – VOIE HUMIDE	18
2.2. LES RESEAUX DE FROID	18
2.2.1. AVANTAGES DES RESEAUX DE FROID	18
2.2.2. RESEAUX DE FROID CENTRALISÉS	20
2.2.3. BET	20
2.2.4. RESEAUX DE CHALEUR FOURNISSANT DU FROID	21
2.2.5. CONDITIONS DE DÉVELOPPEMENT DES RESEAUX DE FROID	22
2.2.6. AIDES ET FINANCEMENTS DES RESEAUX DE FROID	23
2.3. RETOURS D'EXPÉRIENCE	24
2.3.1. QUARTIER PLEYEL - VILLAGE OLYMPIQUE	24
2.3.2. RESEAUX THALASSOTHERMIQUES DE MARSEILLE	25
2.3.3. BOUCLES D'EAUX TEMPÉRÉES DE SACLAY	26
2.3.4. RESEAU DE FROID DÉCENTRALISÉ DES GRISETTES (MONTPELLIER MÉTROPOLE)	27
2.3.5. RESEAU DE FROID DE LYON	28
2.3.6. RESEAU DE FROID ENERIANCE	29
CONCLUSION	30
GLOSSAIRE	31

INTRODUCTION

Les effets du réchauffement climatique se ressentent dès aujourd'hui, avec des prévisions de vague de chaleur qui pourront atteindre 50°C à Paris en 2050. La progression de la mise sur le marché de climatiseurs montre une adaptation diffuse et parfois chaotique dans des espaces urbains qui n'ont pas été conçus pour de fortes chaleurs. Si la priorité reste l'atténuation du changement climatique, avec une réduction des gaz à effets de serre et le déploiement d'énergies renouvelables, l'adaptation aux fortes chaleurs sera nécessaire. En premier lieu, le bâti, par des actions de rénovation prenant en compte à la fois les besoins de chaud et de froid, doit s'adapter à ces enjeux. Les collectivités peuvent adapter l'espace urbain pour atténuer la surchauffe urbaine en végétalisant et en désimperméabilisant l'espace public.

Malgré tous ces efforts, certains lieux et logements doivent mettre en place des solutions de production de froid pour offrir des conditions d'usages supportables. Hôpitaux, zones tertiaires, logements denses et surexposés : l'usage de climatisation est parfois nécessaire. Aujourd'hui, l'immense majorité des systèmes de refroidissements sont des systèmes individuels à l'échelle du logement ou du bâtiment pour le tertiaire. Ces solutions de climatisations sur air présentent des inconvénients majeurs : rendement faible et dépendant des conditions climatiques, usage de fluides frigorigènes, renforcement des îlots de chaleur urbains ... Les solutions collectives répondent à ces problématiques, surtout lorsqu'elles valorisent des sources d'énergies renouvelables à haut rendement, comme la géothermie.

A l'instar des réseaux de chaleur, les réseaux de froid valorisent majoritairement des énergies renouvelables telles que la géothermie, la thalassothermie, la chaleur fatale, cloacothermie ... Ils sont rigoureusement opérés, maintenus et contrôlés, ce qui leur permet des performances intéressantes. Cette publication met en exergue les avantages des réseaux de froid vis-à-vis des solutions individuelles. C'est également l'occasion de mettre en valeur quelques réseaux parmi les 40 réseaux en fonctionnement sur le territoire. Enfin, les conditions de développement des réseaux de froid sont détaillées.

1. Contexte de la hausse des besoins de refroidissement

1.1. Hausse des besoins

Le réchauffement climatique commence dès aujourd'hui à frapper les territoires : depuis 1850, la température a augmenté de 1,5°C en France¹. Si l'élévation moyenne de la température est un problème aux multiples conséquences sur la biodiversité, les périodes de forte chaleur devraient se multiplier. Les milieux urbains sont notamment concernés par les effets d'îlot de chaleur urbain, et certaines collectivités prévoient dès aujourd'hui des plans d'adaptation pour des niveaux de températures jamais connus sur le territoire, comme Paris avec le plan « Paris à 50°C »². Des territoires aujourd'hui peu exposés aux vagues de chaleur devront s'adapter pour des enjeux de santé publique. D'après Climadiag, la ville de Lille passera d'un jour de vague de chaleur par an à entre 7 et 10 jours en 2050³. Aujourd'hui, les efforts d'adaptation passent d'abord par la mise en place de climatisation : la consommation d'électricité pour la climatisation des commerces parisiens a doublé entre 1990 et 2010⁴. Cette stratégie bien sur peut être questionnée, mais l'ADEME prévoit dans ces scénarios « *Les futurs en transition* »⁵ une hausse des consommations d'électricité liée aux besoins de refroidissement pour 2 des 4 scénarios. Si les scénarios S1 et S2 voient une diminution de la consommation d'électricité, c'est sur une base d'effort très important sur les bâtis et le taux de climatisation du résidentiel augmente tout de même de 27% à 80% en 2050 (95% pour les scénarios S3 et S4).

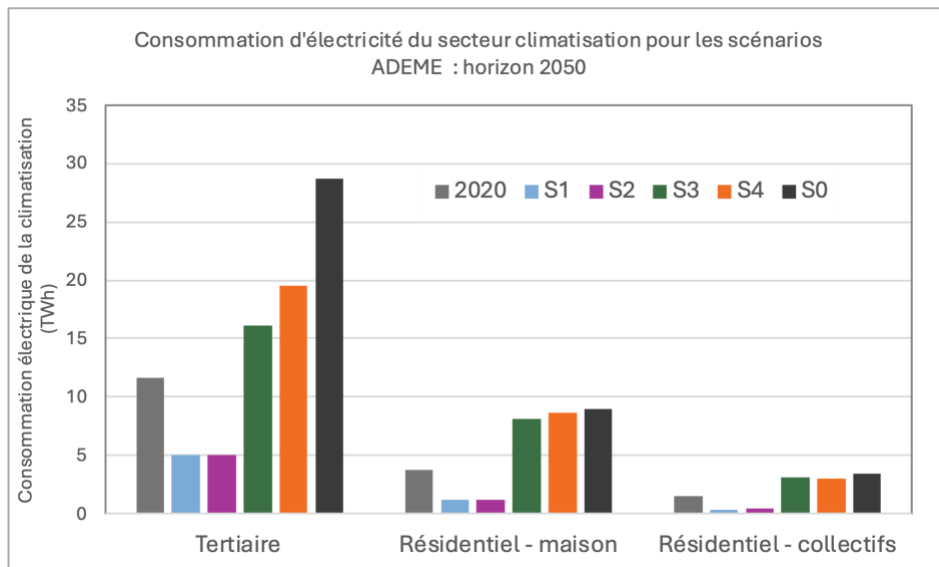


Figure 1 : ADEME - Les futurs en transition

¹ <https://météofrance.com/changement-climatique>

² https://cdn.paris.fr/paris/2023/04/21/paris_a_50_c-le_rapport-Jc4H.pdf

³ <https://météofrance.com/climadiag-commune>

⁴ APUR – *Les îlots de chaleur urbains à Paris – Cahier N°1*

⁵ <https://www.ademe.fr/les-futurs-en-transition/les-scenarios/>

1.2. Prioriser la sobriété, l'aménagement urbain et les solutions passives

La différence entre les scénarios de consommation d'électricité pour les besoins de climatisation s'explique par des stratégies très différentes sur les bâtiments et les usages. **La sobriété⁶ d'usage des équipements**, avec un déclenchement des appareils uniquement lorsque la température intérieure dépasse 26°C **doit être appliquée en priorité**. L'efficacité aura un rôle à jouer : les rénovations performantes ainsi que les solutions passives permettent de limiter les besoins de climatisation. Ces solutions passives sont variées et permettent de limiter la température à l'intérieur des locaux grâce des barrières occultantes sur les menuiseries, des ventilations optimisées et favorisées la nuit, ainsi que des solutions permettant d'améliorer le confort thermique par flux d'air. L'usage de ces derniers permet d'augmenter la zone de confort (variable selon les individus) en limitant la consommation d'énergie et sans jouer sur la température du local. L'ADEME a créé un outil, [Plus fraîche ma ville](#), pour accompagner les collectivités à adapter leur territoire à la hausse des températures.

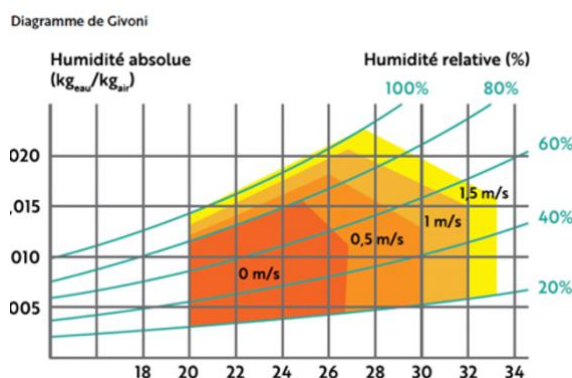


Figure 2 : Brise – Guide des brasseurs d'air

Ainsi, seule la priorisation de la sobriété, de l'efficacité de l'enveloppe, de l'usage de solutions passives et enfin de l'efficacité des systèmes de climatisation permettront de limiter les usages de la climatisation tel qu'imaginé dans les scénarios S1 et S2 de l'ADEME. Malgré tous ces efforts et dans tous les scénarios, l'usage de systèmes de refroidissement actifs restera nécessaire pour des questions de santé publique. Il convient donc d'optimiser dès aujourd'hui les systèmes à notre disposition.

1.3. Les Pompes À Chaleur (PAC) pour le refroidissement

1.3.1. Fonctionnement

Le fonctionnement des PAC a été largement détaillé dans notre précédente publication « Collectivité : l'essentiel sur les pompes à chaleur (ENT47)⁷ ». **Une pompe à chaleur est un équipement qui permet le transfert de chaleur ou de froid d'une source extérieure vers l'intérieur du bâtiment via un cycle thermodynamique.** Cet équipement permet d'inverser le sens normal d'échange entre un milieu chaud et un milieu froid. Le cycle thermodynamique repose sur le changement d'état (liquide, gaz) d'un fluide frigorigène dont la pression varie. Les réfrigérateurs sont les exemples quotidiens d'utilisation des pompes à chaleur.

