



Institut National
de l'Économie
Circulaire

Accélérer la récupération de chaleur en ville : les solutions décentralisées

Focus sur la boucle
d'eau tempérée

NOVEMBRE 2020

SYNTHÈSE

ACCELERER LA RECUPERATION DE CHALEUR PERDUE DANS NOS VILLES

FOCUS SUR LA BOUCLE D'EAU TEMPEREE



Alors que la France doit doubler sa part d'énergies renouvelables et de récupération d'ici 2030 pour atteindre 32% de la consommation d'énergie, **l'Institut National de l'Économie Circulaire et France Energie révèlent les résultats d'une étude inédite sur le potentiel de récupération de la chaleur en ville et les manières de mieux l'exploiter.** Principales conclusions de l'étude :

1. En ville, les activités humaines génèrent de la chaleur perdue, dont l'Institut National de l'Économie Circulaire et France Energie proposent une **première évaluation quantitative inédite** :

- **1,3 MWh/an de chaleur perdue** par l'électroménager (sèche-linge...) d'un ménage de 3 personnes
- **1,2 MWh/an** de chaleur perdue dans les **eaux usées** d'un ménage de 3 personnes
- De **25 à 75 KWh / an** de chaleur perdue par les **installations informatiques d'une PME**
- **0,5 MWh / an** de chaleur perdue dans une **salle de réunion** occupée 200h / an
- **0,1 MWh / an** de chaleur perdue dans les **salles de sport** pour chaque sportif

Un foyer français consomme en moyenne 14,7 MWh / an. Voir infographie plus bas.

2. En l'état actuel des technologies et du marché, la récupération de chaleur en ville permettrait de diminuer de 20% la consommation de chaleur / froid des bâtiments collectifs, pour contribuer aux objectifs de la transition énergétique et notamment à la Renovation Wave Strategy publiée par la Commission Européenne le 14 octobre 2020.

Exemples d'équivalences sur le territoire du Grand Paris :

- Dans les immeubles tertiaires du Grand Paris : **3,4 TWh / an récupérables en l'état actuel de la technologie**, soit la consommation de la métropole de Nîmes (250 000 habitants)
- Dans les logements collectifs du Grand Paris : **1 TWh/an récupérable en l'état actuel de la technologie**, soit la consommation de la ville de Colmar (70 000 habitants)

3. Les technologies pour récupérer cette chaleur perdue existent et sont françaises. Par exemple :

- **Qarnot Computing** décentralise les supercalculateurs informatiques pour utiliser leur chaleur comme source de chauffage dans les bâtiments. A Bordeaux, Qarnot chauffe, grâce à 350 radiateurs-ordinateurs, 6000m² de logements sociaux et de bureaux.
- **France Energie** récupère la chaleur en excès des bâtiments (façade ensoleillée, cuisine, eaux usées...) pour la rediffuser dans les pièces qui en ont besoin grâce à des pompes à chaleur sur

boucle d'eau. Cette technologie permet par exemple de réduire de 40% la consommation d'énergie de la Banque de France (Paris) ou de la Tour TF1 (Boulogne).

4. Pour accélérer le développement de la récupération de chaleur en ville, l'Institut National de l'Economie Circulaire et France Energie **recommandent aux pouvoirs publics** de :

- **Développer une meilleure connaissance** du potentiel de la récupération de chaleur décentralisée en ville et de ses technologies via la **réalisation d'études** quantitatives
- Encourager la récupération de chaleur décentralisée dans la **commande publique** pour la rénovation énergétique des bâtiments publics
- Faire bénéficier du **Fonds Chaleur de l'ADEME** la récupération de chaleur décentralisée



François-Michel Lambert, Député et Président de l'Institut National de l'Economie Circulaire

« Pour répondre au défi de la transition énergétique, il ne suffit pas de produire toujours plus d'énergie renouvelable mais il faut d'abord exploiter les nombreuses sources de chaleur en ville autant d'opportunités à récupérer et à réinjecter. La chaleur fatale des villes est un gisement déjà disponible, compétitif et inépuisable. Nous devons définir une stratégie ad'hoc pour l'exploiter pleinement. »



Henri Marraché, Directeur général de France Energie

« La France peut devenir le leader européen de la récupération de chaleur en ville car elle dispose de technologies innovantes qui ont déjà fait leurs preuves. »



RÉCUPÉRER LA CHALEUR PERDUE DANS LES IMMEUBLES



LOGEMENTS

EAU CHAUDE USÉE :
1,2 MWH DE CHALEUR PERDUE / AN
Eaux grises pour un logement de 3 personnes



ELECTROMÉNAGER :
1,3 MWH DE CHALEUR PERDUE / AN
Principaux appareils (lave-vaisselle, machine à laver, sèche-linge, frigo, box...) pour un logement de 3 personnes



BUREAUX

ACTIVITÉS HUMAINES (SALLE DE RÉUNION) :
0,5 MWH DE CHALEUR PERDUE PAR AN
Salle de réunion de 8 places utilisée 200 heures / an



**INSTALLATIONS INFORMATIQUES
DES ENTREPRISES : 25 À 75 MWH
DE CHALEUR PERDUE PAR AN**
Matériel informatique pour une PME

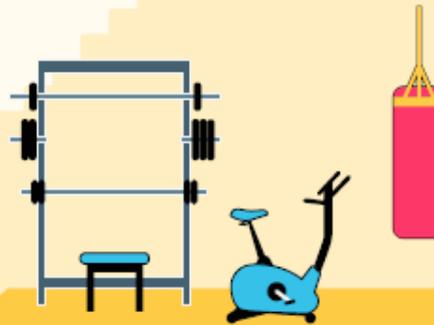


COMMERCES

CUISINES COLLECTIVES :
**25 À 50 MWH DE CHALEUR
PERDUE PAR AN**
Chambre froide d'un restaurant de 25 couverts



ACTIVITÉS HUMAINES (SALLE DE SPORT) :
0,1 MWH DE CHALEUR PERDUE PAR AN
Chaleur dégagée par un sportif 3 heures / semaine



CONSOMMATION MOYENNE D'ÉNERGIE D'UN MÉNAGE FRANÇAIS : 14,7 MWH / AN (CEREN, INSEE)

SOMMAIRE

<u>I. PRODUIRE DE LA CHALEUR/FROID DE FAÇON DECENTRALISEE : LES BOUCLES D'EAU TEMPEREE</u>	<u>10</u>
A) PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DES POMPES A CHALEUR REVERSIBLES SUR BOUCLE D'EAU TEMPEREE	10
B) LA PRODUCTION DECENTRALISEE DE CHALEUR/FROID : EN ACCORD AVEC LES PILIERS DE L'ECONOMIE CIRCULAIRE	15
C) EXEMPLES DE BATIMENTS ET QUARTIERS INTEGRANT UNE BOUCLE D'EAU TEMPEREE	18
<u>II. CONTRIBUTION DE LA BOUCLE D'EAU TEMPEREE AUX OBJECTIFS DE POLITIQUES PUBLIQUES</u>	<u>19</u>
A) ROLE DE LA BOUCLE D'EAU TEMPEREE DANS LA TRANSITION ECOLOGIQUE	19
B) USAGES PREFERENTIELS DE LA BOUCLE D'EAU TEMPEREE : BATIMENTS ET QUARTIERS	21
LES BATIMENTS MIXTES	22
LES QUARTIERS DURABLES : LES « ILOTS »	22
C) BENEFICES ECONOMIQUES ET ENVIRONNEMENTAUX DE LA PAC SUR BOUCLE D'EAU TEMPEREE	23
<u>III. SOUTENIR LE DEPLOIEMENT DE LA FILIERE</u>	<u>26</u>
A) UNE FILIERE INNOVANTE EN PLEIN DEVELOPPEMENT	26
B) LES LEVIERS ET LES FREINS AU DEPLOIEMENT DES PAC SUR BOUCLE D'EAU TEMPEREE	27
1. LEVIERS	27
2. FREINS	29
<u>IV. RECOMMANDATIONS DE L'INEC</u>	<u>30</u>
A) RENFORCER LES ANALYSES DE RECUPERATION DE CHALEUR	30
B) SENSIBILISER LES ACTEURS DE L'AMENAGEMENT ET DE LA COMMANDE PUBLIQUE AUX ATOUTS DES TECHNOLOGIES DE PRODUCTION DECENTRALISEE DE CHALEUR/FROID	30
C) SOLUTION FINANCIERE : LE FONDS CHALEUR A ETENDRE	31
<u>V. ANNEXE</u>	<u>32</u>
A) LA DEMARCHE ECOQUARTIER EN 4 DIMENSIONS ET 20 ENGAGEMENTS	32
<u>PRÉSENTATION DE L'INSTITUT NATIONAL DE L'ÉCONOMIE CIRCULAIRE</u>	<u>33</u>

LA BOUCLE D'EAU TEMPÉRÉE

Une solution fabriquée en France pour récupérer
la chaleur perdue dans les immeubles

USAGES PRÉFÉRENTIELS



BÂTIMENT TERTIAIRE



ECOQUARTIER

POINTS FORTS DE LA BOUCLE D'EAU TEMPÉRÉE

ÉNERGIE SOBRE ET LOCALE



Valorisation des
ressources locales et
présentes in-situ
(EnR&R)



Moindre
dépendance aux
énergies fossiles



MUTUALISATION



Mutualisation du
captage de la
ressource EnR



Optimisation des
rendements énergétiques
des équipements de
production

MODULARITÉ



Adaptabilité aux
demandes en énergie
d'un bâtiment



Production de
froid économe

ÉVOLUTIVITÉ (SOLUTION MULTIPOINTS)



Complémentarité des usages
pour optimiser les transferts
d'énergie entre différents
bâtiments, en identifiant les
différentes typologies bâties

ADAPTABILITÉ AUX ÉCOQUARTIERS



Adaptabilité aux
évolutions du bâtiment
et/ou territoire



Solution de stockage
envisageable



Capacité de stockage
et de restitution
différée des calories



Economie liée à la
synergie énergétique
et à la réduction de la
demande



Investissements
lissés dans le
temps

RECOMMANDATIONS INEC



Solution financière : **LE
FONDS CHALEUR À
ÉTENDRE**



**SENSIBILISER LES ACTEURS
DE L'AMÉNAGEMENT**
aux atouts des technologies de
production décentralisée de
chaleur/froid



**RENFORCER LES
ANALYSES** de récupération de
chaleur, notamment dans les
marchés publics

INTRODUCTION

Trop souvent réduite à la seule question de la gestion des déchets, l'économie circulaire recouvre de plus vastes champs, notamment ceux de l'efficacité matière et énergétique. En s'inspirant des écosystèmes et cycles naturels, l'économie circulaire tend à découpler le bien-être sociétal de l'épuisement des ressources par le biais d'innovations tant sur les produits et les services, que sur les modèles d'affaires et les politiques publiques. Les principes de sobriété, d'approvisionnement local et de réutilisation gagneraient à être appliqués à la gestion des flux de matière et d'énergie pour parvenir à une plus grande **résilience**, et faire face aux défis environnementaux du XXI^e siècle.

