



BROCHURE SUR LES SOLUTIONS DE RÉSEAUX DE CHALEUR ET DE FROID URBAINS

Smart Cities Marketplace 2024

The Smart Cities Marketplace géré par la direction générale de l'énergie de la Commission européenne



Éditeur	Smart Cities Marketplace © Union européenne, 2024
Terminé en	Juin 2024
Titre	« Brochure sur les solutions de réseaux de chaleur et de froid urbains »
Auteur	Smart Cities Marketplace géré par la direction générale de l'énergie de la Commission européenne smart-cities-marketplace.ec.europa.eu European Commission DG ENER
La version 2024 est écrite par	Julen Imana Sobrino (ICLEI Europe), Gabriele Pesce (Euroheat and Power), Laura Junasová (Euroheat and Power)
Contributeur de la version 2024	Giulia Malafarina (EHPA), Valérie Séjourné (Solar Heat Europe), Dirk von Bracht (Stadt Dortmund), Paolo Cresci (Arup), Giulia Cittadini (EGEC), Richard Martin (Islington Council)
La version 2024 traduction par	Elise van Dijk (ThInk E)
2024 est une fusion de deux 2019 livrets écrit par	« District heating and cooling Solution Booklet » par Koldo Urrutia, Ignacio Torrens et Francisco Rodríguez Perez-Curiel (Tecnalia Research and Innovation) et aussi « Heat Pump Driven District Heating Systems » par Leen Peeters et Egon Troch (ThInk E)
Conception graphique	Agata Smok (ThInk E) Smart Cities Marketplace géré par la direction générale de l'énergie de la Commission européenne Nous avons pris soin de contacter tous les détenteurs des droits d'auteur des images utilisées. Si vous revendiquez la propriété de l'une des images présentées ici et que vous n'avez pas été identifié de manière appropriée, veuillez contacter Agata par e-mail à l'adresse suivante agata@think-e.be et elle se fera un plaisir de faire une reconnaissance formelle dans une version mise à jour. Les opinions exprimées dans cette publication sont celles des auteurs respectifs et ne sont pas nécessairement partagées par l'éditeur.
Photo de couverture	Edvin Johansson, Unsplash
Fonte de caractères	EC Square Sans Pro
Dément	© Union européenne, 2024 La politique de réutilisation de la Commission est mise en œuvre par la Commission Décision 2011/833/UE du 12 décembre 2011 relative à la réutilisation des documents de la Commission (JO L 330 du 14.12.2011, p. 39). Sauf indication contraire, la réutilisation de ce document est autorisée en vertu de la Licence Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0). Cela signifie que la réutilisation est autorisée, à condition qu'un crédit approprié soit accordé et que toute modification soit Indiqué. Pour toute utilisation ou reproduction d'éléments qui ne sont pas la propriété de l'UE, il peut être nécessaire de demander l'autorisation directement aux titulaires de droits respectifs. Ce document a été préparé pour la Commission européenne, mais il ne reflète que les opinions des auteurs, et la Commission ne peut être tenue responsable de l'utilisation qui pourrait être faite des informations qu'il contient.

Quoi et pourquoi

Contexte de la ville

Aspects sociétaux et utilisateurs

Soutien des parties prenantes et engagement des citoyens

Principaux avantages pour les parties prenantes

Aspects techniques

Évolution technologique

Composants et technologies

Modèles d'affaires et financement

Description – potentiels modèles d'affaires

Cadre réglementaire

Le modèle économique « Entièrement public »

Le modèle économique « Public-Privé »

Le modèle économique « privé »

Gouvernance et réglementation

Rôle des municipalités et processus décisionnels

Stratégies énergétiques urbaines de l'UE et des villes

Comment démarrer dans ma ville ?

Leçons tirées

Documents utiles

5

8

12

15

29

38

45

49

La Smart Cities Marketplace est une initiative soutenue par la Commission européenne qui rassemble **des villes, des industries, des PME, des investisseurs, des banques, des chercheurs et d'autres acteurs actifs dans le secteur climatique, et des villes intelligentes**. Le réseau d'investisseurs de Smart Cities Marketplace est un groupe croissant d'investisseurs et de fournisseurs de services financiers qui recherchent activement des projets climatiquement neutre et des projets de villes intelligentes.