⁶ ENP80 - Plan d'urgence sobriété – AMORCE

⁷ <https://amorce.asso.fr/publications/collectivites-l-essentiel-sur-les-pompes-a-chaleur-ent47>

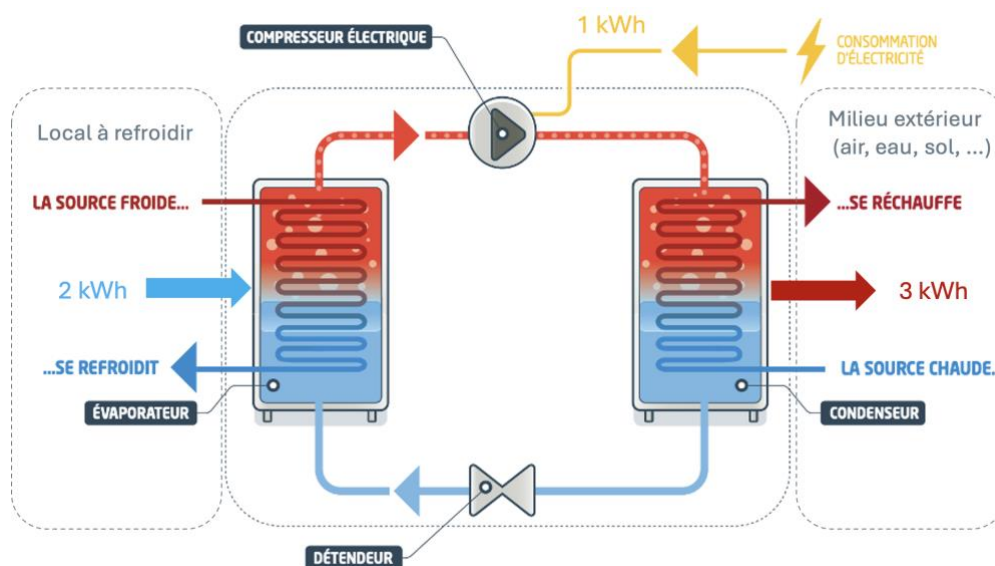


Figure 3 : Schéma de fonctionnement d'une climatisation électrique - *La chaleur fatale* Edition 2017⁸ - ADEME

En mode refroidissement, une PAC refroidit la source froide, qui est l'intérieur du bâtiment, et transfère l'énergie à l'extérieur du bâtiment, qui est la source chaude. Ce transfert est possible au prix d'un apport d'énergie qui est très majoritairement de l'électricité aujourd'hui, mais qui peut être de la chaleur.

A basse pression, le fluide frigorigène s'évapore à une température basse, par exemple 1°C, ce qui lui permet de refroidir un réseau d'eau de 12 à 7°C. L'énergie captée doit être évacuée, par exemple dans de l'air extérieur à 35°C. Une compression du gaz permet d'augmenter sa température au-delà de la température de la source chaude, par exemple à 45°C. L'air extérieur, plus froid, peut donc refroidir et prélever des calories au gaz frigorigène, qui se refroidit. La compression ayant élevée sa pression, le gaz se condense à une température plus élevée : en cédant des calories à l'air extérieur il se condense. Le liquide frigorigène obtenu est ensuite détendu pour retrouver ses paramètres d'origine et recommencer un cycle.

La compression est donc essentielle, et dans l'immense majorité des cas elle est réalisée par un compresseur électrique. Il s'agit de la solution la plus simple techniquement et la plus efficace d'un point de vue rendement. Le fluide frigorigène est central : c'est le vecteur du transfert thermique.

Une autre possibilité est une compression thermique. Dans ce cas, c'est une source de chaleur et non plus un compresseur qui permet la montée en pression et en température du gaz frigorigène. La technique la plus utilisée est la compression thermochimique, où un couple de fluide est utilisé (comme le mélange de bromure de lithium et d'eau). Elle est basée sur la capacité d'un fluide à absorber un réfrigérant à basse température et basse pression et à le désorber à haute température.

⁸ https://librairie.ademe.fr/ged/2321/chaleur_fatale-8821-2018-06_pdf.pdf

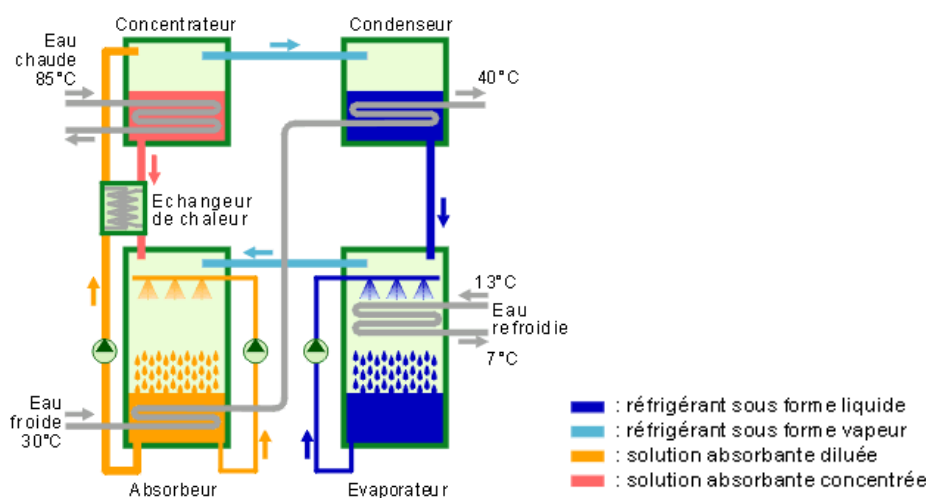


Figure 4 : PAC à absorption - energieplus-lesite.be

Dans l'évaporateur, un réfrigérant liquide (de l'eau par exemple) est pulvérisé à basse température dans une ambiance basse pression. Ce réfrigérant se réchauffe et s'évapore au contact du circuit d'eau à refroidir. La phase gazeuse est envoyée au contact d'une solution absorbante (bromure de lithium) qui l'absorbe. Cette absorption crée la basse pression dans l'évaporateur. Le mélange est ensuite chauffé dans le concentrateur, c'est le lieu de l'utilisation de chaleur. La solution chauffée, ce qui libère le réfrigérant, le fait monter en température et augmente sa pression.

Ces deux phases ont permis, par l'intermédiaire d'un absorbant, de faire monter en pression et en température le réfrigérant. Elles remplacent donc le compresseur électrique. Tout comme son homologue électrique, la PAC à compression doit évacuer à une source chaude le surplus de chaleur capté par le réfrigérant. Le gaz réfrigérant à haute température est alors condensé au contact d'une source chaude dans le condenseur (air, eau, ...), ce qui permet au réfrigérant de retrouver son état liquide initial. Il peut alors commencer un nouveau cycle auprès de la source froide.

La complexité de cette solution technique engendre un surcoût non négligeable des équipements. Même si certains équipements fonctionnent depuis déjà plusieurs années, cette technologie est moins mature et peu faire face à des difficultés d'opération et de maintenance. De plus, elle est moins réactive et donc moins adaptée aux variations de charge : **leur usage est donc plutôt réservé au collectif et réseaux de froid**. Le désavantage principal des PAC à absorption reste leur efficacité faible (voir point suivant), qui n'est pas forcément un problème en soit lorsque la source de chaleur fatale est abondante, mais qui, dans tous les cas, implique une grande quantité de chaleur à évacuer. Cette chaleur peut participer aux effet d'îlot de chaleur urbain.

1.3.2. Performances des pompes à chaleur pour la production de froid

La performance du système est très dépendante des niveaux de températures des deux sources : plus l'écart est grand, moins la performance est bonne. En production de chaleur le rendement est caractérisé par le coefficient de performance (**COP**) : il se calcule comme la chaleur fournie divisé par la consommation électrique du compresseur. Moyenné sur l'année et comprenant les auxiliaires et consommation de veilles il est appelé le **SCOP**. En refroidissement, le rendement se calcule comme le froid fourni sur l'énergie consommée. Il est appelé le **EER**. Son équivalent au SCOP est le **SEER**. Ces valeurs sont calculées de manières théoriques selon la norme **EN 14825** : ce sont les valeurs indiquées sur les fiches techniques. Ces valeurs sont indicatives et permettent la comparaison des équipements entre eux, mais n'offrent pas de garantie sur les performances réelles de l'installation, qui dépendent grandement de la qualité de la mise en œuvre et de la régulation.

L'un des indicateurs de performance suivi pour les installations de production énergétique est le taux d'ENR&R. Pour les réseaux de froid, **ce taux d'ENR&R** est calculé en énergie primaire suivant [le règlement délégué \(UE\) 2022/759](#) de la commission européenne, et **est appelé le SSPF_p**. Le SEER est appelé dans le cadre de ce règlement le SPF_p , à la différence qu'il est calculé en énergie primaire selon la formule suivante :

$$SPF_p = \frac{\text{Froid produit par l'installation}}{\text{Consommation électricité} \times \text{coefficient de conversion en énergie primaire (2,3)}}$$

Il est calculé en énergie primaire, cela signifie que lorsque de l'électricité est utilisée, il faut multiplier la consommation d'électricité par le facteur de conversion qui vaut 2,1 en Europe⁹.

Ensuite, le règlement introduit deux valeurs limites hautes et basses $SPF_{p\ Low}$ et $SPF_{p\ High}$ qui correspondent à des rendements minimal et maximal attendus : respectivement 1,4 (soit un SEER de 3,22, soit le minimum requis pour des climatiseurs standards) et 6 (soit un SEER de 13,8 qui correspond à du free cooling). Pour des valeurs de SPF_p inférieures à 1,4, le taux d'ENR&R est nul.

Le SSPF_p est ensuite calculé comme le rapport entre la différence de performance entre l'appareil en question et le maximum avec la différence entre le minimum possible et le maximum. **Il représente donc le % de performance atteint par rapport au maximum possible, avec comme base les climatiseurs individuels.**

$$SSPF_p = \frac{SPF_p - SPF_{p\ Low}}{SPF_{p\ High} - SPF_{p\ Low}} (\%)$$

Par exemple, pour un équipement dont le SEER est égal à 7,77 :

- $SPF_p = \frac{7,77}{2,1} = 3,7$
- $SSPF_p = \frac{3,7 - 1,4}{6 - 1,4} = 50\%$

Ainsi, pour les systèmes à compression électrique, seuls ceux ayant un SEER à plus de 7,77 peuvent être considéré à plus de 50% d'ENR&R selon la terminologie adoptée par l'UE.