Plusieurs politiques publiques environnementales ont fait de **l'efficacité énergétique** une **priorité**. En 2015, la **loi de transition énergétique pour la croissance verte** (LTECV) fixait un objectif de réduction de la consommation énergétique primaire et finale, et d'augmentation de la part des énergies renouvelables et de récupération pour atteindre 32% du mix (contre 16% en 2018). En novembre 2019, la **loi Energie-Climat** renforçait cet objectif de réduction de la consommation d'énergies fossiles. La loi relative à la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire, promulguée en février 2020, accompagne également la transition vers un **usage plus efficient des ressources matières et énergétiques**.



Le secteur du **bâtiment** apparaît clef **pour répondre à ces objectifs**. En effet, il correspond à plus de 30% de la consommation d'énergie finale tous secteurs confondus en France, avec pour premier poste de consommation le chauffage et la climatisation¹. La **consommation énergétique totale** des bâtiments est d'autant plus **élevée** en **zones denses**, qui font aussi face à de nombreux **enjeux urbains**, liés à la qualité de l'air, aux îlots de chaleur et aux besoins de refroidissement. Il devient donc indispensable de **repenser conjointement** les **projets d'urbanisme et l'approvisionnement énergétique** pour rendre ces territoires plus résilients.

Dans ce cadre, l'essor des énergies renouvelables et de récupération est un levier central et doit rentrer dans la conception des projets d'urbanisme². La **récupération de chaleur en ville** à partir des ressources présentes sur place permet d'atteindre une plus grande sobriété énergétique sur les territoires et les rend moins dépendants aux approvisionnements extérieurs. Les **technologies de production de chaleur et de froid décentralisées** ont donc un rôle important à jouer dans cette transition urbaine, notamment les **pompes à chaleur sur boucle d'eau tempérée**.

¹ ABERGEL T., JORDAN M., « Chauffage et climatisation : enjeux et opportunités en France, en Europe et dans le reste du monde », *Quel équilibre futur pour l'offre et la demande d'énergie ?* Annales des Mines, juillet 2019, p.1.

² ADEME, Avis, *Energies renouvelables et de récupération*, décembre 2017, p. 1.

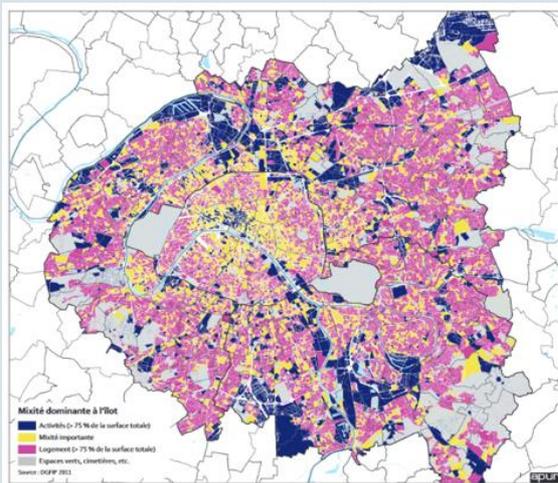
Réduire la consommation des bâtiments collectifs en valorisant de l'énergie de récupération

Sur le territoire de la **Métropole du Grand Paris**, la consommation d'énergie finale du parc tertiaire de 150 millions de m² s'établissait à **35 TWh/an** en 2012. En retenant la répartition moyenne de la consommation énergétique des bâtiments tertiaires déterminée par le CEREN (52% des consommations étant allouées au chauffage et à la climatisation), nous estimons que les postes "climatiques" représentent l'équivalent de **18,2 TWh/an**.

Les systèmes de type boucle d'eau tempérée permettent de réaliser en moyenne 20% d'économies d'énergie sur ce type de consommations, selon France Energie (retours terrain – jusqu'à 40% d'économies d'énergie mesuré à LilleEurope). En appliquant en moyenne ce taux de réduction au **parc tertiaire métropolitain**, une économie de l'ordre de **3,64 TWh/an d'énergie finale consommée** est envisageable. Cela équivaut approximativement à la consommation d'énergie finale du territoire de **Nîmes Métropole en 2017 (3,7 TWh)³**, dans son ensemble, soit 27 communes et plus de 240 000 habitants.

De même le potentiel de récupération sur la chaleur perdue en logement collectif dans le Grand Paris, notamment grâce aux eaux grises et récupération sur double-flux s'établit également aux alentours de 20%. Cela correspond à une valorisation potentielle de **1 TWh** sur le Grand Paris, en état actuel des technologies.

Ainsi, la "ville" et les espaces urbains des lieux privilégiés de récupération de chaleur. Le potentiel de récupération des calories présentes dans les eaux grises représente, selon l'Atelier Parisien d'Urbanisme, **1 TWh/an pour les immeubles de Paris et de la petite couronne**. De plus, la **diversité des usages** garantit des besoins et une production de chaleur de chaleur en continu (voir carte ci-contre) et la densité permet d'**assurer des transferts de chaleur sans déperdition liées à la distance**.



Ci-contre, cartographie de la mixité des fonctions des tissus parisiens, extrait de APUR, Paris : un Plan Local Energie, p. 63 (2015).

La **technologie de la boucle d'eau tempérée** permet de valoriser ces **calories fatales**, pour qu'elles soient réutilisées dans un bâtiment, voire un quartier.

Fort de ces constats, l'**Institut National de l'Économie Circulaire (INEC)** réalise ce **focus sur la technologie des pompes à chaleur sur boucle d'eau tempérée**. L'objectif principal est de présenter les performances de cette technologie et son inscription dans les principes de l'économie circulaire tout en rappelant l'importance d'intégrer des solutions de production d'énergie décentralisée dans les projets urbains. D'autres technologies seront donc mises en avant, afin de présenter une diversité de solutions de production de chaleur décentralisée, adaptées aux zones urbaines et denses.

Ce focus vient à la suite d'une première étude conduite par l'INEC, en partenariat avec l'Association Française pour la Pompe à Chaleur (PAC)³. L'association d'une PAC et d'une boucle d'eau tempérée s'avère d'autant plus intéressante lorsque celle-ci est mise en œuvre au sein de **bâtiments tertiaires et mixtes** (bureaux, appartements, hôtels-restaurants) en raison de la diversité des usages à chaque instant (besoin et consommation de chaleur simultanés). Leur usage est aussi optimisé dans des **écoquartiers** (à proximité de piscines, d'immeubles ou de complexes sportifs par exemple). Pour construire des **espaces urbains résilients**, les collectivités doivent se saisir de cette problématique énergétique et considérer les solutions décentralisées comme des réponses aux enjeux urbains.



Rédaction et contacts

Adrian Deboutière, Responsable Etudes et Territoires, INEC
adrian@institut-economie-circulaire.fr

Amélie Vaz, Chargée d'études, INEC
a.vaz@institut-economie-circulaire.fr

³ Voir : INEC, La pompe à chaleur au prisme de l'économie circulaire, janvier 2020.

I. Produire de la chaleur/froid de façon décentralisée : les boucles d'eau tempérée



Une boucle d'eau tempérée (BET) est un réseau d'énergie thermique, qui se différencie des réseaux de chaleur et/ou de froid classique. Elle fonctionne avec des pompes à chaleur individuelles, installées dans chaque pièce d'un même bâtiment, qui sont raccordées à chaque point de fourniture de chaleur ou de froid. Dans cet esprit, chaque bâtiment équipé peut être raccordé aux autres bâtiments équipés pour construire un écoquartier.

Dans une précédente étude, l'INEC et l'AFPAC avaient tissé des liens entre fonctionnement d'une pompe à chaleur (PAC) et principes d'économie circulaire. La PAC est un équipement au coefficient de performance élevé (COP = 3) et permet de combattre les déperditions énergétiques des bâtiments. Elle permet de produire des énergies renouvelables en captant les calories du milieu extérieur, présentes naturellement en les injectant dans le bâtiment. Enfin, la PAC récupère la chaleur fatale.

En se raccordant à une boucle d'eau tempérée, ces trois fonctions sont optimisées. En effet, la boucle d'eau tempérée récupère des « déchets énergétiques » de certains locaux et les transforme en ressources disponibles pour d'autres en passant par la PAC individuelle. En produisant du chaud ou du froid à partir de ces calories, la PAC renvoie dans la boucle d'eau des calories à un degré de température inverse. Ces calories seront alors stockées dans la boucle d'eau puis seront mobilisées pour un usage spécifique via une autre pompe à chaleur dans un point de livraison raccordé à la boucle d'eau tempérée.

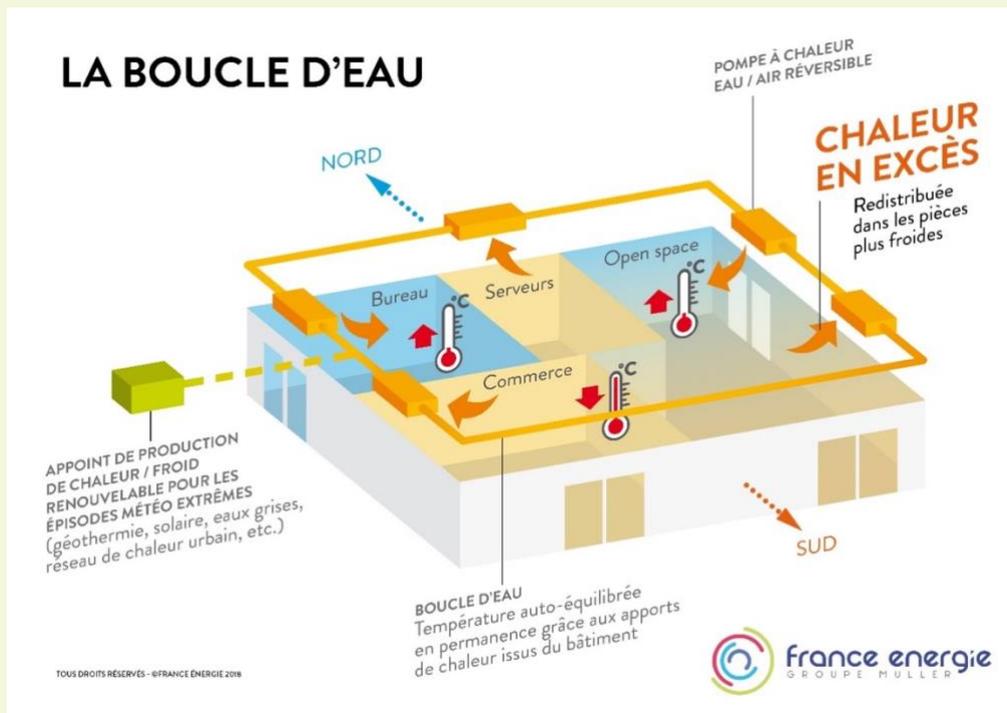
a) Principe de fonctionnement des pompes à chaleur réversibles sur boucle d'eau tempérée

Le fonctionnement de PACs réversibles sur boucle d'eau tempérée repose sur un **réseau de distribution d'eau tempérée** (pour rappel circuit fermé, sans perte d'eau) raccordée à des sous-stations installées dans les différents lieux d'usage. Ces sous-stations sont équipées, soit de pompes à chaleur (génératrice) qui produisent l'eau chaude pour le chauffage (et le cas échéant l'eau chaude sanitaire) et l'eau froide pour le rafraîchissement dans les pièces des bâtiments, soit d'un échangeur en interface avec une source naturelle d'eau (fleuve, mer ou nappe).