Le Smart Cities Marketplace compte des milliers d'adeptes dans toute l'Europe et au-delà, dont beaucoup se sont inscrits en tant que membres. Leurs objectifs communs sont les suivants **d'améliorer la qualité de vie des citoyens, d'accroître la compétitivité des villes et de l'industrie européennes ainsi que d'atteindre les objectifs de l'Union européenne les objectifs en matière d'énergie et de climat**.

Découvrez les possibilités, donnez forme à vos idées de projet et concluez un accord pour lancer votre solution Smart City ! Si vous souhaitez nous contacter, veuillez utiliser info@smartcitiesmarketplace.eu

**QU'EST-CE QUE
LE SMART CITIES
MARKETPLACE ?**

**QUELS SONT LES
OBJECTIFS DU
SMART CITIES
MARKETPLACE ?**

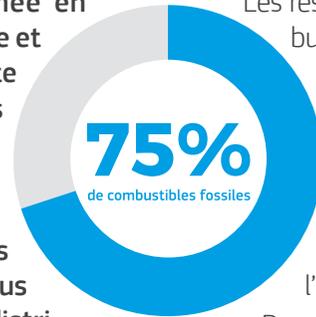
**À QUOI PEUT
VOUS SERVIR LE
SMART CITIES
MARKETPLACE ?**



QUOI ET POURQUOI

QUOI ET POURQUOI

La moitié de l'énergie consommée en Europe est utilisée pour le chauffage et le refroidissement, et 75 % de cette énergie provient de combustibles fossiles. De plus, une grande partie de cette énergie est perdue en raison de l'inefficacité des systèmes de chaleur et de froid. Les systèmes de chaleur et de froid urbains les plus modernes et durables offrent une distribution efficace de la chaleur et du froid provenant de sources d'énergie renouvelables, ce qui contribue de manière significative à la décarbonisation des villes européennes.



Les réseaux de chaleur et de froid urbains contribuent à la distribution d'énergie thermique à grande échelle. De tels réseaux ont été déployés dans le monde entier. Les technologies de chauffage et de refroidissement permettent des synergies entre la production et la distribution de la chaleur, du froid, de l'eau chaude sanitaire et de l'électricité.

De nombreux systèmes de chauffage urbain doivent être modernisés. Actuellement, les technologies de chaleur et de froid urbain permettent d'utiliser diverses sources de chaleur qui, autrement, seraient perdues. Aujourd'hui, les villes s'intéressent aux réseaux modernes de chaleur et de froid urbains pour atteindre des objectifs liés à l'énergie et au climat, notamment la fourniture d'une énergie abordable, la réduction de la dépendance à l'égard des importations d'énergie et des combustibles fossiles, l'amélioration de la qualité de l'air local, la réduction des émissions de carbone, la neutralité climatique, la réduction de la pauvreté énergétique et l'augmentation de la part des énergies renouvelables.

L'adoption de systèmes de chaleur et de froid urbains durables n'est pas seulement une mise à niveau technologique ; c'est une étape cruciale vers un avenir plus vert et plus résilient. En exploitant les énergies renouvelables et en optimisant l'efficacité, nous pouvons transformer nos villes en phares de l'innovation et de la gestion de l'environnement.

Les réseaux de chaleur et de froid urbains existent depuis plus d'un siècle, évoluant des premiers réseaux de distribution de chaleur à haute température (en forme de vapeur) vers des systèmes à basse température plus efficaces qui réduisent les pertes de distribution de chaleur et qui permettent l'utilisation de sources d'énergie renouvelables et de déchets, ainsi que l'intégration au réseau électrique. En outre, les systèmes de gestion intelligents actuels permettent d'accroître les avantages opérationnels et le développement des réseaux décentralisés.