⁹ En France, le facteur de conversion en énergie primaire vaut 2,3. Le règlement indique que le facteur à utiliser est celui de l'UE.

Le tableau suivant reprend les valeurs moyennes que l'on peut retrouver :

Typologie des PAC	SEER	SPF _p	SSPF _p
PAC air/air ¹⁰ Individuelle	2,8	1,33	0%
PAC air/eau Individuelle	2,9	1,38	0%
Climatiseur individuel Minimum d'écoconception	2,95	1,4	0.1%
Groupe froid air sec Réseau de froid ¹¹	3,58	1,71	6%
Groupe froid air humide Réseau de froid	3,68	1,75	7,6%
Groupe froid eau Réseau de froid	4,75	2,26	18,7%
Climatiseur individuel ¹² Performance théorique	7,1	3,38	43%
Système avec SSPF _p de 50%	7,77	3,7	50%
Free Cooling ¹³	12,6	6	100%

Le taux ENR&R est une donnée très peu calculée et communiquée du fait des difficultés d'interprétation de la réglementation européenne et des résultats obtenus. **En suivant cette méthodologie, il n'y a pas de réseau de froid avec des taux d'ENR&R supérieurs ou égaux à 50%, ce qui ne permet pas les aides du fonds chaleur, la TVA réduite ainsi que l'application du classement des réseaux.**

Le SSPF_p est davantage un calcul d'efficacité en comparaison à d'autres systèmes peu performants et très performants. Le terme « Taux d'ENR&R » pourrait être modifié en « Taux d'efficacité ». De plus, la limite à partir de laquelle un réseau de froid est considéré « efficace » pourrait être abaissée de 50 à 15%, ce qui permettrait d'intégrer des réseaux de froid avec une part de groupe froid sur eau importante, d'environ 70%. Une autre possibilité serait la modification de la borne haute de performance, le SPF_{p High}, en l'abaissant au niveau des meilleurs systèmes de production de froid actifs (donc hors free-cooling), soit un SPF_{p High} de 3.

1.3.3. Dynamique du secteur

Depuis le début des années 2000 les pompes à chaleurs (PAC) se sont fortement développées dans le paysage énergétique français : elles couvraient 13% des besoins de chauffage et d'ECS des résidences en 2021 contre 1% en 2005. Ce sont les PAC air/air, le plus souvent réversibles, qui se développent le plus, avec presque 1 million d'installations mises sur le marché en 2023. La proportion de PAC eau/eau reste anecdotique malgré une évolution positive depuis 2 ans.

- PAC air/air : 900 000 (+13%) installées en 2023
- PAC eau/eau : 3 500 (+18%) installées en 2023

¹⁰ Étude AFPG : Rôle de la géothermie dans la climatisation et le rafraîchissement

¹¹ Données EARCF FEDENE

¹² Le SEER moyen des climatiseurs référencés sur Eurovent est de 7,1. Cette valeur est théorique, dans des conditions fixes de laboratoire et ne préfigure pas de la performance réelle des installations. Aucune étude ne permet de quantifier la baisse de performance, même si les différents acteurs estiment des SEER d'environ 3.

¹³ Le free-cooling est le rafraîchissement d'un bâtiment grâce à un milieu plus froid, sans usage d'un équipement thermodynamique. Il est par nature très efficace puisque les consommations d'énergie se limitent à des pompes ou ventilateurs.

D'après l'AFPAC, la moitié des ventes de PAC air/air a vocation à couvrir des besoins de rafraîchissement. À l'inverse, les réseaux de froids se développent peu avec une stagnation des livraisons depuis 2017 à environ 1 TWh/an.

1.3.4. Problématiques liées à l'usage des PAC

1.3.4.1. Performances

Les performances des pompes à chaleur, utilisées en chaud ou en froid peuvent sensiblement s'éloigner des performances attendues sur les fiches techniques et calculées selon des normes en laboratoire. Malheureusement, **il n'existe pas d'étude à grande échelle des performances attendues des systèmes de production de froid climatique**. Les systèmes utilisés pour la production individuelle de froid sont assez proches des pompes à chaleur individuelles, qui sont mieux étudiés. La littérature offre assez peu d'études à grandes échelles sur ces systèmes mais tend à montrer des performances inférieures aux performances annoncées, avec par exemple un écart de 40% pour une étude menée au Royaume-Uni¹⁴ sur la production de chaleur. Cet écart s'explique par un climat éloigné du climat de référence utilisé dans la norme EN 14825, par des conditions d'installation et de régulation qui ne respectent pas les règles de l'art. **Sur la base Eurovent, le SEER moyen référencé dans la base Eurovent des PAC air/air réversibles individuelles est de 7,1**. Les performances réelles sont probablement plus proches de 3, comme évoqué précédemment.

1.3.4.2. Fluide frigorigène

Les fluides frigorigènes utilisés dans les climatisations ont un fort pouvoir réchauffant, 675 fois plus important pour le R32 que le CO₂. D'après l'ADEME¹⁵, les climatiseurs émettent deux fois plus de GES via leur fluide frigorigène que via la consommation d'électricité. Afin de faire diminuer les émissions du secteur, la commission européenne a décidé diminuer progressivement les quantités de fluides fluorés sur le marché, avec plusieurs stades d'interdiction dans les deux prochaines décennies. [La réglementation f-gaz](#) contraint les fluides frigorigènes à utiliser.

¹⁴ <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032121011540>

¹⁵ ADEME – La climatisation, vers une utilisation raisonnée

Le tableau suivant résume les matériels, fluide et date concernés par les interdictions de mise sur le marché :

Type d'équipement	Puissance	Type de gaz fluoré	Interdiction
Refroidisseurs fixes (exemples : groupes froid)	$P \leq 12$ kW	PRP ≥ 150	1 ^{er} janvier 2027
		Tous	1 ^{er} janvier 2032
	$P > 12$ kW	PRP ≥ 750	1 ^{er} janvier 2027
Équipement de climatisation à brancher, pompes à chaleur autonomes, Monobloc	Monobloc, $P \leq 12$ kW	PRP ≥ 150	1 ^{er} janvier 2027
		Tous	1 ^{er} janvier 2032
	Monobloc, 12 kW $< P \leq 50$ kW	PRP ≥ 150	1 ^{er} janvier 2027
	$P > 50$ kW	PRP ≥ 150	1 ^{er} janvier 2030
Équipements de climatisation et pompes à chaleur bi-blocs	< 3 kg de gaz	PRP ≥ 750	1 ^{er} janvier 2025
	Air/Eau $P \leq 12$ kW	PRP ≥ 150	1 ^{er} janvier 2027
	Air/Air $P \leq 12$ kW	PRP ≥ 150	1 ^{er} janvier 2029
	$P \leq 12$ kW	Tous	1 ^{er} janvier 2035
	$P > 12$ kW	PRP ≥ 750	1 ^{er} janvier 2029
		PRP ≥ 150	1 ^{er} janvier 2033
Réfrigération	Réfrigérateurs et congélateurs à usage commercial	PRP ≥ 150	1 ^{er} janvier 2025
	Autre	PRP $\geq 2\,500$	1 ^{er} janvier 2025
		PRP ≥ 150	1 ^{er} janvier 2030

Ainsi le R32, qui représente 97% des appareils Air/air mis sur le marché en 2023¹⁶, sera interdit en 2027. La transition vers des fluides naturels, comme le CO₂ (PRP=1) et le propane (PRP=3) permettra de diminuer graduellement les émissions.

Gaz fluoré	PRP
R32	675
R410a	2088
CO ₂	1
R1234-yh	4
R1234-ze	7
Propane	3
NH3	0
R124a	1430
R407C	1170

¹⁶ Bilan 2023 et perspectives 2024 des industries thermiques, aéronautiques et frigorifiques – UNICLIMA

1.3.4.3. Nuisances sonores et visuelles

Les climatiseurs, par le ventilateur de leur module extérieur, sont des sources d'émission sonore. Leur puissance acoustique est d'environ 65 dB. Ce niveau sonore est tolérable lorsque les modules sont placés à une distance minimale des logements, mais peut être source de nuisance lors d'une exposition répétée ou prolongée, notamment la nuit. Le voisinage doit donc être considéré lors des installations de climatisation afin d'éviter des modules trop proches des fenêtres ou dans les arrière-cours closes.

Dans le cadre de la protection du patrimoine architectural et culturel, les climatiseurs sont généralement vus comme une source de pollution visuelle s'ils sont situés dans un périmètre classé. Par souci de préservation du patrimoine, les modules extérieurs de climatisation peuvent être restreints dans leur mise en place.

1.3.4.4. Ilot de chaleur

La participation des climatisations à l'effet d'îlot de chaleur urbaine est difficile à quantifier mais est certaine. En transférant la chaleur d'un local à l'extérieur elle participe à réchauffer l'air extérieur, augmentant ainsi les besoins en refroidissement. L'électricité consommée par le compresseur s'ajoute à la chaleur transférée. Avec un EER égal à 2,5, chaque kWh de froid implique 1,4 kWh de chaleur restitué au milieu extérieur, dont 0,4 provenant de la consommation d'électricité. La maîtrise des performances énergétiques est importante mais même avec un EER de 5, la chaleur restituée est encore égale à 1,2 kWh pour 1 kWh de froid. La géothermie possède un avantage indéniable puisqu'en plus d'afficher des EER largement supérieurs (jusqu'à 30 pour du [géocooling](#)) elle restitue la chaleur au sous-sol, ne participant pas à la surchauffe urbaine. Les ménages aux revenus très modestes pourraient donc être les principales victimes d'une généralisation des climatiseurs lors des vagues de chaleur, puisque certains ne pourront s'offrir ces solutions.

Les cours d'immeubles où la chaleur est difficilement évacuée par des courants d'air, les logements à proximité de commerce peuvent donc être des zones à risques avec des difficultés de ventilation des logements. La figure suivante illustre bien ce phénomène : un local situé au-dessus d'une climatisation se ventilerait avec de l'air plus chaud.