Dans le cadre d'un même bâtiment, la boucle d'eau est reliée à une panoplie de distribution, qui comprend plusieurs sous-réseaux. Chaque appartement dispose ainsi d'une pompe à chaleur individuelle de taille réduite. La production de chaleur se fait sur le lieu d'usage, ce qui réduit le risque de pertes thermiques liées à la distribution.

Des pompes à chaleur eau / air réversibles sur mesure pour les boucles d'eau tempérées

Le cœur de la technologie de la boucle d'eau tempérée repose sur **les pompes à chaleur présentes dans chaque pièce du bâtiment qui font le lien entre la température de l'eau de la boucle et la température de la pièce.**



Pour pouvoir simultanément capter ou restituer la chaleur de l'eau ou celle de la pièce en fonction des besoins, l'entreprise France Energie basée en Mayenne a développé une **pompe à chaleur eau / air réversible** dédiée spécifiquement aux boucles d'eau tempérée. Cette « **UtCi 4en1** » (Unité thermodynamique de Confort individuelle) permet à la fois de :

- **Capter la chaleur en excès** dans une pièce pour réchauffer l'eau de la boucle ;
- **Réchauffer une pièce en fonction des besoins** à partir de la température de l'eau de la boucle ;
- **Rafrichir** une pièce en fonction des besoins, selon un procédé thermodynamique récompensé lors de la COP21 par le prix « Clim du Futur » de l'ADEME ;
- **Renouveler et dépolluer l'air intérieur** – les pompes à chaleur étant branchées sur la façade de l'immeuble, elles captent, filtrent et purifient l'air extérieur avant de l'introduire – à la bonne température - à l'intérieur du bâtiment.

Le COP de l'UtCi 4en1 peut aller jusqu'à 7, c'est-à-dire, en condition optimale, que **pour chaque kWh d'électricité consommé, la pompe à chaleur en restitue 7 sous forme de chaleur** – c'est l'une des valeurs les plus élevées du marché des pompes à chaleur.

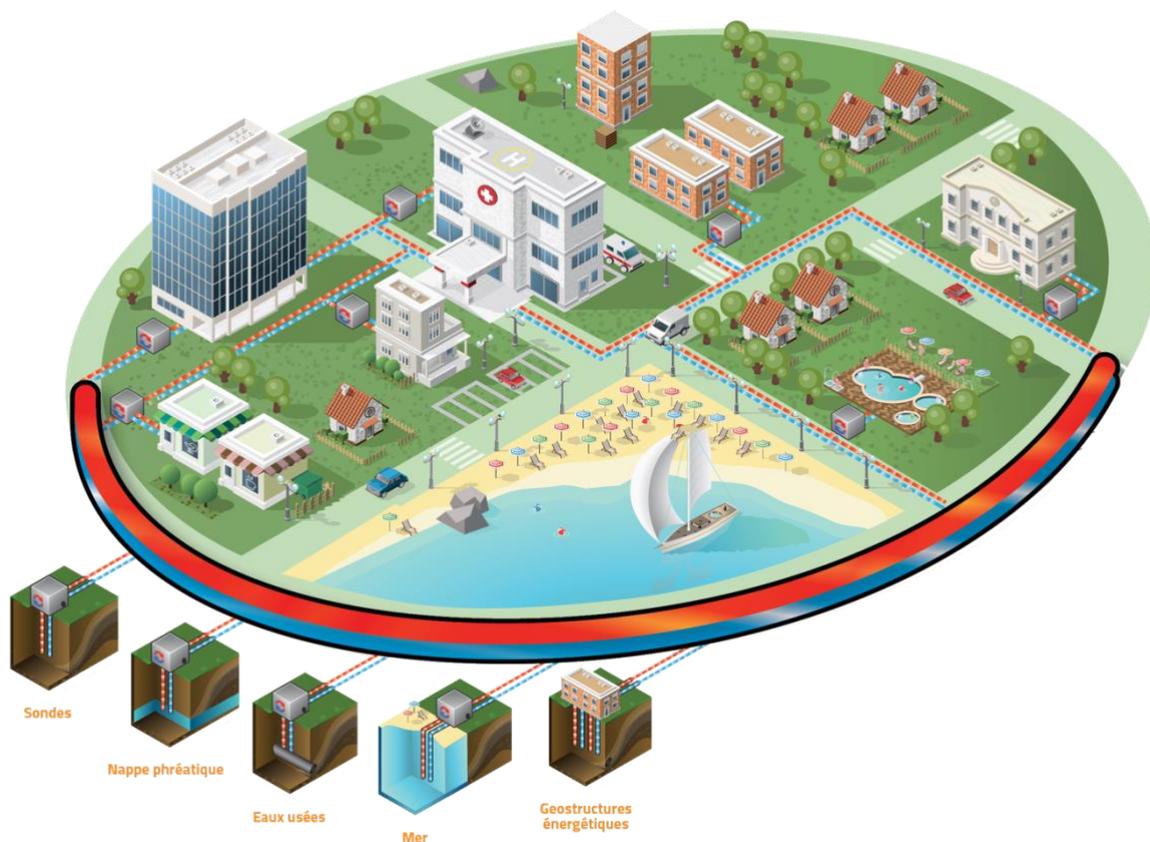
Afin de pouvoir équiper chaque pièce sans occuper davantage d'espace qu'un radiateur ni causer de nuisance sonore, l'entreprise France Energie a dû **miniaturiser** l'ensemble des composants de l'UtCi 4en1 et mener des **recherches acoustiques** poussées, permettant de ne pas dépasser une pression acoustique de 38 décibels en fonctionnement, qui s'inscrit dans le label HQE (à titre de comparaison, 40 dB(A) correspond à un bruit des spectateurs au cinéma et 30 dB(A) à une chambre à coucher silencieuse).

Ces UtCi 4en1 sont entièrement conçues et fabriquées en **Mayenne** dans l'usine et centre de R&D de l'entreprise **France Energie**.



UtCi 4en1 sur boucle d'eau dans l'immeuble de la Banque de France (Paris)

Figure 1. Les différentes sources de captage pour une boucle d'eau tempérée. Source : AFPG.



Les sources de captage de la boucle d'eau tempérée peuvent être multiples et se compléter, en fonction des ressources disponibles sur un territoire. Comme le présente la figure 1, les ressources renouvelables sont largement mobilisées : biomasse, géothermie, chaleur fatale industrielle, etc.

La technologie de la boucle d'eau tempérée sur pompes à chaleur est composée de **4 éléments** :

- 1- Un dispositif de captage (capteur pour géothermie ou pour ressources renouvelables, comme présenté dans le schéma précédent)
- 2- Un dispositif de mutualisation, qui correspond à la boucle d'eau,
- 3- Un dispositif de production (une pompe à chaleur),
- 4- Un dispositif de régulation (armoires électriques et contrôle-commande de l'installation).

La boucle d'eau tempérée se différencie ainsi d'un réseau de chaleur à production centralisée. Selon l'ADEME⁴, un réseau de chaleur à **production centralisée** se compose d'une ou plusieurs unités de production de chaleur, d'un réseau de distribution dans lequel la chaleur est transportée par un fluide caloporteur et d'un ensemble de sous-stations d'échange. C'est donc à partir d'une chaufferie centrale que la chaleur et le froid sont produits et ensuite dirigés vers des sous-stations, qui alimentent des lieux de vie ou des bâtiments.

La boucle d'eau tempérée se compose de plusieurs unités de production de chaleur, chacune installée dans une pièce ou dans un bâtiment raccordé à la boucle. Ainsi, un **système de production de chaleur décentralisée** permet de fournir de la chaleur ou du refroidissement au cas par cas, selon les caractéristiques des pièces dans lesquelles sont raccordées des pompes à chaleur. Comme la température de la boucle reste modérée, celle-ci permet de fournir du chaud ou du froid facilement dans les pièces. D'autre part, la boucle d'eau tempérée optimise les échanges calorifiques entre les différentes pièces du même bâtiment, en apportant de la chaleur/du froid en fonction des besoins et en récupérant l'énergie fatale produite par ces fonctions.

Elle est ainsi particulièrement adaptée aux bâtiments mixtes (dont les usages sont pluriels) et aux écoquartiers. L'APUR rappelle à ce titre que « (...) dès la mi-saison, les immeubles tertiaires ont des besoins de froid plutôt que de chaud alors que les immeubles de logements proches ont encore des besoins de chauffage » : la boucle d'eau tempérée permet ces échanges de calories et répond à cette différenciation des besoins⁵.

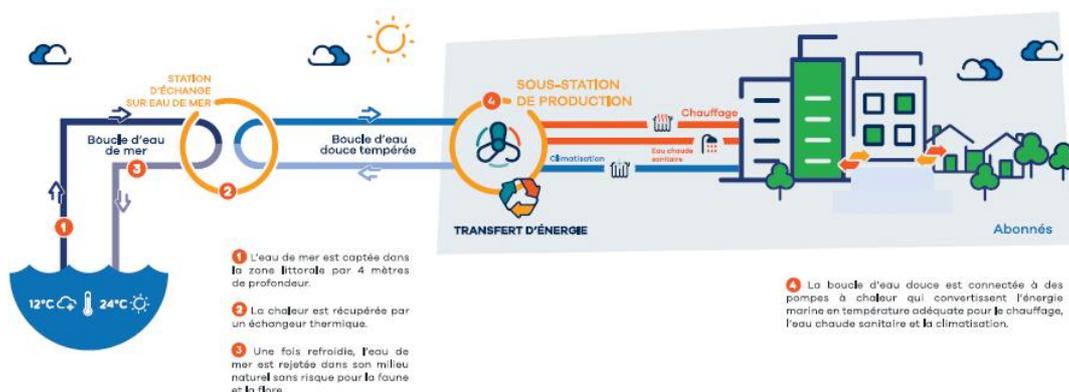


Figure 2. Fonctionnement d'une boucle d'eau tempérée avec capteur pour thalassothermie. Source : Ville de la Seyne-sur-Mer

⁴ ADEME, *Réseaux de chaleur et de froid, état des lieux de la filière : marchés, emplois, coûts*, mai 2019, p. 6

⁵ APUR, *Synthèse : Un Plan Local Énergie pour la Métropole du Grand Paris*, novembre 2015, p.2.