Augmentation de la part des énergies renouvelables



Amélioration de la qualité de l'air



Réduction des émissions de carbone



Système de chauffage urbain à la biomasse à Vitoria-Gasteiz, Espagne ©SmartEnCity

Les systèmes de chaleur et de froid urbains, intégrant la production d'énergie renouvelable, peuvent présenter de nombreux **avantages pour les villes et la société**, liés aux défis auxquels les environnements urbains sont actuellement confrontés :



L'efficacité bénéfique d'une production d'énergie centralisée (économie d'échelle)



La réduction des émissions de gaz à effet de serre provenant du chauffage et de la climatisation, la minimisation des pénalités de carbones et la contribution aux objectifs de réduction des émissions du parc immobilier



Une potentielle **synergie avec les sources d'énergie renouvelables locales** et les systèmes de chaleur et de froid

La prise en charge des autres réseaux comme le réseau électrique en **utilisant la flexibilité du réseau thermique**



La réduction de la dépendance aux combustibles fossiles, réduisant l'exposition au commerce international de l'énergie

La stabilisation et la réduction des coûts de chauffage



Le soutien de l'économie locale en gardant les moyens dans la région, permettant d'investir dans d'autres infrastructures et dans la résilience.

La possibilité pour les prosumers de fournir un surplus chaleur et de froid des bâtiments dans le réseau



La création d'emplois grâce à une attention accrue aux sources d'énergie locales

Les synergies potentielles avec l'incinération des déchets ou à l'utilisation d'autres sources résiduelles comme le biogaz et la chaleur résiduelle industrielle ou commerciale



Une meilleure qualité de l'air, entraînant une réduction des coûts dans le système de santé publique.



©Getty images



**CONTEXTE DE
LA VILLE**

CONTEXTE DE LA VILLE

« Aujourd'hui, environ 75 % des Européens habitent dans les villes. Les zones urbaines représentent 60 à 80 % de la consommation mondiale d'énergie et à peu près la même part des émissions de carbone. Le changement climatique influence presque toutes les composantes de l'environnement urbain et soulève de nouveaux défis complexes pour la qualité de vie urbaine, la santé et la biodiversité urbaine. Le changement climatique affectera de nombreux aspects de la vie urbaine, de la qualité de l'air aux modes de consommation. L'UE a mis en place des politiques et des initiatives ambitieuses pour promouvoir des solutions sur le terrain. Il s'agit notamment d'initiatives visant à accroître la résilience et à promouvoir les énergies renouvelables et les technologies à faible émission de carbone »¹



Cette tendance mondiale à la concentration urbaine entraîne **une augmentation de la demande d'énergie thermique dans les villes**, en particulier en ce qui concerne le chauffage ou le refroidissement et la distribution d'eau chaude dans les bâtiments résidentiels. Des systèmes de chaleur et de froid urbains durables et moderne, ainsi que des programmes de rénovation des bâtiments, constituent l'une des combinaisons technologiques les plus prometteuses pour relever ce défi urbain. En outre, l'échelle des systèmes de chaleur et de froid urbains offre l'occasion d'introduire des fonctionnalités intelligentes, telles que les technologies de stockage thermique et le contrôle intelligent, de

manière rentable. Cependant, les systèmes de chaleur et de froid urbains doivent être conçus avec soin en tenant compte du contexte urbain spécifique.

Différents aspects affectant la demande d'énergie, tels que la densité urbaine, le climat, l'état du parc immobilier et la disponibilité locale de sources de chaleur excédentaires ou de sources d'énergie renouvelables, joueront un rôle clé dans le choix et la conception du système de chaleur et de froid urbain le plus approprié. Plus précisément, dans les contextes urbains, l'état actuel du parc immobilier ainsi que les compromis potentiels avec les politiques et les objectifs de rénovation énergétique des bâtiments doivent être soigneusement évalués.² Les systèmes de chaleur et de froid urbains à basse température ne conviennent pas forcément à tous les scénarios urbains et suburbains, car ils sont mieux adaptés aux bâtiments à faible demande et économes en énergie. Ainsi, il convient d'accorder une attention particulière au contexte afin de concevoir un réseau de chaleur et de froid urbain et de sélectionner les technologies pertinentes. Des plans de zonage thermique peuvent être élaborés pour faciliter la planification à l'échelle de la ville. Ils identifient les zones qui peuvent être desservies par des types spécifiques de réseaux de chaleur et de froid urbains, par rapport aux zones où des solutions « autonomes » (par exemple, sur la base de pompes à chaleur individuelles) seront plus appropriées.