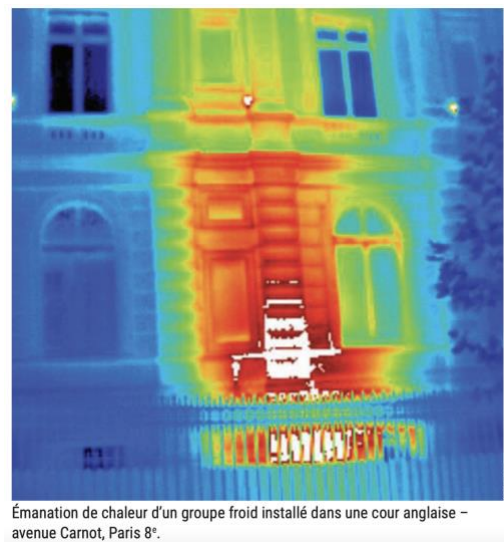


Figure 5 : Thermographie d'une façade d'immeuble avec une pompe à chaleur - APUR

2. Des solutions de refroidissement vertueuses

2.1. Des ENR&R au service de la production de froid

Les modes de production des réseaux de froid sont assez variés et sont détaillés dans les parties suivantes. Le mix énergétique des réseaux de froid était le suivant en 2023 :

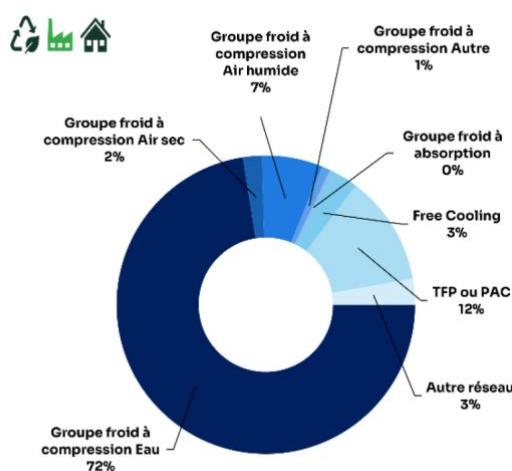


Figure 6 : Mix énergétique des réseaux de froid en 2023 (EARCF FEDENE 2024)

2.1.1. Géothermie, hydrothermie et cloacothermie

Les masses d'eau sont les principales sources de production des réseaux de froid en France. **En 2023, 72% des livraisons de froid des réseaux de froid sont réalisées à l'aide de pompe à chaleur eau/eau.** L'immense avantage de ces ressources est l'écart de température entre la source froide et la source chaude. Ci-dessous, les températures des sources chaudes :

- Nappe d'eau souterraine : entre 12 et 20°C
- Rivière : 20 à 25°C pour la Seine en période estivale
- Lac : Entre 7°C toute l'année en profondeur (lac d'Annecy) et 25°C en surface
- Mer (thalassothermie) : Entre 12 et 25°C,
- Eaux usées : 20 à 25°C en été (ZAC Oullins)

Pour une température de départ classique de 4 degrés, l'écart entre ces masses d'eau et à la température du réseau est donc limité à maximum 20°C, alors que l'écart sur l'air peut atteindre des valeurs de 30°C en période de forte chaleur. Ces sources d'énergie sont présentes sur une large partie du territoire, et ne consomment pas d'eaux puisque toute l'eau prélevée subit uniquement un changement de température avant d'être complètement restituée au milieu naturel.

Il peut exister une limite temporaire à la ressource quand les rivières sont trop chaudes et que les températures des milieux aquatiques s'élèvent trop. **Le SEER estimé par la FEDENE sur ces installations est de 4,75.** Les eaux usées ou épurées peuvent être utilisées comme source d'énergie pour le chauffage en hiver ou pour le

refroidissement en été : c'est la cloacothermie. Leur température varie dans l'année mais ne descend pas en dessous de 10°C l'hiver et dépasse rarement les 25°C en été, ce qui en fait un milieu d'échange intéressant.

2.1.2. Thermofrigopompes

Le montage en thermofrigopompes (TFP) consiste à valoriser les transferts thermiques des deux côtés d'une PAC. Il permet une valorisation de la chaleur produite par les installations de production de froid, il se s'agit donc pas d'une énergie renouvelable, mais d'une énergie de récupération. Ces montages couvrent 10 à 12% des besoins des réseaux de froid. Par exemple, une pompe à chaleur peut alimenter toute l'année en froid un datacenter ou un centre commercial et produire au niveau de son condenseur une eau chaude pour des besoins de chauffage ou d'eau chaude sanitaire. L'écart entre les sources froide et chaude peut être important, de l'ordre de 70°C, ce qui laisse présager une performance basse. Cependant, les deux côtés de la PAC étant valorisés il n'y a pas d'exutoire nécessaire. Un COP de 2,5 serait jugé faible pour une PAC classique. Dans le cas d'un montage en thermofrigompe, cela signifie qu'un kWh d'électricité produit 2,5 kWh et 1,5 kWh de froid. 4 kWh sont donc valorisés à partir d'un kWh électrique¹⁷.

Ce type de montage ne peut fonctionner qu'en cas d'un équilibre des besoins, qui ne peut pas être atteint parfaitement. Des appoints en chauffage et refroidissement sont nécessaires.

2.1.3. Chaleur Fatale

Le gisement de chaleur fatale est encore largement sous-exploité, et ce qui l'est aujourd'hui permet essentiellement de couvrir des besoins de chaleur. Ces besoins diminuent en été, et la chaleur fatale peut rester excédentaire. Les pompes à chaleur à absorption peuvent permettre de valoriser une chaleur fatale qui n'est pas valorisée l'été. Les rendements sont moins bons mais la chaleur valorisée étant perdue, elles offrent une solution intéressante. La chaleur doit avoir une température d'au moins 80°C, et les rendements augmentent avec celle-ci. Ce sont donc les récupérations de chaleur sur des installations de combustion, comme des fours industriels ou des UVE qui permettent l'utilisation de PAC à absorption.

2.1.4. Solaire thermique

Les périodes de fortes consommations de froid coïncident avec les fortes chaleurs, et donc souvent avec les périodes de forte irradiation solaire. Plusieurs technologies permettent de valoriser ce gisement d'énergie en en production de froid et de chaleur : compression thermique par absorption, adsorption, dessiccation, ... A l'heure actuelle ses technologies existent pour le particulier mais aucun de ces systèmes n'est en fonctionnement pour des réseaux de froid. Les coûts d'investissement et les rendements assez faibles semblent être des freins majeurs.

2.1.5. Aérothermie – Voie sèche

L'aérothermie reste bien une source de froid renouvelable malgré les défauts relevés précédemment. Elle représente aujourd'hui environ de 2% des livraisons de froid via les réseaux. Principalement utilisée en appoint/secours, elle a l'avantage de ne pas nécessiter d'infrastructure particulière et peut fonctionner à tous moments, avec une réactivité intéressante. Comme évoqué précédemment, les rendements des installations sur air varient en fonction de la météo et des températures extérieures. L'inconvénient majeur est que les périodes de fortes consommations sont les périodes de fortes chaleurs, avec des rendements faibles : d'après l'ADEME, entre 30 et 40°C extérieur le rendement chute de 40%. Il s'agit de la technologie utilisée dans l'immense majorité des systèmes de climatisation individuelle et collectif (hors réseaux de froid). **La FEDENE avance que les SEER des PAC aérothermique par voie sèche sur réseaux de froid sont de 3,48.** Elles sont plus élevées que pour des installations individuelles, cela s'explique par des périodes de fonctionnement plus large, qui couvrent des périodes moins chaudes où les performances sont meilleures.

¹⁷ Exemple non représentatif d'un cas moyen.

2.1.1. Aérothermie – Voie humide

Afin de remédier à l'impact de la température extérieure sur les performances des systèmes aérothermique, l'une des possibilités est d'évaporer de l'eau au niveau de l'échangeur de la source chaude. Cette technique permet de s'affranchir de l'influence de la température extérieure. Elle se remarque par la présence de tour aérorefrigérante, parfois visible avec un panache d'eau. Ces systèmes couvrent 7 à 10% des besoins des réseaux de froid et sont également utilisés en appoint. Ils sont également utilisés dans l'industrie et les grands ensembles tertiaires, et totalement absents des solutions individuelles. En effet, le premier grand désavantage est les conditions de températures et d'humidité sont idéales pour le développement de légionelloses : ces installations fond donc l'objet de traitement chimique et d'un suivi régulier pour éviter toute prolifération bactérienne. **Deuxièmement, chaque kWh engendre la consommation d'un à 2 L d'eau, soit environ 1000 m³/GWh.** A l'heure la maîtrise des consommations d'eau devient en enjeu capital, cette technologie doit être utilisée avec parcimonie. **D'après la FEDENE, les SEER de ces PAC sur réseaux de froid sont de 3,58.**

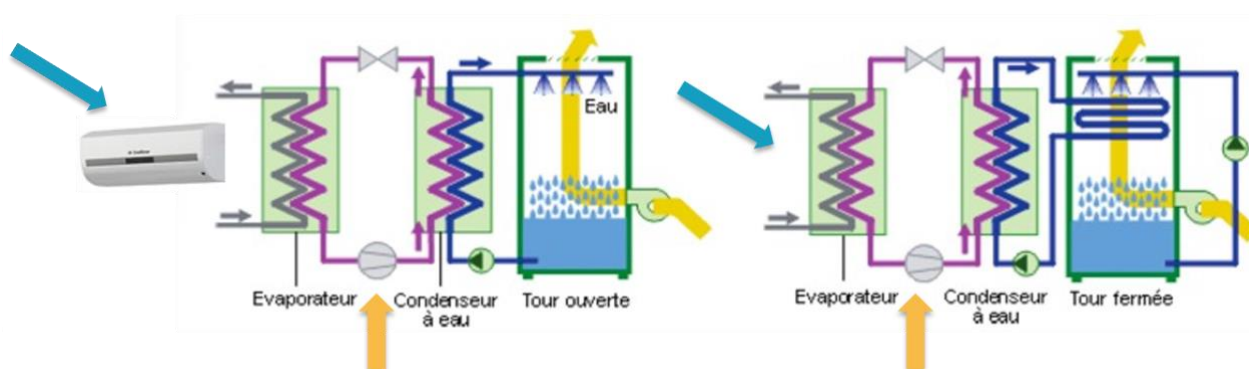


Figure 7 : Groupe froid aérothermique par voie humide

2.2. Les réseaux de froid

L'enquête annuelle des réseaux de chaleur et de froid détaille plus en profondeur les principaux chiffres des réseaux de froid sur le territoire. **En 2023, les livraisons des 43 réseaux se sont élevées à 0,92 TWh, pour environ 1600 bâtiments raccordés.**

2.2.1. Avantages des réseaux de froid

Les réseaux de froid sont très proches dans leur conception des réseaux de chaleur. Ils bénéficient donc des mêmes avantages, qui répondent positivement à un certain nombre de contraintes des climatiseurs évoquées précédemment.