Récapitulatif - Différences entre production centralisée et production décentralisée

La boucle d'eau tempérée (BET) permet des **échanges** de calories entre pièces et bâtiments raccordés, en se basant sur la **récupération de calories** : la production de chaleur et de froid est faite au plus près des besoins et avec les ressources disponibles sur place, à savoir des calories fatales.

Autre différence avec un réseau de chaleur centralisé, la BET est un réseau **basse** température. Le niveau de température, maintenu entre 15 et 35 degrés, permet de moduler l'apport en froid et en chaud. A l'inverse, un réseau de chaleur classique ne fournit **que** de la chaleur et doit donc maintenir un niveau de température élevé pour subvenir aux différents appels de puissance des bâtiments raccordés. Cela suppose d'isoler fortement le réseau pour en limiter les pertes. Une boucle d'eau tempérée n'est pas confrontée aux mêmes contraintes d'isolation car la température de l'eau et du sol environnant ne sont pas sensiblement différentes.

Enfin, une BET est **multipoint** : des bâtiments et/ou lieux de vie peuvent se raccorder facilement à la boucle d'eau tempérée et à la fois acquérir des fonctions de producteur ou de consommateur en fonction du besoin et de la saison.

QARNOT
COMPUTING anywhere

Une technologie alternative de production décentralisée de chaleur/froid : Qarnot

Qarnot est une entreprise française dont l'activité principale s'inspire des principes du **numérique circulaire**. Les « déchets calorifiques » produits par les outils numériques (ici, la chaleur dégagée par les appareils) sont récupérés et valorisés localement, au lieu d'être perdus.

Les activités de l'entreprise Qarnot, composée à l'origine d'ingénieurs informatiques, se fondent sur :

- La vente de calcul informatique (laboratoires de recherche, industries, etc. et autres acteurs dont le besoin de puissance en calcul informatique est massif) ;
- La valorisation de la chaleur fatale informatique, dégagée par les appareils qui réalisent les calculs.

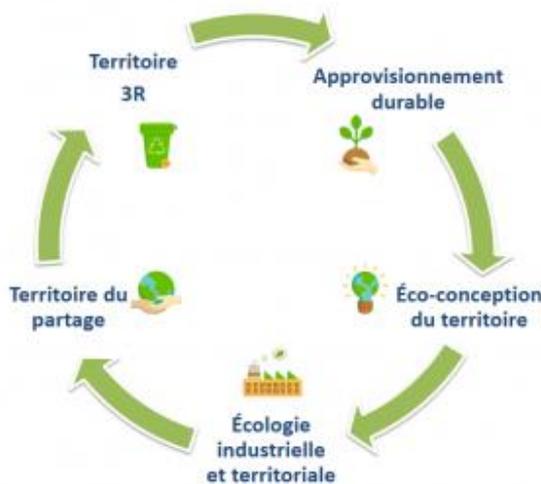
Les calculs de haute performance émettent beaucoup de chaleur et nécessitent, de plus, du refroidissement (généralement émis par frigo ou par ventilation). La chaleur émise et non-récupérée se double donc d'une production de froid dont l'impact environnemental est non-négligeable. De plus, la perte énergétique occasionnée est conséquente.

Les data centers traditionnels sont souvent sources de nuisances sonores et visuelles et ne sont donc pas situés près d'autres bâtiments (résidentiels et tertiaires), bien que l'énergie fatale soit récupérée. Cette procédure nécessite l'installation de points de connexion avec des réseaux de chaleur existants. Enfin, les émissions de gaz à effet de serre provoquées par l'activité des data centers sont importantes.

La solution proposée par Qarnot vient répondre à ces différents enjeux en **relocalisant la capacité de calcul directement dans les bâtiments à chauffer, sans passer par des réseaux de chaleur existants. La solution est locale et la production de chaleur décentralisée.**

Enfin, le modèle économique de l'entreprise présente des **similitudes avec une offre de vente d'usage (économie de fonctionnalité)** : le coût initial comprend l'installation du radiateur pour l'utilisateur. Lors de la période d'usage, c'est Qarnot qui prend en charge la maintenance et le remplacement des appareils, sans que ces opérations soient aux frais de l'utilisateur.

b) La production décentralisée de chaleur/froid : en accord avec les piliers de l'économie circulaire



L'économie circulaire, selon l'INEC, ne se réduit pas à l'aspect prévention et gestion des déchets mais intègre aussi une réflexion sur les flux (qu'ils soient énergétiques ou liés aux matières) à l'échelle des territoires. L'économie circulaire privilégie l'utilisation d'énergie renouvelable et de récupération, dans une logique de proximité, et contribue ainsi à rendre les territoires plus sobres et résilients. Les principaux piliers de l'économie circulaire appliqués aux enjeux territoriaux sont détaillés dans l'encadré ci-dessous (figure n°3). Les spécificités des technologies de production décentralisées de chaleur/froid, incluant les boucles d'eau tempérée, les inscrivent dans plusieurs de ces piliers.

Figure 3. Les piliers de l'économie circulaire appliqués aux territoires.

Plus généralement, ces technologies participent d'une relocalisation des flux énergétiques, avec **production et autoconsommation quasi in-situ**.

Approvisionnement durable

Il s'agit de développer la consommation responsable à l'échelle du territoire, en s'appuyant sur le rôle d'exemplarité des acteurs publics.

Eco-conception à l'échelle du territoire

L'éco-conception vise à optimiser dès la conception l'efficacité d'usage d'un bien ou d'un service, et à réduire son impact environnemental sur l'ensemble du cycle de vie (conception – construction – usage – fin de vie). A l'échelle d'un territoire, cette méthode doit être appliquée à l'ensemble des projets de développement et de modernisation des services publics.

Écologie industrielle et territoriale

Selon le réseau Synapse, « l'écologie industrielle et territoriale vise à optimiser les ressources sur un territoire, qu'il s'agisse d'énergie, d'eau, de matières, de déchets mais aussi d'équipements et d'expertises, via une approche systémique qui s'inspire du fonctionnement des écosystèmes naturels (...). L'EIT s'appuie donc sur l'étude de la nature, de la provenance et de la destination des flux pour identifier et développer des synergies inter-entreprises.»

Territoire du partage

Les territoires doivent favoriser le développement de l'économie du partage sur leur périmètre géographique. Les deux principaux vecteurs pour réaliser cette transformation sont **l'économie de fonctionnalité**, qui vise à substituer la vente d'un bien ou d'un service par l'usage de celui-ci, et **l'économie collaborative**, qui vise à mutualiser les biens, les outils, les espaces et les savoirs.

Les territoires « 3R »

Le triptyque des 3R correspond à « **Réduire, réutiliser, recycler** ». A l'échelle d'un territoire, il permet de réduire le gaspillage et de gérer efficacement les déchets. Il passe par la prévention, le tri, la collecte sélective et la valorisation optimisée des déchets. Un territoire qui adopte une démarche 3R poussée s'inscrit en adéquation avec la hiérarchie de traitement des déchets, crée des filières et des emplois locaux, et limite les coûts (économiques et environnementaux) liés à la gestion des déchets.

Tout d'abord, les technologies de production décentralisée de chaud/froid s'inscrivent à plusieurs égards dans un **objectif d'approvisionnement durable**.

La technologie optimise l'usage des ressources de proximité, en valorisant des calories fatales et des sources d'énergies renouvelables présentes localement, et en les **mutualisant sur un seul réseau**. **La récupération de calories présentes in-situ est partie intégrante d'un approvisionnement durable**. Elle permet une réduction des déperditions énergétiques liées au transport, une valorisation de calories qui auraient été perdues et se substitue à la consommation d'énergies fossiles (charbon, pétrole). Dans cette perspective, et selon l'Observatoire de l'Immobilier Durable, « une boucle énergétique parfaitement circulaire **serait fermée** et uniquement constituée d'énergies soit fatales soit renouvelables »⁶.



Dans un objectif d'économies d'énergie (approvisionnement durable), **les technologies de production décentralisée de chaleur/froid permettent de chauffer/refroidir** les lieux de vie à la **juste mesure**. Pour la boucle d'eau tempérée, les lieux de vie qui doivent être chauffés et/ou refroidis sont équipés de pompes à chaleur qui produisent ce qui est « *nécessaire* », dans un objectif d'économie de la ressource.

Enfin, les capacités de stockage de la boucle d'eau tempérée permettent de respecter le temps de renouvellement des ressources et d'éviter les pics de consommation (et donc d'approvisionnement). Cela permet de réduire la consommation énergétique des bâtiments et d'éviter tout surdimensionnement, toujours dans un objectif d'approvisionnement durable.

L'économie de ressource est aussi permise par **l'écoconception**. La boucle d'eau tempérée est une technologie **modulable** et **adaptée** à différents usages, qu'ils soient intra-bâtiments ou inter-bâtiments, au sein même d'un quartier. En effet, des pompes à chaleur peuvent être ajoutées ou retirées de leur raccordement à la boucle car il s'agit de deux éléments distincts et quasiment indépendants. Cette modularité garantie aussi de bonnes possibilités de réparation : si une PAC est défectueuse, il « suffit » de l'enlever de la boucle. Le système étant totalement décentralisé, l'ensemble de la boucle n'est pas touché par le changement d'une PAC. D'un point de vue technique,

⁶ Observatoire de l'Immobilier Durable, *L'immobilier entre dans la boucle, Opportunités et retours d'expérience de l'économie circulaire pour l'immobilier*, septembre 2018, p. 19

cela permet d'éviter de prévoir de la **redondance**, c'est-à-dire des sécurisations supplémentaires pour assurer la fonction de chauffage ou de refroidissement dans les autres locaux.

L'écologie industrielle et territoriale (EIT) représente une opportunité économique et environnementale non-négligeable pour les industriels et les territoires, rappelle l'ADEME⁷. L'EIT et son objectif de gestion efficiente des ressources entre plusieurs acteurs d'un territoire est aussi un aspect compris dans la technologie de boucle d'eau tempérée. En effet, les calories fatales issues d'activités peuvent être récupérées dans la boucle et servir à des fonctions de refroidissement et de chaleur dans d'autres bâtiments.