- **Valorisation d'ENR&R** : mutualiser les besoins permet de valoriser des sources d'ENR&R qu'une solution individuelle ne pourrait valoriser. La chaleur fatale, les thermofrigopompes, la cloacothermie restent inaccessibles à des solutions individuelles. À l'échelle d'un bâtiment, la géothermie peut faire face à des problématiques de foncier. Les réseaux de froid valorisent ces exutoires, qui permettent d'atteindre de meilleures performances énergétiques, avec des EER plus élevés.
- **Maintenance et suivi** : les réseaux de froid sont des installations collectives avec des obligations de continuité de service. Ces équipements sont donc suivis, entretenus par des professionnels afin de maintenir les équipements à leur meilleur standard. Les avantages sont nombreux : haut niveau de disponibilité, maîtrise des coûts et performances énergétiques meilleures.
- **Stockage de froid** : la mutualisation des besoins permet le lissage des appels de puissance : certains consommateurs consommeront en permanence, d'autres uniquement l'été ou en période de forte chaleur. Cela permet de dimensionner au plus juste les équipements, et les réseaux de froid peuvent

également être équipés de stockage de froid sous la forme de glace par exemple. L'intérêt est de limiter la taille des installations et les cycles courts en effaçant les appels de puissance très courts.

- **Fluide frigorigène** : comme évoqué plus tôt, les fluides frigorigènes sont des produits polluants. Le taux de perte de fluide est plus important sur les solutions autonomes que sur les solutions collectives. De plus, la mutualisation des besoins permet de limiter la puissance installée et donc la quantité de fluide nécessaire. Les fluides naturels sont aujourd'hui moins accessibles au grand public pour des raisons de coûts, or ils le sont davantage pour les solutions collectives qui peuvent donc utiliser des fluides au PRP moins élevé.
- **Nuisance sonore et visuelle** : la production centralisée de froid éloigne les nuisances sonores des consommateurs. Elles sont aussi réduites par les sources d'énergie utilisées : 80% du froid des réseaux provient aujourd'hui de pompe à chaleur eau/eau. En éliminant les modules en façade, les réseaux de froid répondent à la problématique de la pollution visuelle.
- **Ilots de chaleur** : seulement 2% du mix énergétique des réseaux de froid provient de groupe froid à compression sur air sec. Ces derniers utilisent la même technologie que les climatisations. Les autres modes de production sont plus efficaces et évacuent leur chaleur dans des masses d'eau en surface ou dans le sous-sol. Elles ne participent donc pas aux effets d'îlot de chaleur urbain.

La figure suivante reprend les principaux avantages des réseaux de froid :



Figure 8 : Principaux avantages des réseaux de froid

2.2.2. Réseaux de froid centralisés

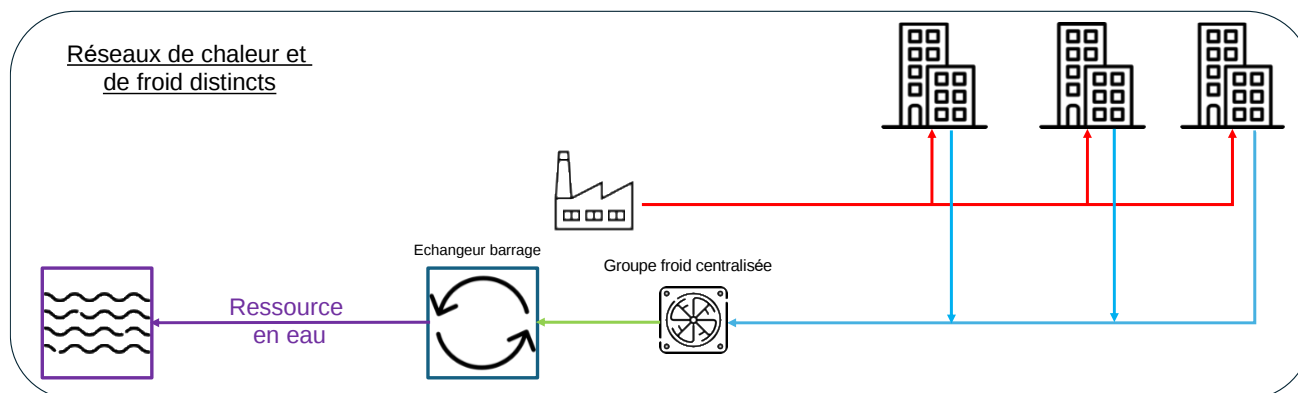


Figure 9 : Schéma de principe des réseaux de froid centralisés

La production centralisée est la technologie qui est développée sur les réseaux de chaleur et de froid français. Le principe est celui d'une production de froid sur un ou quelques sites et une distribution via des canalisations spécifiques vers les sous-stations des bâtiments raccordés. Les régimes de température des réseaux de froid sont de 3 à 5°C aller/14°C retour.

En sous-station, comme pour la chaleur, sont installés des échangeurs permettant de dissocier la distribution dite « primaire » du « secondaire » intérieure aux bâtiments. Les réseaux de chaleur et de froid sont physiquement totalement distincts et indépendants : 4 tubes sont nécessaires pour la distribution énergétique. Certains réseaux, généralement de très petites tailles, sont en « change over », c'est-à-dire que le réseau transporte de l'eau chaude en hiver, puis de l'eau glacée en été.

Dans certaines collectivités les réseaux de chaleur et de froid sont interconnectés : un montage en thermofrigopompe permet la valorisation de la chaleur produite par le réseau de froid sur le réseau de chaleur.

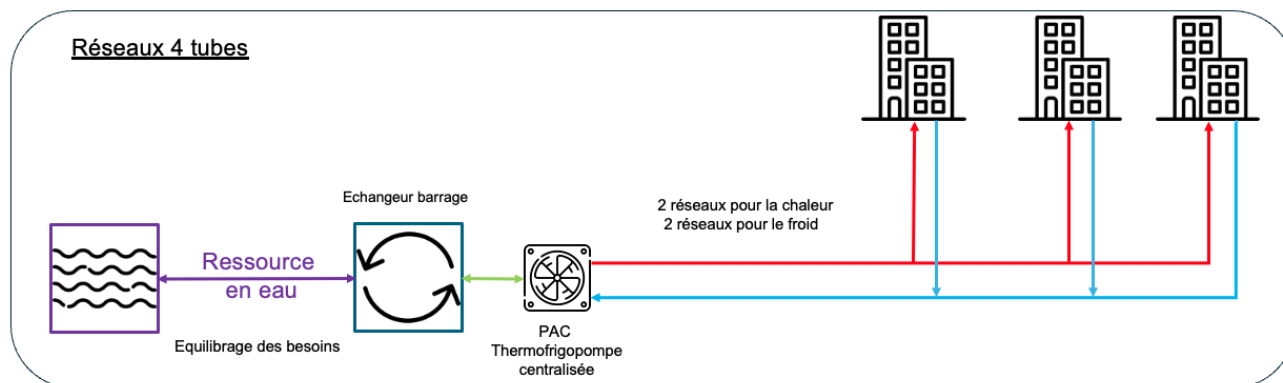


Figure 10 : Schéma de principe d'un réseau 4 tubes

2.2.3. BET

Les boucles d'eau tempérée (BET) sont des réseaux de distribution de chaleur et de froid. Contrairement aux réseaux de chaleur et de froid, la production de la température souhaitée est décentralisée en sous-station des consommateurs. L'eau transportée dans le réseau de distribution n'a plus besoin d'être à haute température : c'est une « eau tempérée » dont la température va évoluer entre 10 et 30 degrés. Ces réseaux existent lorsque sur le même territoire il existe en simultanée des consommateurs de chaleur et de froid.

Par exemple, un datacenter injecte des calories sur un réseau en hivers à une température de 20°C, cette eau est distribuée et des logements réhausse la température en pied d'immeuble pour leur besoin de chauffage via une pompe à chaleur eau/eau. En été, cette même chaleur peut être utilisée pour la production d'eau chaude

sanitaire. **L'équilibre entre les besoins est donc essentiel, c'est pourquoi il existe toujours une ou plusieurs sources d'ENR d'équilibrage : par exemple la géothermie.** Son rôle sera alors de réguler et d'équilibrer les besoins, en injectant ou en retirant de la chaleur du sous-sol selon les besoins. **Les BET sont donc très pertinentes sur des périmètres avec une mixité d'usages importante :** logement, commerce, tertiaire, ... et lorsqu'une énergie d'équilibrage est identifiée : géothermie, chaleur fatale, cloacothermie, ... Enfin, la maîtrise des régimes des températures est essentielle pour limiter les consommations d'électricité des pompes à chaleur. Les BET sont très pertinentes dans les zones en développement comme les ZAC par exemple.

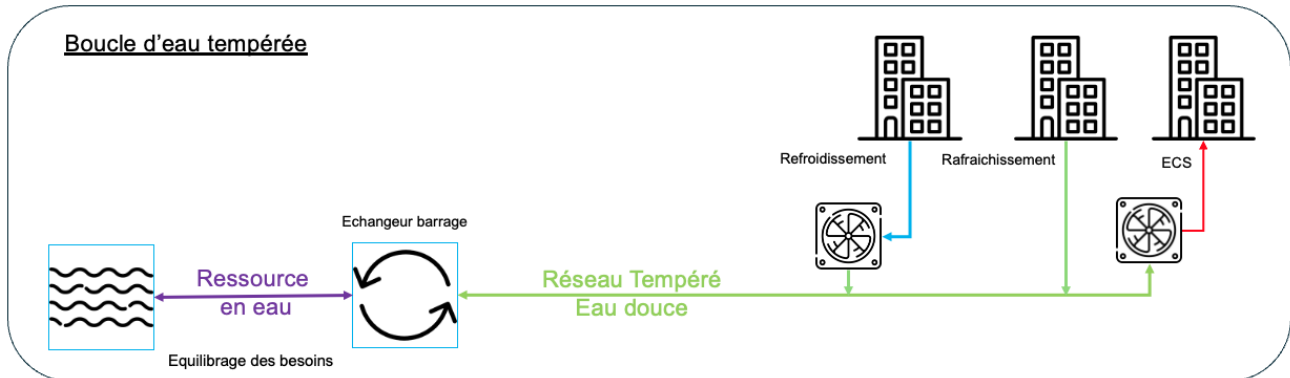


Figure 11 : Schéma de principe d'une boucle d'eau tempérée

2.2.4. Réseaux de chaleur fournissant du froid

Cette logique est particulièrement intéressante pour le développement d'une offre commerciale de fourniture de froid par les réseaux de chaleur. Il s'agit d'utiliser des technologies d'absorption (ou d'adsorption) pour produire en sous-station, à partir d'eau chaude, d'eau surchauffée ou de vapeur, de l'eau glacée distribuée dans le ou les bâtiments en aval de la sous-station. L'avantage principal est que les canalisations en place sont utilisées et l'offre de froid faite sur le réseau de chaleur existant. L'exploitation de la production de froid peut être du ressort du gestionnaire du réseau de chaleur, ou bien de l'exploitant du réseau secondaire. **Ce fonctionnement est très intéressant pour les réseaux aux forts taux de chaleur fatale ou de géothermie profonde qui ne peuvent valoriser toute leur chaleur en période estivale.**

Comme évoqué précédemment le rendement de cette solution technique est assez faible, et l'évacuation de chaleur est toujours nécessaire, ce qui signifie une participation aux effets d'îlot de chaleur urbain importante.

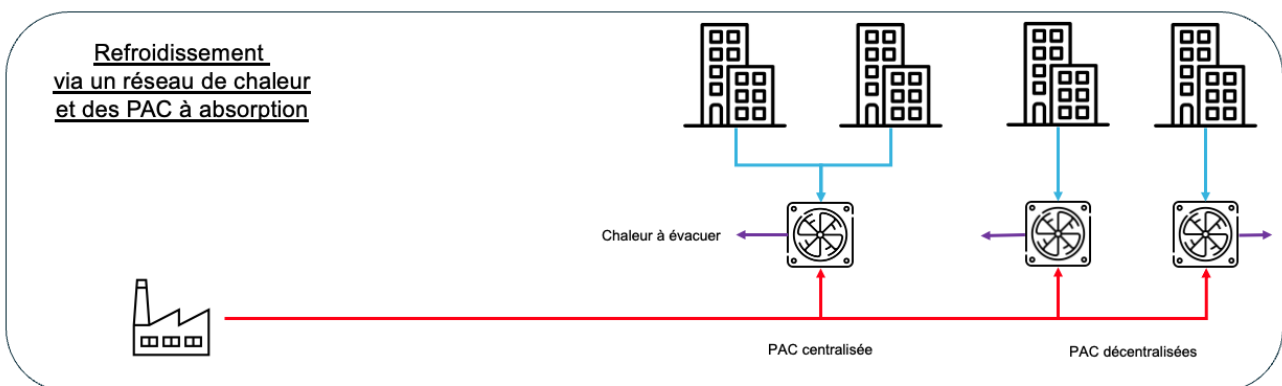


Figure 12 : Schéma de principe d'un réseau de chaleur fournissant du froid via des PAC à absorption

2.2.5. Conditions de développement des réseaux de froid

Chaque projet de réseau de froid est différent et il est complexe d'établir des conditions idéales de développement des réseaux de froid. Étudier les caractéristiques des 40 réseaux actuels¹⁸ permet tout de même de dégager quelques chiffres. Le réseau de froid de Paris est un cas très particulier qui a tendance à écraser les moyennes des autres réseaux, c'est pourquoi nous avons fait le choix de le retirer des moyennes.

Lors des études de faisabilité, l'un des premiers critères étudiés est la densité thermique¹⁹ du réseau. Pour les réseaux de chaleur, la limite basse de rentabilité économique est estimée à 1,5 MWh/ml/an. **Concernant les réseaux de froid, la densité thermique semble plus élevée, avec 77% des livraisons pour des densités > 3 MWh/ml/an**, 35% des livraisons pour des réseaux à la densité supérieure à 5.

Les réseaux de froid sont également moins étendus, avec des **longueurs moyennes de seulement 4 km**. Cela s'explique car les réseaux de froid, en dehors de Paris, se sont historiquement développés autour de quartiers en pleine mutation vers un usage tertiaire : la Part-Dieu (Lyon), la Défense (Paris), Antigone (Montpellier), ... Cette tendance se poursuit aujourd'hui, **avec des réseaux qui se développent dans des ZAC comme à Oullins**. Ainsi, les réseaux de froid se développent globalement autour de grands consommateurs tertiaires proches géographiquement avec un aménagement urbain et des voiries en pleine mutation. **Les consommateurs tertiaires représentent 94% des livraisons en 2023** (5,6% pour l'industrie, 0,4% pour le résidentiel).

L'avantage est la facilité à raccorder des bâtiments neufs avec des besoins de froid, qui disposent des équipements nécessaires à la distribution centralisée de chaleur et de froid, et dont les voiries sont en phase d'aménagement. Les points de livraisons sont naturellement limités en nombre (20 en moyenne).

La présence d'exutoires de chaleur garantissant des performances élevées est aussi un facteur central dans le développement des réseaux de froid. 72% de la production des réseaux de froid est réalisée à partir d'une source de chaleur sur eau, 7% sur air humide et 2% seulement sur air sec (moins efficace).

Le classement des réseaux de chaleur et de froid²⁰ est un outil réglementaire obligeant sous certaines conditions le raccordement de bâtiments aux réseaux de froid. Fin 2024, aucun réseau de froid n'est listé dans [l'arrêté des réseaux classés](#), ce qui signifie qu'aucun réseau de froid n'est classé. Ceci s'explique car l'un des critères pour le classement d'un réseau est le seuil de 50% d'ENR&R. La méthodologie de calcul utilisée aujourd'hui est la méthodologie du règlement européen citée en 1.3.2. Suivant cette méthodologie, aucun réseau de froid atteint les 50% requis pour le classement.

Les réseaux de froid sont particulièrement intéressants pour le décret tertiaire. Le raccordement à un réseau de froid permet d'effacer 75% des consommations énergie, qu'importent le réseau et le mix énergétique associé²¹.

Les outils disponibles pour accompagner la création d'un réseau de froid sont assez limités début 2025. EnRezo permet, à l'instar des réseaux de chaleur, d'identifier des zones de potentielles de développement de réseau de froid. La version experte permet de faire varier les critères d'identification. L'exemple ci-dessous montre des besoins identifiés sur des zones denses, tertiaires, des centres hospitaliers ou encore des campus universitaires.

¹⁸ [Le site du SDES](#) regroupe les caractéristiques des réseaux de chaleur et de froid

¹⁹ La densité thermique est la somme des livraisons de chaleur sur un an, divisée par la longueur totale des tranchées

²⁰ RCJ24 Tout savoir sur le classement des réseaux de chaleur et de froid

²¹ <https://amorce.asso.fr/actualite/decret-tertiaire-une-evolution-de-la-comptabilisation-en-energie-primaire-en-faveur-des-reseaux-de-chaleur-et-de-froid>

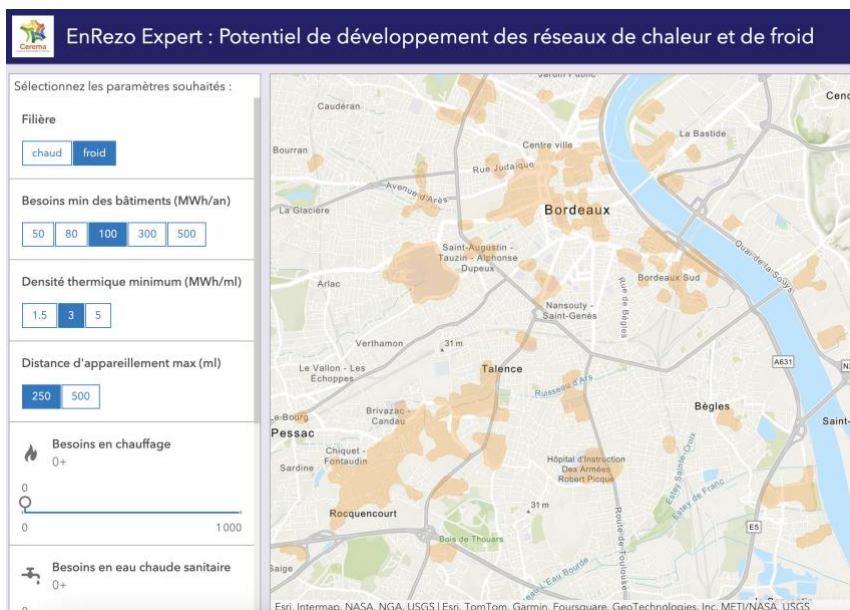


Figure 13 : Aperçu de la plateforme EnRezo Expert

2.2.6. Aides et financements des réseaux de froid

La production de froid implique des consommations d'électricité, qui est le premier consommable des réseaux de froid. Malgré des technologies efficaces et des rendements élevés, le prix de vente est très dépendant des prix de vente de l'électricité. L'électricité étant une énergie transformée, son prix au kWh est historiquement plus élevé que celui du gaz ou de la biomasse. **Cela impacte le prix des réseaux de froid, qui a été en moyenne de 197 €/HT/MWh en 2023**²². La très forte augmentation des prix de l'électricité en 2022 et 2023 est en partie responsable de ce prix élevé.