La récupération de chaleur présentes dans les eaux grises et usées : une opportunité à saisir pour économiser la ressource

Récupérer de l'énergie sous forme de chaleur lors de l'évacuation des eaux grises (en pied d'immeuble) et/ou usées permet de capter une ressource qui aurait été perdue autrement. Ce procédé est particulièrement pertinent dans le bâtiment tertiaire, usage préférentiel de la boucle d'eau tempérée : hôtellerie, établissement sportif ou encore piscine.

Selon la programmation annuelle de l'énergie publiée en avril 2020 par le Ministère de la Transition écologique⁸ :

« Uniquement dans les logements français, chaque jour, plus de 2 millions m³ d'eau chaude sont consommés (Source : Rapport Costic / Ademe). Le poste eau chaude sanitaire est devenu le premier poste de consommation d'énergie des nouveaux logements construits. Il est techniquement possible de récupérer entre 25 et 75 % de l'énergie contenue dans les eaux grises soit environ 50 GW/jour. La récupération de chaleur in situ permettrait techniquement une récupération maximale de l'ordre de 20 TWh/an uniquement dans le logement. Les technologies, reconnues par la commission des titres V et pleinement opérationnelles, existent pour récupérer cette chaleur contenue dans les eaux grises et réduire les consommations nécessaires à la production d'eau chaude sanitaire. La quantité de chaleur de récupération in situ actuellement valorisée est estimée à 25 GWh ».

⁷ ADEME, Avis, *Les énergies renouvelables et de récupération*, décembre 2017, p. 4

⁸<https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/20200422%20Programmation%20pluriannuelle%20de%20l%27e%CC%81nergie.pdf>



Produire de la chaleur localement avec des EnR

Fengtech est une entreprise française basée à Laval, qui développe et produit des équipements de chaleur thermique innovants.

Parmi ces équipements, la **clôture énergétique (Energy Producing Fence, EPF) est un système performant, qui s'inscrit aussi dans plusieurs principes d'économie circulaire** : approvisionnement local et renouvelable. Un démonstrateur EPF a été installé dans un lycée à Evron (53) en 2011.

Ce système combine énergie solaire, énergie aérothermique et énergie géothermique grâce à une pompe à chaleur enfouie sous la clôture. Grâce à la structure de la clôture, l'énergie est aussi stockable dans le sol et permet un approvisionnement différé. L'énergie peut être restituée en fonction des besoins.

Un autre prototype développé au Nord-Ouest de l'Europe a prouvé l'efficacité de ces solutions dans des climats froids, grâce à la complémentarité des ressources énergétiques et aux capacités de stockage de la clôture.

c) Exemples de bâtiments et quartiers intégrant une boucle d'eau tempérée

Lille Europe

Lille-Europe est une gare ferroviaire intégrée dans Euralille, ensemble tertiaire en bordure du périphérique de la ville de Lille. Avec l'installation d'une boucle d'eau tempérée, le bâtiment a pu réaliser 40% d'économie d'énergie par rapport aux consommations d'énergie par rapport à la technologie utilisée habituellement (les ventilo-convecteurs).

La Banque de France

L'immeuble de la Banque de France (Paris 9) fait 21 300 m² et s'étend sur 6 étages. 17 600 m² sont des bureaux et 600 m² servent à des commerces. Le bâtiment a été rénové par plusieurs acteurs dont Bouygues et cette rénovation s'est faite avec la technologie développée par *France Énergie* en février 2017. Micro-réseau de chaleur, la boucle d'eau relie 710 pompes à chaleur eau/air fournies par France Energie qui regroupent quatre fonctions : la production de chaud, de froid, la récupération de chaleur et le renouvellement d'air.

Une pompe à chaleur est installée dans chaque pièce. Dans les pièces les plus chaudes (salles informatiques ou pièces exposées au sud par exemple), la pompe à chaleur récupère les calories. Celles-ci sont transportées dans la boucle d'eau et sont utilisées pour chauffer les pièces les plus froides.

Cette boucle a permis des économies d'énergie et surtout, un **gain d'espace important** : les espaces habituellement dédiés aux locaux techniques de système de chauffage et de ventilation ont été réaménagés en terrasses, en place de parking et en locaux.

La commune de Seyne-sur-Mer

Dans le cadre de cette commune, le dispositif de captage est spécifique, car maritime : on parle d'Énergies Thermodynamiques de Mer ou de Fleuve (ETM). Plusieurs bâtiments sont raccordés boucle d'eau tempérée : les bâtiments Porte Marine 2 (au nombre de trois), les bâtiments Porte Marine 3 ainsi que le casino JOA. La boucle fonctionne en thalassothermie. Elle a été à l'initiative de la municipalité en 2007. Les travaux initiaux ont compris l'installation du local de la station de pompage, ses équipements, les canalisations de puisage et de rejet d'eau de mer, et enfin la boucle d'eau tempérée. C'est en 2015 que le Casino, construit l'année précédente, a pu être raccordé à la boucle, en plus des premiers bâtiments du projet Porte Marine 2. En 2016, ce sont les bâtiments de Porte Marine 3 qui ont, à leur tour, été raccordés.

A l'heure actuelle, le **Casino** injecte de la chaleur la majeure partie de l'année dans la boucle, car il est **climatisé**. Ainsi, l'eau de mer utilisée n'a pas pour fonction la production de chaleur mais sert à **équilibrer la température** de la boucle d'eau tempérée.

II. Contribution de la boucle d'eau tempérée aux objectifs de politiques publiques

La boucle d'eau tempérée répond à plusieurs objectifs des politiques publiques, notamment aux exigences énergétiques du secteur du bâtiment ou celles relatives à la production d'énergies renouvelables. Elle est donc particulièrement adaptée pour les bâtiments mais aussi pour les nouveaux quartiers urbains ou péri-urbains.

a) Rôle de la boucle d'eau tempérée dans la transition écologique

Les politiques publiques environnementales fixent des objectifs concernant la trajectoire énergétique de la France, que nous avons brièvement présentées en introduction. Pour rappel, la loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte (LTECV), publiée au Journal Officiel le 18 août 2015, prévoit le quintuplement des livraisons de chaleur et de froid provenant d'énergies renouvelables et de récupération (EnR&R) à horizon 2030, par rapport à 2012, dans un objectif d'**indépendance énergétique**. Du fait de leurs caractéristiques, les technologies de production décentralisée de chaleur/froid répondent à ces enjeux : développement des EnR&R et valorisation de ressources locales (récupération de calories présentes in-situ), qui participent d'une indépendance française vis-à-vis de ressources fossiles importées. D'autre part, la LTECV fixe un objectif de réduction des émissions de gaz à effet de serre de 40% entre 1990 et 2030 et un objectif de réduction de la consommation énergétique primaire d'énergies fossiles de 30% en 2030 par rapport à la référence 2012.

Concernant les bâtiments, la LTECV vise l'atteinte d'un niveau de performance énergétique conforme aux normes « bâtiment basse consommation » (BBC), **pour l'ensemble du parc de logements à 2050** (bâtiment seuil maximum de consommation faible). Pour information, une réglementation environnementale (RE2020) viendra remplacer l'actuelle réglementation thermique (RT2012), qui concerne les performances énergétiques des bâtiments neufs. La RE2020 devrait entrer en vigueur courant 2021 et va renforcer les exigences d'amélioration de la performance énergétique et de baisse des consommations des bâtiments neufs. Elle devrait en outre introduire des objectifs relatifs au **confort d'été**. Comme présenté plus haut, la boucle d'eau tempérée permet de valoriser des calories pour produire du **froid**. Insérée dans des bâtiments aux usages mixtes et différenciés (bureaux occupés pendant la journée, appartements occupés en soirée, piscine à proximité etc.), elle assure un transfert de calories d'autant plus efficace.



La **loi énergie climat** (promulguée le 8 novembre 2019) décline quatre priorités, à travers quatre volets. Le deuxième volet, qui traite de la lutte contre les passoires thermiques, peut contribuer au déploiement équipements de production décentralisée de chaleur/froid. Il fixe un objectif de rénovation de toutes les **passoires thermiques d'ici 10 ans**. Les passoires thermiques sont des logements dont la consommation énergétique relève des classes F et G (responsables de 20% des émissions de gaz à effet de serre de la France). Grâce à la modularité de la boucle d'eau et l'indépendance vis-à-vis des réseaux de chaleur urbains, la boucle d'eau tempérée peut s'envisager dans des **travaux de rénovation**, comme le montre l'exemple de de l'immeuble de la Banque de France situé dans le 9^{ème} arrondissement de Paris.

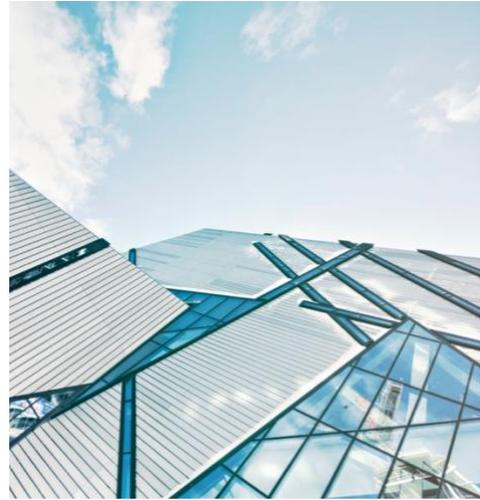
Rappel : les quatre priorités de la loi Energie-Climat

- 1) **La sortie progressive des énergies fossiles et le développement des énergies renouvelables**
 - Réduction de la consommation d'énergies fossiles de 40% d'ici 2030 (en lieu et place des 30% fixés par la loi précédente).
 - Arrêt de la production d'électricité à partir de charbon d'ici 2022.
 - Obligation d'installations de panneaux solaires sur les nouveaux entrepôts et bâtiments commerciaux.
- 2) **La lutte contre les passoires thermiques : objectif de rénovation de toutes les passoires énergétiques d'ici 10 ans.**
 - A partir de 2022, les diagnostics de performance énergétique (DPE) des passoires seront complétés par un audit énergétique avec détails des scénarios de travaux, leurs coûts et les gains estimés.
- 3) **La mise en place d'une loi quinquennale en 2023 qui fixera tous les 5 ans les plus grands objectifs énergétiques**
 - Ces objectifs concernent les énergies renouvelables, la consommation d'énergie, la sortie des énergies fossiles et le niveau minimal et maximal des certificats d'économies d'énergie (CEE).
- 4) **La régulation des secteurs de l'électricité et du gaz**

Les objectifs du **Plan de rénovation énergétique des bâtiments** concernent à la fois les bâtiments individuels et les bâtiments tertiaires (« axe 3 : accélérer la rénovation et les économies d'énergie des bâtiments tertiaires en particulier le parc public »). Le Baromètre de l'OID de 2017 confirme que la consommation des bureaux rénovés est **inférieure de 12%** à la consommation moyenne des bureaux⁹.

Enfin, la récente loi relative à la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire rappelle l'importance de prioriser **les économies d'énergie**, sans toutefois traiter spécifiquement de cet enjeu. Elle dispose de nombreux articles concernant le **bâtiment** : elles visent majoritairement à améliorer la traçabilité, la collecte et la valorisation des déchets, tout en renforçant le maillage territorial et la lutte contre les dépôts sauvages.

D'autre part ([article 59](#)), la **construction** et la **rénovation de bâtiments publics** devront intégrer des exigences de lutte contre les émissions de gaz à effet de serre et de stockage du carbone, comme mentionné par le Plan de rénovation énergétique des bâtiments. Les boucles d'eau tempérées sont des équipements qui répondent à ces objectifs et doivent donc être davantage considérées par les acteurs publics, notamment dans leurs marchés. Dans ce cadre, un accompagnement des acheteurs publics serait nécessaire : il peut prendre la forme d'une sensibilisation ou d'une mise à disposition d'outils opérationnels et simplifiés comme des clauses ou cahiers des charges types, qui intégreraient le recours aux boucles d'eau tempérées.



Selon le Baromètre de la performance énergétique et environnementale des bâtiments de 2019 publié en janvier 2020 par l'OID, la consommation énergétique finale des **bâtiments de bureaux** en France s'élève à **179 kWhEF/m².an**. La baisse constatée par rapport à l'année précédente est de 2%. **Cette tendance s'avère insuffisante pour parvenir à réduction de 40% des diminutions d'ici 2030** (soit 118 kWhEF/m².an pour une année de référence 2013)¹⁰. Il est donc important d'investiguer des solutions économes en énergie, comme la boucle d'eau tempérée qui réduit jusqu'à **40% la consommation d'énergie** d'un bâtiment par rapport aux technologies majoritairement utilisées dans le tertiaire et le logement.

b) Usages préférentiels de la boucle d'eau tempérée : bâtiments et quartiers

La boucle d'eau tempérée présente des avantages conséquents sur certains types de bâtiments et de modes d'aménagement. Selon l'Observatoire de l'Immobilier Durable (OID), les « bâtiments intelligents (smart buildings) sont conçus pour répondre [aux] nouvelles problématiques en intégrant des solutions actives et passives de gestion énergétique **décentralisée** » : la boucle d'eau tempérée, en tant que technologie à production décentralisée s'inscrit dans cette dynamique. Les

⁹ Observatoire de l'Immobilier Durable, *Baromètre 2017 de la performance énergétique et environnementale des bâtiments tertiaires*, 2018, p. 5.

¹⁰ Observatoire de l'Immobilier Durable, *Baromètre 2019 de la performance énergétique et environnementale*, 21 janvier 2020.

bâtiments à usages mixtes et les écoquartiers ont tout intérêt à intégrer une boucle d'eau tempérée. Pour ce faire, une révision des plans d'urbanisme est nécessaire.

Les bâtiments mixtes

Les projets d'**aménagements mixtes** sont des projets dont les bâtiments incluent plusieurs usages : logements et tertiaires (notamment bureaux). Leur complémentarité est intéressante car l'apport d'énergie est différent en fonction de la journée : les bureaux sont majoritairement occupés en semaine et pendant la journée tandis que les logements sont occupés le reste du temps. La boucle d'eau tempérée permet de moduler efficacement l'apport de chaleur ou de froid en fonction du moment de la journée. L'orientation (sud/nord) des lieux de vie dans les bâtiments est aussi une variable qui rend la fonction de la boucle d'eau tempérée efficace. La consommation de froid d'une partie d'un bâtiment rejettera des calories sur la boucle qui pourront être consommées par une autre partie du bâtiment, lorsque cette dernière sera preneuse de chaleur.

PROGRAMME
HOTEL
CIRCULAIRE

Parmi les types d'immeubles, la technologie de la boucle d'eau tempérée est aussi particulièrement adaptée aux **hôtels**.

Avec le programme hôtel circulaire, l'INEC souhaite conduire un projet exemplaire dans le secteur de l'hôtellerie, pour orienter ces lieux vers davantage de circularité et rendre visible les innovations les plus adaptées aux bâtiments hôteliers. La technologie des boucles d'eau tempérée s'insère parfaitement dans la structure d'un hôtel puisque la demande en chaud/froid est fonction de **l'occupation des espaces**, elle-même **variable**.

Les quartiers durables : les « îlots »



L'aménagement urbain est un enjeu prioritaire pour réduire les émissions de gaz à effet de serre et améliorer la qualité de vie des habitants.

Comme présenté dans l'introduction, la consommation énergétique des bâtiments dans des zones denses est particulièrement élevée. Dans le cadre de l'élaboration du Plan Local d'Énergie de la Métropole du Grand Paris en 2016, l'APUR (Atelier Parisien d'Urbanisme) a proposé des solutions complémentaires pour tendre vers une plus grande sobriété énergétique. Parmi celles-ci, l'essor des **énergies renouvelables et de récupération à un niveau local, pour l'habitat collectif et les bâtiments tertiaires**¹¹ a été signalé. L'APUR a aussi souligné le potentiel important des **échanges d'énergie dans les tissus denses, dans lesquels les fonctions sont généralement mixtes**. Les solutions de production de chaleur décentralisées, qui se basent sur la mutualisation de la ressource et la récupération d'énergie sont donc à encourager¹².

Dans ce cadre, plusieurs labels ont été conçus pour que des territoires tendent vers un projet d'aménagement urbain durable. **L'EcoQuartier** est le premier d'entre eux. La démarche est soutenue

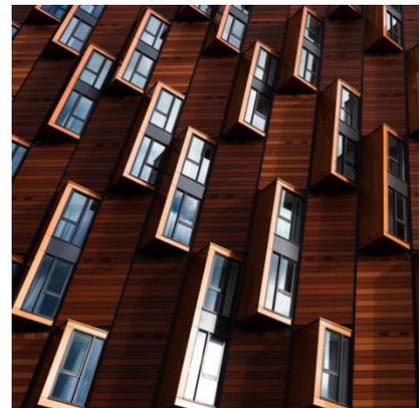
¹¹ APUR, Carte Plan local énergie, mai 2019.

¹² APUR, *Synthèse : Un Plan Local Énergie pour la Métropole du Grand Paris*, novembre 2015, p.2.

par le Ministère de la Cohésion des Territoires et des Relations avec les Collectivités Territoriales et s'inscrit dans le plan Ville Durable de 2008. Un EcoQuartier doit respecter 20 principes pour obtenir le label et être ainsi considéré comme un lieu de vie respectueux de l'environnement. Ces 20 principes se déclinent en 4 thèmes. Le quatrième concerne l'environnement et (le) climat (principes 16 à 20). Le principe 17 vise un engagement du territoire pour « **la sobriété énergétique et la diversification des ressources au profit des énergies renouvelables et de récupération** », dans lequel peut s'intégrer la technologie de la boucle d'eau tempérée.

Toutefois, le développement d'écoquartiers est freiné par certains aspects. Tout d'abord l'habitude de construire selon des principes de « *monofonctionnalisme* », c'est-à-dire que les fonctions des quartiers sont uniques et bien distinctes. A cet égard, la révision des plans d'aménagement est nécessaire pour rendre les espaces plus variés et les usages « mixés ». Pour ce faire, la « **chronotopie urbaine** »¹³, qui sert à désigner la recherche de polyvalence et de modularité des espaces publics, bâtiments et quartiers, doit être priorisée et s'articuler de manière adéquate avec des technologies de production de chaleur/froid décentralisées. Le label « écoquartier » insiste aussi sur la mixité fonctionnelle des lieux.

Dans ce cadre, plusieurs leviers existent pour que les documents d'aménagement urbain intègrent davantage la boucle d'eau tempérée. Les SRADDET, qui recensent les réseaux de chaleur et fixent les objectifs bois-énergie peuvent faire mention de cette solution. Les PLU et PLUi qui fixent le raccordement aux réseaux de chaleur peuvent favoriser la réalisation de bâtiments économes en énergie, qui peuvent se raccorder à la boucle d'eau tempérée. Au sein de ces documents, il est aussi possible de bien définir la taille des îlots urbains et les structures alimentées par la boucle (cela dépend des ressources disponibles sur le site, notamment géothermiques), ainsi que la densité de construction et la mixité des usages (les besoins de chaleur et de rafraîchissement, alternativement ou simultanément).



c) Bénéfices économiques et environnementaux de la PAC sur boucle d'eau tempérée

Un des principaux atouts de la boucle d'eau tempérée réside dans sa capacité à optimiser les ressources à l'échelle d'un bâtiment ou d'un quartier. **Elle permet la production et l'autoconsommation d'énergie in situ**. Lorsqu'une partie du bâtiment climatise, la chaleur dégagée par le refroidissement participe au réchauffement de la boucle. Cette chaleur pourra répondre aux besoins de chauffage d'une autre partie du bâtiment et/ou d'un autre bâtiment. Si aucun besoin de chauffage n'est simultané à la production de froid, la boucle peut **stocker** les calories et les utiliser en différé lors d'appels de puissance d'autres parties du bâtiment et/ou d'autres bâtiments. De plus, si la boucle d'eau tempérée est raccordée à des stockages géothermiques (BTES : champs de sondes géothermiques, ou ATEs : champs de sondes aquifères), il est possible de stocker les calories dans la boucle sur **le long terme** (durant les intersaisons par exemple). Ainsi, une boucle d'eau tempérée

¹³ « Chronotopie, Aménagement spatio-temporel pour des villes résilientes », Rapport final au Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie, Décembre 2013

optimise les rendements énergétiques des équipements de production et elle encourage le développement d'écoquartiers, dans lesquels les ressources sont mutualisées.

Un autre avantage de la boucle d'eau tempérée est sa **modularité**. En fonction des évolutions des bâtiments et des territoires, une BET peut accueillir autant de sous-stations qu'il est nécessaire. Elle autorise donc un déploiement progressif. Ainsi, les investissements nécessaires à son déploiement sont lissés dans le temps.

Enfin, une boucle d'eau fonctionne avec des PACs dont le coefficient de performance est élevé (COP moyen 3 pouvant aller jusqu'à 7), utilise des énergies renouvelables et **permet de valoriser des calories « perdues » (chaleur fatale)**, ce qui participe à la réalisation d'économies d'énergies conséquentes. De plus, comme la température de la boucle d'eau n'a pas d'écart important avec la température du sol, elle n'a pas besoin d'être isolée (économie de matériaux). Cela en fait donc une solution **de production de chaleur et de froid efficiente**.