L'un des freins au développement des réseaux de froid par le prisme économique est **l'absence de TVA réduite pour les réseaux de froid sur la part variable**. [Le code général des impôts](#)²³ indique : « La taxe sur la valeur ajoutée est perçue au taux réduit de 5,5 % en ce qui concerne : (...) les abonnements relatifs aux livraisons d'énergie calorifique distribués par réseaux ». Cependant, il précise aussi : « ainsi que la fourniture de **chaleur** lorsqu'elle est produite au moins à 50 % à partir de la biomasse, de la géothermie, de l'énergie solaire thermique, des déchets et d'énergie de récupération ». La fourniture de froid n'est donc pas concernée, de même que l'énergie prélevée dans l'air ambiant, ce qui exclurait les pompes à chaleur aérothermiques.

Le Fonds Chaleur géré par l'ADEME accompagne les études et les financements aux projets de réseaux de froid. Le taux d'ENR froid à respecter est de 50% minimum et le calcul doit suivre la méthodologie de la commission européenne. A notre connaissance, il n'y a pas eu de financement pour un réseau exclusivement de froid ces 5 dernières années.

Une seule fiche CEE permet l'obtention d'une aide sur ce dispositif : la fiche [BAT-TH-159 Raccordement d'un bâtiment tertiaire à un réseau de froid](#). Les volumes de MWh cumac dépendent de l'usage du bâtiment et de la zone climatique, des bureaux en H1 nécessitant 500 kW de puissance bénéficient de 3 900 MWh cumac, soit environ 31 000 €. Un institut de santé en zone H3 bénéficiera de 23 400 MWh, soit 187 000 € pour la même puissance. Malheureusement, il n'existe pas son équivalent pour les bâtiments résidentiels. Sa mise en place pourrait être une source intéressante même si le nombre de bâtiments résidentiels existants et possédant une boucle d'eau glacée sont rares.

²² RCE41 – Enquête de prix des réseaux de chaleur et de froid en 2023

²³ Article 278-0 bis du code des impôts

2.3. Retours d'expérience

Les retours d'expérience suivants ne sont pas exhaustifs et permettent d'illustrer quelques projets déjà réalisés ou en cours de réalisation. Ils illustrent plusieurs tailles, mix énergétique et contextes.

2.3.1. Quartier Pleyel - village olympique

Le village olympique de Paris 2024 ainsi que les quartiers alentours ont bénéficié d'importants travaux. Des réseaux de chaleur et de froid ont été mis en place afin de répondre aux besoins de cette zone à la mixité d'usage élevée. Les besoins en chaleur sont de 30 GWh pour le chaud et 10 GWh pour le froid.

Début de fonctionnement du réseau : 2024, les données sont prévisionnelles.

Type de réseau : 4 tubes, 8,5 km,

Volume énergétique : 10 GWh/an de froid, 30 GWh/an de chaud,

Mix énergétique : 65% d'ENR&R pour le chaud, fonctionnement en thermofrigopompes,



L'importante mixité des usages a poussé le SMIREC à choisir un montage en thermofrigopompe complété avec de la géothermie de surface. Les besoins de refroidissement continus, même l'hiver, permettent de la valorisation de la chaleur produite. Cela permet d'avoir une base constante, toute l'année de valorisation de chaleur via la thermofrigopompe. En complément la géothermie est utilisée pour l'appoint, à la fois pour la production de chaleur ou la production de froid en période estivale. Enfin, des groupes froid classiques assurent le complément lors des périodes de forte chaleur (le réseau CPCU pour l'appoint en chaleur).

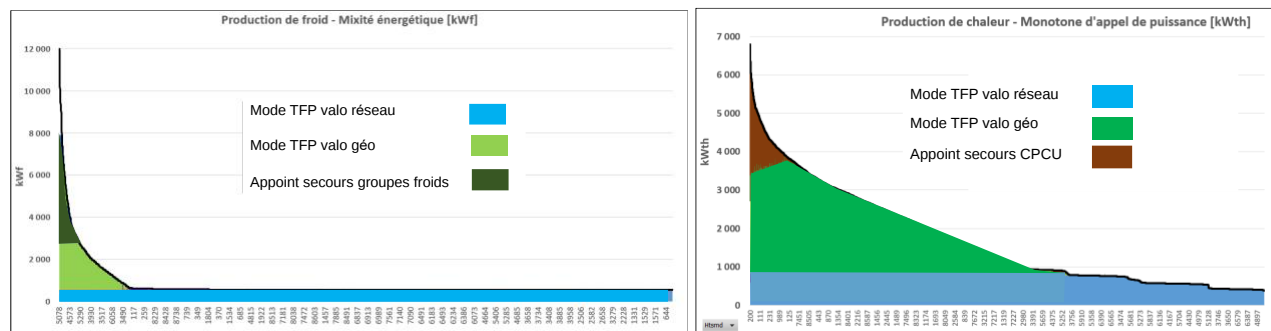


Figure 14 : Monotones projetées des besoins de chaleur et de froid sur le village olympique

Le total des investissements s'est élevé à 29 M€, dont 5,8M€ provenant du Fonds Chaleur.

2.3.2. Réseaux thalassothermiques de Marseille

Deux réseaux thalassothermique ont été déployés dans le secteur du port industriel de Marseille : [Massileo](#) et [Thassalia](#). Ces mises en place se sont déroulées avec une requalification d'une zone industrielle en une zone tertiaire et résidentielle. Les deux réseaux sont proches sur le principe de fonctionnement avec une production énergétique basée sur des thermofrigopompes et un appoint par l'eau de mer.

Réseau de Thassalia (réseau privé) :

Début de fonctionnement du réseau : 2016,

Type de réseau : 4 tubes (froid 5/14°C, chaud 60/45°C), 5 km,

Volume énergétique : 11 GWh/an de froid, 10 GWh/an de chaud,

Mix énergétique : 74% d'ENR&R pour le chaud, 87% pour le froid (selon la méthodologie FEDENE),

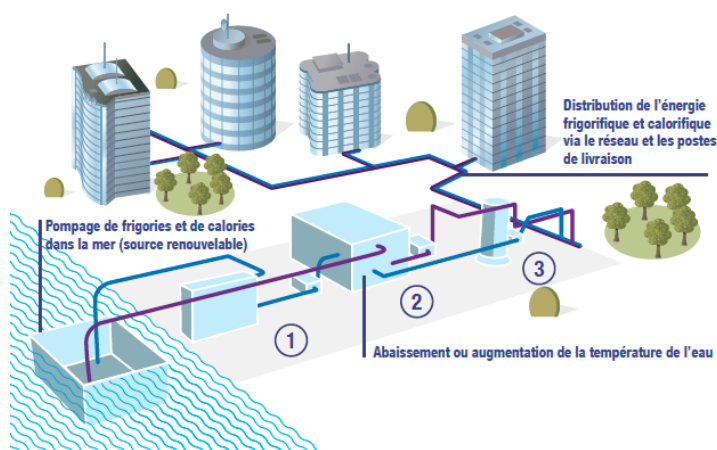


Figure 15 : Fonctionnement de [Thassalia](#)

2.3.3. Boucles d'eaux tempérées de Saclay

Les campus universitaires et de recherche de Saclay possèdent deux boucles d'eaux tempérées pour le chauffage et le refroidissement des bâtiments. Ces réseaux ont pris place lors des importants travaux d'aménagement du plateau de Saclay pour y accueillir les écoles universitaires. Les deux réseaux ont livré en 2023 14,8 GWh de froid. Le réseau fonctionnant sur le principe d'une boucle d'eau tempérée, et d'un réseau 4 tubes, le talon de production est réalisé par des thermofrigopompes. La géothermie ne peut être utilisée pour le refroidissement car les rejets dans la nappe de l'albien sont limités réglementairement à 30°C. Des tours aéroréfrigérantes réalisent l'équilibrage nécessaire en froid.

Réseau de Saclay :

Début de fonctionnement du réseau : 2017,

Type de réseau : boucle d'eau tempérée et réseau 4 tubes décentralisés - 20 km,

Volume énergétique : 10 GWh/an de froid, 40 GWh/an de chaud,

Mix énergétique : 60% d'ENR&R au global, thermofrigopompes et géothermie (Albien, 700m),

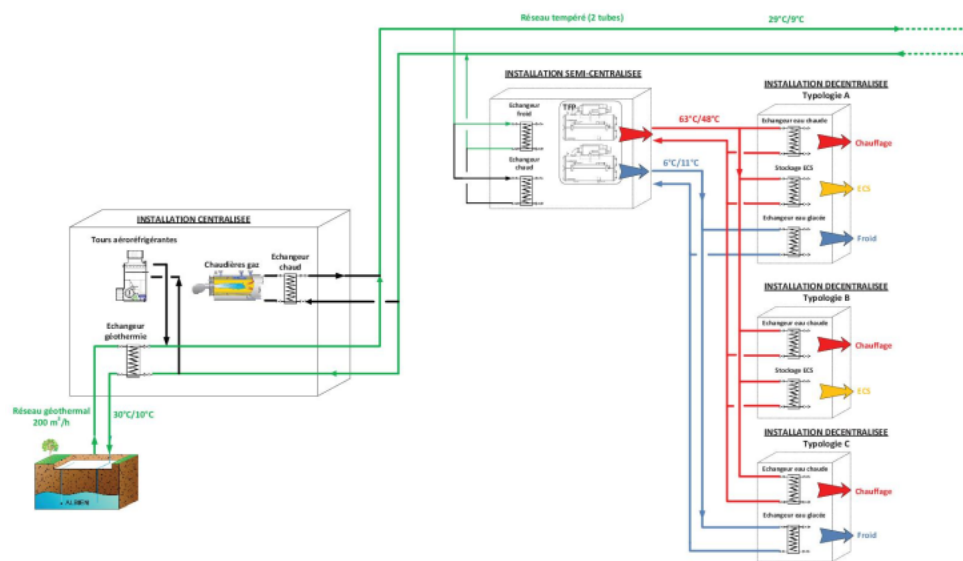


Figure 16 : Principe de fonctionnement du réseau - CEREMA

2.3.4. Réseau de froid décentralisé des Grisettes (Montpellier Métropole).

Le réseau de chaleur [des Grisettes](#) est alimenté par des chaudières biomasse qui couvrent 85% des besoins. L'eau surchauffée alimente un module ORC qui produit environ 1 kWh d'électricité pour 7 kWh de chaleur. La production d'électricité suit la demande de chaleur du réseau urbain. Dans les immeubles climatisés de bureaux et de commerces, sont installés des absorbeurs à eau chaude raccordés au réseau urbain pour produire du froid