Tableau 1. Récapitulatifs des avantages des boucles d'eau tempérée

Valorisation EnR&R (solution multi-énergies)	<ul style="list-style-type: none"> - Valorisation des ressources locales et présentes in-situ (récupération de la chaleur fatale) - Moindre dépendance aux énergies fossiles
Modularité	<ul style="list-style-type: none"> - Adaptabilité aux demandes en énergie d'un bâtiment (journalier/saisonnier) - Production de froid économe (grâce à la production de chaleur) - Capacité de stockage et de restitution différée des calories - Economie liée à la synergie énergétique et à la réduction de la demande
Evolutivité (solution multipoints)	<ul style="list-style-type: none"> - Adaptabilité aux évolutions du bâtiment et/ou territoire (possibilité de rattacher des solutions de productions/des équipements dans le temps) - Solution de stockage envisageable - Investissements lissés dans le temps
Mutualisation	<ul style="list-style-type: none"> - Mutualisation du captage de la ressource EnR - Optimisation des rendements énergétiques des équipements de production (production de chaleur et de froid possible : confort d'été) - Limitation des îlots de chaleur urbain en centre-ville, en se substituant à des climatiseurs traditionnels individuels (qui chauffent l'air extérieur en refroidissant l'intérieur des bâtiments)
Adaptabilité aux écoquartiers	<ul style="list-style-type: none"> - Complémentarité des usages pour optimiser les transferts d'énergie entre différents bâtiments, en identifiant les différentes typologies de bâti (maisons individuelles, logements collectifs, bâtiments tertiaires ou industriels)

III. Soutenir le déploiement de la filière

La filière de la boucle d'eau tempérée connaît un regain d'intérêt, comme en témoignent les différentes publications des acteurs de la filière à son propos, ainsi que son inscription dans les technologies financées par le Fonds Chaleur, géré par l'ADEME et principal soutien public au développement des énergies renouvelables. Au regard des différents atouts qu'elle présente (détaillés dans la partie II de ce document), il est important d'accompagner le développement de la filière qui peut capitaliser sur différents leviers.

La programmation pluriannuelle de l'énergie publiée en avril 2020¹⁴ par le Ministère de la Transition écologique souligne le fort potentiel d'une filière française de récupération de chaleur in situ : « La filière [française de récupération de chaleur in situ] bénéficie d'un savoir-faire français. La France est l'un des leaders européens d'un point de vue recherche et doit maintenant accélérer le développement pour rattraper des pays précurseurs en terme de déploiement d'installations comme les Pays-Bas ou le Royaume-Uni. »

a) Une filière innovante en plein développement

Le développement de la filière de la boucle d'eau tempérée est annoncé, depuis 2019 avec l'inscription de la technologie dans le dispositif d'aide Fonds Chaleur mis en place par l'ADEME¹⁵. Ce fonds a été créé en 2009 et permet d'accompagner, via des subventions, des installations de production d'énergies renouvelables. Ce fonds s'adresse aux opérations destinées aux logements collectifs et au tertiaire mais aussi dans le secteur industriel et agricole.



Il revêt trois objectifs :

- 1) Financer les projets de production de chaleur à partir d'énergies renouvelables et de récupération d'énergie (EnR), ainsi que les réseaux de chaleur liés à ces installations.
- 2) Favoriser l'emploi et l'investissement dans ces secteurs d'investissement.
- 3) Expérimenter de nouveaux champs pour une meilleure mobilisation des énergies renouvelables.

Avant 2019, la technologie de la BET était soutenue par le Fonds NTE (Nouvelle Technologie Emergente), prélevé sur le Fonds Chaleur. La technologie ayant prouvé son **efficacité**, elle est aujourd'hui considérée comme **mature par l'ADEME** et fait partie intégrante des solutions financées par le Fonds Chaleur. En 2020, la dotation initiale du Fonds Chaleur sera de 350 millions d'euros (contre 290 pour 2019). La prise en compte de la boucle d'eau tempérée dans ce fond vise à exploiter le potentiel de déploiement de la filière. Le Fonds Chaleur de l'ADEME permet aux technologies vertueuses, dont la BET fait partie, de gagner en visibilité et d'être plus accessibles.

Toutefois, ce fond ne prend pas en compte les boucles d'eau tempérée non-géothermiques ou encore les solutions proposées par Qarnot Computing. Or, elles répondent aux mêmes exigences du Fonds Chaleur et s'inscrivent dans les différents objectifs des politiques publiques environnementales. De plus, les boucles d'eau tempérée présentent l'avantage de nécessiter des

¹⁴<https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/20200422%20Programmation%20pluriannuelle%20de%20l%27e%CC%81nergie.pdf>

¹⁵ Propos recueillis auprès Astrid Cardona - ADEME – Entretien 13-12-2019

travaux de moins grande ampleur qu'une boucle d'eau géothermique et sont adaptées à des travaux de rénovation de bâtiment. **L'INEC soutient donc la prise en compte de la boucle d'eau tempérée dans ce Fonds Chaleur, pour accélérer le développement de cette filière.**

b) Les leviers et les freins au déploiement des PAC sur boucle d'eau tempérée

1. LEVIERS

Sensibiliser aux bénéfices territoriaux et à la réponse aux enjeux urbains

La filière de la boucle d'eau tempérée bénéficie de plusieurs atouts, qui s'inscrivent dans les principes de l'économie circulaire (autres que ceux qui ne concernent « que » l'équipement). Tout d'abord, comme présenté dans la partie II-b, la boucle d'eau tempérée est particulièrement adaptée pour les démarches d'écoquartiers et à une **vision territoriale** des projets d'économie circulaire (voir annexe 3). Elle doit donc être envisagée par les collectivités qui s'engagent dans des projets d'aménagement circulaires.

L'aspect territorial des solutions de production décentralisée de chaleur/froid est aussi renforcé par un savoir-faire et une production industrielle française. La production de matériels en France, comme le mettent en œuvre Qarnot et France Energies, permet d'assurer la traçabilité des équipements et un **meilleur accès à des pièces détachées**. A ce titre, la loi économie circulaire vient renforcer les obligations des fabricants ou des importateurs de mise à disposition des pièces détachées. L'article 19 dispose que le fabricant ou importateur fournit obligatoirement, dans un délai de quinze jours ouvrables (au lieu de deux mois), aux vendeurs et aux réparateurs, agréés ou non, qui le demandent, les pièces détachées indispensables à l'utilisation des biens vendus.

D'autre part, la boucle d'eau tempérée répond à **plusieurs enjeux urbains**. Tout d'abord, le manque d'espace disponible dans les villes en mutualisant les équipements de production énergétique. Elle participe aussi à l'atténuation des îlots de chaleur, phénomène accentué par les émissions de gaz à effet de serre. L'îlot de **chaleur urbain** est un phénomène à l'échelle du **climat local** qui se caractérise par la **différence de température**, le plus généralement de l'air, entre la ville et la campagne ou entre la ville et une moyenne régionale.

L'îlot de chaleur urbain se caractérise par une température en moyenne supérieure de 4°C et peut atteindre jusqu'à 12°C de plus que les régions limitrophes¹⁶. Dans son rapport *Diagnostic de la surchauffe urbaine, Méthodes et applications territoriales* (septembre 2017), l'ADEME présente les différentes causes à la surchauffe urbaine, parmi lesquelles plusieurs paramètres dits « anthropiques »¹⁷ : l'activité des industries et des transports mais aussi les systèmes de climatisation qui rejettent de la chaleur en extérieur. En effet, les besoins de rafraîchissement de l'air intérieur et de réfrigération peuvent générer une hausse de la demande en énergie et comme conséquence, une hausse des émissions de gaz à effet de serre selon la source d'énergie employée. Les climatiseurs sont généralement privilégiés pour assurer un confort thermique mais cette solution « en plus de la grande demande en énergie qu'elle crée, (...) peut entraîner des impacts accentuant l'îlot de chaleur

¹⁶ ADEME, I CARE, ALTO STEP, ALTO Ingenierie, *Guide de recommandation pour lutter contre l'effet d'îlot de chaleur urbain*, 2012, p. 5

¹⁷ ADEME, *Diagnostic de la surchauffe urbaine, Méthodes et applications territoriales*, septembre 2017, p. 8

urbain. »¹⁸. « Il s'avère donc très important d'envisager d'autres solutions, plus durables tant pour l'environnement que pour la santé des générations actuelles et futures (...). »¹⁹ rappelle le guide de recommandation pour lutter contre l'effet d'îlot de chaleur urbain, réalisé pour l'ADEME en octobre 2012. La valorisation de technologies qui se basent sur la récupération d'énergie est un des leviers à cette nécessaire transition. En effet, les solutions de production de chaleur/froid décentralisées permettraient de limiter les externalités négatives inhérentes aux climatiseurs classiques. Ainsi, la production de froid n'est plus assurée par des climatiseurs traditionnels, mais en recyclant l'énergie déjà contenue dans l'air sous forme de chaleur. C'est un changement de paradigme avec des technologies françaises existantes et déjà matures, telles que la boucle d'eau tempérée.

Les leviers de changement de comportement : récompense et sensibilisation

Pour améliorer la visibilité de cette technologie, ainsi que plus largement le déploiement des pratiques d'économie circulaire, le **changement de comportement** est un levier essentiel. La sensibilisation des acteurs publics aux boucles d'eau tempérée doit être conduite ; à ce titre, la loi économie circulaire énonce une disposition en faveur des formations sur l'économie circulaire dispensées aux élus ayant reçu une délégation en matière de prévention et de gestion des déchets ou d'économie circulaire (ils sont « encouragés » à suivre cette formation), ainsi que les fonctionnaires volontaires. Ces formations peuvent inclure des modules sur les enjeux d'efficacité énergétique et sur les technologies de production décentralisée chaleur/froid.



Les démarches d'accompagnement au changement de comportement doivent être approfondies et étendues à un panel plus large d'acteurs. Comme nous l'avons vu, inscrire une boucle d'eau tempérée à l'échelle d'un quartier nécessite l'élaboration de documents d'urbanisme adéquats. Par conséquent, les acteurs des projets urbains doivent aussi être sensibilisés aux bénéfices de cette technologie.

Les acteurs privés doivent aussi être concernés par des actions de sensibilisation et de changement de comportement. Dans cette perspective, le travail de l'ADEME pour inclure de nouvelles technologies dans le **Fonds Chaleur** est un levier majeur de sensibilisation, puisqu'il accorde une visibilité aux technologies vertueuses.

Les leviers pour développer ces technologies sont donc nombreux : les soutiens financiers (notamment via les dispositifs de soutien ou les incitations fiscales), les récompenses symboliques (label Ecoquartier), la sensibilisation des acteurs de l'aménagement public et privé, ainsi que la mise à disposition d'outils adéquats (comme des clauses-types qui fonctionnent comme des « coups de pouce »), etc. Ils doivent être mobilisés pour développer la filière.



¹⁸ ADEME, I CARE, ALTO STEP, ALTO Ingénierie, *Guide de recommandation pour lutter contre l'effet d'îlot de chaleur urbain*, 2012, p. 9.

¹⁹ ADEME, I CARE, ALTO STEP, ALTO Ingénierie, *Guide de recommandation pour lutter contre l'effet d'îlot de chaleur urbain*, 2012, p. 10.

2. FREINS

Afin d'assurer le développement de la filière, certaines barrières à son développement doivent être levées. Tout d'abord, nous avons rappelé la nécessité d'inclure cette technologie dans les solutions proposées dans les plans urbains ou les plans de construction, ce qui n'est pas encore le cas. De plus, les solutions de mutualisation doivent être envisagées au plus tôt dans la planification et le montage de projet pour permettre la définition d'une structure juridique adéquate et la bonne gestion d'un micro-réseau de chaleur – et ce, même à l'échelle d'un bâtiment.

Le coût élevé de la technologie appelle aussi le développement concomitant de soutiens financiers comme le Fonds Chaleur. Aussi, la technologie de la BET n'est pas prise en compte par le dispositif des CEE (certificats d'économies d'énergie), qui repose pourtant sur un objectif d'économies d'énergie et qui permet à des revenus modestes de bénéficier de technologies vertueuses d'un point de vue environnemental.



IV. Recommandations de l'INEC

a) Renforcer les analyses de récupération de chaleur



Les pouvoirs publics peuvent renforcer les **analyses macro sur la récupération de chaleur in situ** (à l'image de ce qu'a développé l'Institut Paris Région, mentionné en introduction, sur les gisements potentiels). De telles études auraient l'avantage de **mettre en évidence les gains d'économie d'énergie** permises par les solutions de production de chaleur et de froid qui **valorisent les calories fatales**. En privilégiant ces solutions, l'énergie thermique inutilisée serait captée et valorisée.

Ces analyses pourraient devenir la norme dans les marchés publics. Les bâtiments publics doivent au maximum être construits ou rénovés avec des solutions de confort thermiques circulaires, dans un **objectif d'exemplarité** de la commande publique.

A cet égard, la Programmation Pluriannuelle de l'Énergie recommande la mise en œuvre d'études et de programmes sur la récupération d'énergie dans les **eaux usées** en précisant que « Les systèmes de récupération de chaleur sur eaux usées présentent sur (le critère de la consommation énergétique) un excellent retour sur investissement »²⁰. Cette recommandation pourrait valoir pour d'autres sources d'énergie.

b) Sensibiliser les acteurs de l'aménagement et de la commande publique aux atouts des technologies de production décentralisée de chaleur/froid

Plusieurs leviers de sensibilisation peuvent être mobilisés pour développer les technologies présentées dans ce focus. Il est possible d'insister sur **la réponse** qu'apportent ces technologies à des enjeux de plus en plus prégnants d'îlots de chaleur urbains et de manque d'espace dans les zones denses. La production d'énergie in-situ, ainsi que l'autoconsommation doivent devenir des objectifs guidant la mise en place de nouveaux plans de construction, rénovation et autres projets urbains. Dans ce cadre, les technologies de production décentralisée de chaleur/froid, qui viennent apporter la solution au plus près du besoin, doivent être valorisées.



De plus, les nouvelles prérogatives des acteurs publics en termes de construction et d'entretien de **bâtiments**, instaurées par la **loi économie circulaire**, pourront aussi permettre aux filières présentées dans ce focus de se développer. Selon l'article 59 de la loi Antigasillage pour une économie circulaire, la commande publique prend en compte les exigences de lutte contre les émissions de gaz à effet de serre et de stockage du carbone, pour des travaux de construction mais aussi de rénovation. Le **devoir d'exemplarité** de la commande publique est donc un levier.

²⁰ Programmation pluriannuelle de l'énergie 2019-2023 2024-2028, Stratégie Française pour l'énergie et le climat, p. 88

Les équipements comme la boucle d'eau tempérée, qui permet de valoriser des ressources locales et/ou de la chaleur fatale, peuvent équiper les bâtiments publics. Pour cela, il est nécessaire d'ouvrir les cahiers des charges des projets d'aménagement et de bâtiments publics à ce type de solution technique, plus chères au prix d'achat, mais génératrices de gains économiques et environnementaux à moyen-terme. Enfin, le fait que la boucle d'eau tempérée permette d'assurer la continuité du service (fourniture de chaleur ou de froid) est aussi un atout, notamment pour les espaces de travail accueillant du personnel toute l'année.

c) Solution financière : le Fonds Chaleur à étendre



Comme présenté plus haut, le Fonds Chaleur de l'ADEME s'est étendu en 2019 à différentes technologies, dont les boucles d'eau tempérée géothermique. L'INEC recommande de l'étendre à toutes les boucles d'eau tempérée ; y compris celles qui ne sont pas enterrées.

Le Fonds Chaleur pourrait aussi s'étendre aux autres technologies innovantes de production de chaleur/froid décentralisée présentées dans ce rapport, telles que les solutions de valorisation calorifique des calculs numériques ou de clôtures « productrices d'énergie ». Le soutien à l'innovation est central pour développer des solutions à la transition écologique.

L'éligibilité des technologies de récupération de chaleur in situ aux CEE devrait également être encouragée.

V. Annexe

a) La démarche EcoQuartier en 4 dimensions et 20 engagements

Le Référentiel EcoQuartier, en faveur des villes et territoires durables

1 RÉALISER LES PROJETS RÉPONDANT AUX BESOINS DE TOUS EN S'APPUYANT SUR LES RESSOURCES ET CONTRAINTES DU TERRITOIRE

2 FORMALISER ET METTRE EN ŒUVRE UN PROCESSUS DE PILOTAGE ET UNE GOUVERNANCE PARTAGÉE

3 INTÉGRER LA DIMENSION FINANCIÈRE TOUT AU LONG DU PROJET DANS UNE APPROCHE EN COÛT GLOBAL

4 PRENDRE EN COMPTE LES PRATIQUES DES USAGERS ET LES CONTRAINTES DES GESTIONNAIRES DANS LES CHOIX DE CONCEPTION TOUT AU LONG DU PROJET

5 METTRE EN ŒUVRE DES DÉMARCHES D'ÉVALUATION ET D'AMÉLIORATION CONTINUE

6 TRAVAILLER EN PRIORITÉ SUR LA VILLE EXISTANTE ET PROPOSER UNE DENSITÉ ADAPTÉE POUR LUTTER CONTRE L'ARTIFICIALISATION DES SOLS

7 METTRE EN ŒUVRE LES CONDITIONS DU VIVRE-ENSEMBLE ET DE LA SOLIDARITÉ

8 METTRE EN ŒUVRE UN URBANISME FAVORABLE À LA SANTÉ POUR ASSURER UN CADRE DE VIE SUR ET SAIN

9 METTRE EN ŒUVRE UNE QUALITÉ DE CADRE DE VIE, QUI CONCILIE INTENSITÉ, BIEN VIVRE ENSEMBLE ET QUALITÉ DE L'ENVIRONNEMENT

10 VALORISER LE PATRIMOINE NATUREL ET BÂTI, L'HISTOIRE ET L'IDENTITÉ DU SITE

11 CONTRIBUER À UN DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUE LOCAL, DURABLE, ÉQUILIBRÉ, SOCIAL ET SOLIDAIRE

12 FAVORISER LA DIVERSITÉ DES FONCTIONS ET LEUR PROXIMITÉ

13 OPTIMISER L'UTILISATION DES RESSOURCES ET DÉVELOPPER LES FILIÈRES LOCALES ET LES CIRCUITS COURTS

14 FAVORISER LES MODES ACTIFS, LES TRANSPORTS COLLECTIFS ET LES OFFRES ALTERNATIVES DE DÉPLACEMENT POUR DÉCARBONER LES MOBILITÉS

15 FAVORISER LA TRANSITION NUMÉRIQUE EN FAVEUR DE LA VILLE DURABLE

16 PROPOSER UN URBANISME PERMETTANT D'ANTICIPER ET DE S'ADAPTER AU CHANGEMENT CLIMATIQUE ET AUX RISQUES

17 VISER LA SOBRIÉTÉ ÉNERGÉTIQUE, LA BAISSE DES ÉMISSIONS DE CO₂ ET LA DIVERSIFICATION DES SOURCES AU PROFIT DES ÉNERGIES RENOUVELABLES ET DE RÉCUPÉRATION

18 LIMITER LA PRODUCTION DES DÉCHETS, DÉVELOPPER ET CONSOLIDER DES FILIÈRES DE VALORISATION ET DE RECYCLAGE DANS UNE LOGIQUE D'ÉCONOMIE CIRCULAIRE

19 PRÉSERVER LA RESSOURCE EN EAU ET EN ASSURER UNE GESTION QUALITATIVE ET ÉCONOME

20 PRÉSERVER, RESTAURER ET VALORISER LA BIODIVERSITÉ, LES SOLS ET LES MILIEUX NATURELS

DÉMARCHE ET PROCESSUS **CADRE DE VIE ET USAGES** **DÉVELOPPEMENT TERRITORIAL** **ENVIRONNEMENT ET CLIMAT**

Carte des engagements

© Yann Kebbi - Ministère de la Cohésion des territoires et des relations avec les collectivités territoriales

Source : Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire et Ministère de la Cohésion des Territoires et des Relations avec les Collectivités Territoriales

PRÉSENTATION DE L'INSTITUT NATIONAL DE L'ÉCONOMIE CIRCULAIRE

L'Institut National de l'Économie Circulaire (INEC) est la référence française de l'économie de la ressource, depuis sa création en 2013 par François-Michel Lambert, député des Bouches-du-Rhône.

NOS MISSIONS



NOS MEMBRES

L'INEC est composé d'environ 200 membres : entreprises, fédérations, collectivités, institutions, associations, écoles et universités. La diversité de ses membres permet de nourrir une vision holistique de l'économie circulaire, prenant en compte l'ensemble des enjeux économiques, sociaux, et environnementaux.

NOTRE EXPERTISE

Les actions de l'INEC s'articulent principalement autour de 4 axes : réflexion, plaidoyer, mise en œuvre opérationnelle et sensibilisation à l'économie circulaire.



DERNIÈRES PUBLICATIONS

L'Institut National de l'Économie Circulaire a effectué plus d'une cinquantaine de publications sur l'ensemble des sujets liés à l'économie circulaire : loi anti-gaspillage pour une économie circulaire, systèmes agricoles et agroalimentaires, textile, eaux usées, numérique, commande publique, etc.

ACCÉDER À L'ENSEMBLE DES PUBLICATIONS DE L'INEC

Accélérer la récupération de chaleur en ville : les solutions décentralisées

Focus sur la boucle d'eau tempérée



Étude réalisée en partenariat avec France Énergie