- **Type de réseau :** Réseau de chaleur avec production de froid centralisée via des groupes à absorptions
- **Volume énergétique :** 700 MWh de froid pour une clinique et deux immeubles tertiaire
- **Mix énergétique :** Réseau de chaleur alimenté annuellement à 80% par l'UVE de Montpellier avec un taux proche de 100% de mai à septembre,
- **Performance des groupes à absorption :** rendement (CEP) de 65 à 70%

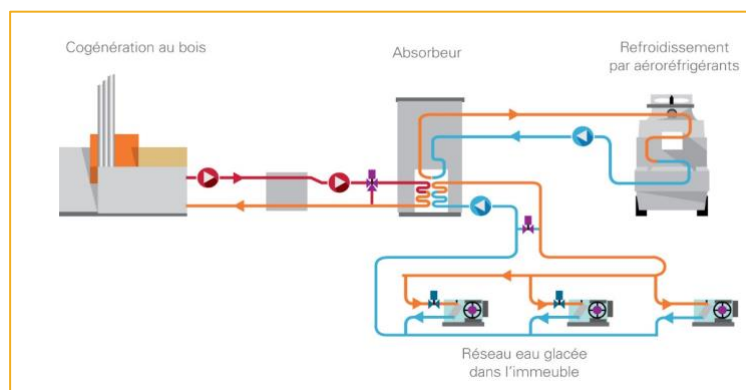


Figure 17 : Schéma de principe du réseau des Grisettes (Montpellier) - ALTEMED

2.3.5. Réseau de froid de Lyon

Le principal réseau de froid de la métropole de Lyon est le réseau de la Part-Dieu. Construit autour d'un grand pôle tertiaire, il alimentait 91 points de livraison pour un total de 45 GWh/an en 2021. Il permet de valoriser une ressource issue d'une contrainte : les eaux d'infiltration des parkings souterrains sont pompées pour éviter leur inondation. Le réseau permet, entre le pompage et la restitution au milieu naturel, d'évacuer les calories du réseau de froid. Les rendements obtenus sont importants : un SEER de l'ordre de 6 toute l'année. En complément, un stockage de glace permet de lisser la production de froid des PAC lors des forts appels de puissance.

La métropole a réalisé un important travail de pédagogie avec une visite virtuelle des installations disponible [sur leur site](#).

Début de fonctionnement du réseau : 1970

Type de réseau : Réseau de froid dédié, 13 km de réseau.

Volume énergétique : 44 GWh/an

Mix énergétique : eaux d'exhaure



Figure 18 : Principe de fonctionnement du réseau de froid de la Part-Dieu - Métropole de Lyon

2.3.6. Réseau de froid ENERIANCE

Le réseau de chaleur [ENERIANCE \(Toulouse\)](#) permet de valoriser depuis les années 1970 la chaleur fatale issue de l'unité de valorisation énergétique du Mirail. Le réseau s'est peu à peu développé et la métropole a décidé de valoriser la chaleur excédentaire en été pour la production de froid sur le [quartier de la Cartoucherie](#). L'opérateur annonce que les besoins de froid sont couverts à 100% par la chaleur fatale issus de l'incinérateur via l'usage d'une pompe à chaleur à absorption. Il s'agit d'un exemple de petit réseau de froid centralisé et alimenté par un réseau de chaleur.

Début de fonctionnement du réseau : 2017

Type de réseau : Réseau de froid centralisé et alimenté par un RC, 7 km de réseau alimentent un éco-quartier

Puissance : 1,7 MW, 4 MW annoncé (80 m² de bureau).

Mix énergétique : chaleur fatale (100%)

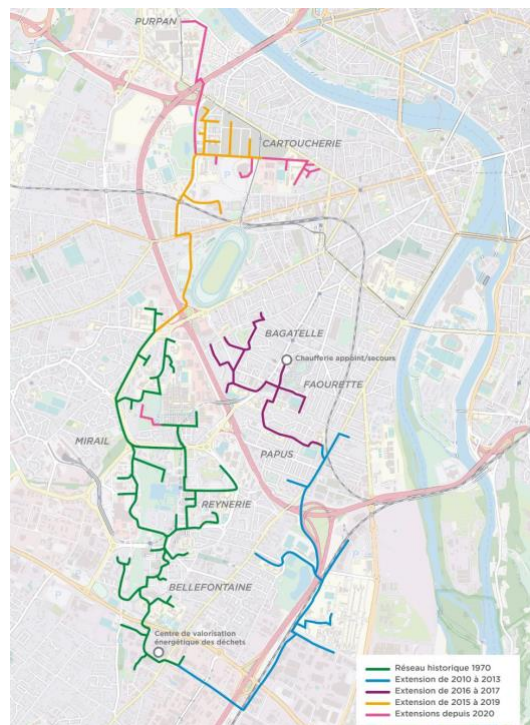


Figure 19 : Réseau du Mirail et extensions

CONCLUSION

Les réseaux de froid peuvent répondre à des besoins croissants de la demande de refroidissement. Ils sont aujourd'hui assez peu développés, avec seulement 40 installations sur le territoire en 2023. Par rapport aux solutions dédiées pour le résidentiel ou le tertiaire, **ils ont de meilleur rendement en valorisant des exutoires de chaleur à plus basse température et forte inertie comme la géothermie ou la thalassothermie**. Ces milieux d'échange permettent d'éviter l'évacuation de chaleur dans l'air ambiant des villes, **évitant ainsi les effets d'îlot de chaleur urbain**. Ils permettent de valoriser de la chaleur fatale, ou de cogénérer de la chaleur comme de l'eau chaude sanitaire en été via des thermofrigopompes.

Historiquement, les développements de réseaux de froid se sont concentrés autour de centre tertiaire, principalement grâce aux importants besoins en refroidissement de ces bâtiments. **Aujourd'hui, la création d'écoquartier mêlant les usages tertiaires et résidentiels est l'un des facteurs de développement des boucles d'eau tempérée**. La filière est encore freinée, notamment pour des raisons économiques car les réseaux de froid ne bénéficient pas d'un taux de TVA réduit comme leurs homologues des réseaux de chaleur. La définition européenne du taux d'énergie renouvelable, très restrictive, ne permet pas aux réseaux de bénéficier du classement des réseaux et du Fonds Chaleur.

Les exemples français de réseaux de froid montrent une diversité assez importante des technologies utilisées : thermofrigopompes, géothermie, thalassothermie, valorisation d'eaux d'exhaure, ... et de typologies de réseaux : boucle d'eau glacée, réseaux 4 tubes, boucle d'eau tempérée, ... Ils tendent à montrer que chaque réseau à ses particularités qui doivent être étudiées avec soin, en fonction des exutoires de chaleur disponibles.

La filière vise pour 2028 entre 2 et 2,7 TWh/an, soit au minimum un doublement des livraisons en 5 ans. Les projets actuellement en développement ne permettront probablement pas d'atteindre ces objectifs. Les principaux freins identifiés semblent se concentrer sur une prise de conscience politique tardive sur les problématiques de production de froid climatique. L'absence de soutien économique par le Fonds Chaleur, dû à une définition de taux d'ENR&R floue et très restrictive, est un obstacle au développement de la filière. Cette définition ne permet pas l'application du classement et donc de l'obligation de raccordement. **L'absence d'émetteurs de froid compatibles ainsi que de boucles d'eaux glacée dans le résidentiel est le plus grand frein dans ce secteur, à l'heure où les solutions aérothermiques individuelles se développent**.

Glossaire

BET : Boucle d'Eau Tempérée

COP : Coefficient de performance énergétique. Indicateur de performance des pompes à chaleur pour la production de chaleur, il reflète le rendement énergétique de l'installation sur un point de fonctionnement. Il se calcule comme le ratio de la puissance produite sur la puissance consommée. Une même installation possède une multitude de COP, qui dépendent des températures des deux sources de chaleur.

EER : Energy Efficiency Ratio. Indicateur de performance des pompes à chaleur pour la production de froid, il reflète le rendement énergétique de l'installation sur un point de fonctionnement. Il est aussi appelé COP_{Froid} . Il se calcule comme le ratio de la puissance produite sur la puissance consommée. Une même installation possède une multitude d'EER, qui dépendent des températures des deux sources de chaleur.

PAC : Pompe À Chaleur. Machine thermodynamique produisant de la chaleur et du froid. Terme généralement utilisé pour une production de chaleur mais désigne aussi une machine produisant du froid dans cette publication.

PRP : Potentiel de Réchauffement Planétaire, exprimé en équivalent CO_2 .

SCOP : Coefficient de performance saisonnier. Indicateur de performance des pompes à chaleur pour la production de chaleur. Il s'agit du COP moyenné sur une année d'utilisation. Il reflète donc l'efficacité globale, et se calcule comme la chaleur produite divisée par l'énergie consommée. Une même installation possède un seul SCOP (à réglage constant).

SEER : Seasonal Energy Efficiency Ratio. Indicateur de performance des pompes à chaleur pour la production de froid. Il s'agit de l'EER moyenné sur une année d'utilisation. Il reflète donc l'efficacité globale, et se calcule comme le froid produit divisé par l'énergie consommée. Une même installation possède un seul SEER (à réglage constant).

SPF_p : Primary Seasonal Performance Factor. Indicateur de performance en énergie primaire des pompes à chaleur pour la production de froid. Il s'agit de l'équivalent du SEER mais calculé en énergie primaire.

$SPF_{p\ Low}$: Indicateur de performance en énergie primaire minimal. Il correspond au minimum de l'efficacité des systèmes de refroidissement standard selon les exigences en matière écoconception. En dessous de ce seuil, tous les systèmes de refroidissement ont un taux d'ENR&R nul.

$SPF_{p\ High}$: Indicateur de performance en énergie primaire maximal. Il correspond au maximum de l'efficacité des systèmes de refroidissement standard, soit les systèmes en freecooling. Au-dessus de ce seuil, tous les systèmes de refroidissement ont un taux d'ENR&R de 100%.

$SSPF_p$: Part de la fourniture de froid pouvant être considérée comme renouvelable, exprimée en %, au titre du règlement délégué 2022/759.

ZAC : Zone d'Aménagement Concerté.

AMORCE

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

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

www.amorce.asso.fr -  **@AMORCE**