² H. Vandevyvere, G. Reynders, R. Baeten, I. De Jaeger, Y. Ma, 2019. [L'arbitrage entre la rénovation du parc immobilier urbain, la production locale d'énergie renouvelable et le déploiement des réseaux de chaleur urbains de quatrième génération](#)



©Jonas Jacobsson, Unsplash

¹ Commission européenne. Mission de l'UE: [Climate-Neutral and Smart Cities](#)

Que peuvent réaliser les villes grâce aux systèmes de chaleur et de froid urbains ?

Les systèmes de chaleur et de froid urbains apportent une valeur ajoutée de nombreux points de vue. Quelques exemples concrets sont énumérés ci-dessous :

1. Grâce au projet [SINFONIA](#), le réseau de chaleur urbain d'Innsbruck a été étendu et optimisé pour augmenter son utilisation de sources d'énergie renouvelables de 95 % et réduire l'utilisation de combustibles fossiles dans le système de 22 %.
2. Dans le cadre du projet [Act!onHeat](#), plusieurs municipalités sont soutenues pour accélérer leur planification stratégique du chauffage et du refroidissement et développer des études de préfaisabilité sur le chauffage urbain.
3. [Islington Council's Bunhill Heat and Power Network](#) (BHPN) du conseil municipal d'Islington est le premier projet au monde à prendre la chaleur résiduelle d'un réseau de métro et à l'utiliser pour fournir une chaleur plus écologique et moins coûteuse aux maisons, écoles et centres de loisirs locaux.
4. À Mannheim, le gestionnaire local de chaleur urbaine MVV a lancé l'exploitation d'une nouvelle grande pompe à chaleur utilisant l'eau du Rhin, qui alimentera environ 3 500 ménages.
5. Lancé dans le cadre du projet [Pitagoras](#), 77 hectares de terrain ont été sécurisés à Graz pour un système solaire thermique avec stockage saisonnier qui alimentera la ville. Les capteurs solaires fourniront environ 210 MW de puissance de pointe.
6. Les villes danoises ont réduit leurs émissions de CARBONE de 20 % depuis 1990, apparemment grâce aux systèmes de chauffage urbain.
7. PParis place les systèmes de chauffage urbain au cœur de sa stratégie de réduction de 75 % des émissions de carbone d'ici 2050.
8. À Copenhague, un processus de recyclage des déchets en chaleur permet d'éviter 655 000 tonnes de carbone par an, remplaçant 1,4 million de barils de pétrole chaque année.
9. À Göteborg, la production de chauffage urbain a doublé entre 1973 et 2010, tandis que les émissions de carbone ont diminué de moitié et que les émissions d'oxyde d'azote (NO_x) et de dioxyde de soufre (SO_2) de la ville ont diminué encore plus fortement, en raison de la réduction de l'utilisation de combustibles fossiles.

L 'initiative [CELSIUS](#) pour les villes

Issue du projet CELSIUS, qui a été couronné de succès et primé, l'initiative CELSIUS était un centre de collaboration pour des solutions de chauffage et de refroidissement efficaces et intégrées soutenant les villes dans leur transition énergétique vers des systèmes neutres en carbone. CELSIUS a rassemblé et partagé son expertise technique, économique, sociale et politique, permettant aux membres de se connecter, d'échanger et de favoriser l'innovation, conduisant à des solutions qui accélèrent le développement durable en Europe et dans le monde. La boîte à outils [CELSIUS](#) vise à être une source de connaissances et d'inspiration pour les villes intéressées par le développement de solutions énergétiques urbaines (chauffage et refroidissement urbains). Il s'adresse aux villes qui commencent tout juste à mettre en œuvre des réseaux de chauffage et de refroidissement urbains à petite échelle, ainsi qu'aux villes dotées de grands systèmes établis qui s'efforcent de trouver des solutions encore plus intelligentes et plus efficaces.

« Le principal défi de ces systèmes est de devenir Le courant dominant est leur intégration dans les environnements existants. Dans les nouveaux développements, c'est moins difficile. »

Frank Soons, responsable du développement durable et de l'innovation chez Ennatuurlijk

Zonage thermique dans votre ville

Les municipalités peuvent utiliser le zonage thermique comme outil de planification pour la conception et le déploiement de réseaux de chaleur et de froid urbains. Les plans de zonage thermique sont déjà obligatoires dans certains pays de l'UE et incitent de nombreuses villes à adopter des stratégies de transition vers une énergie propre.

En cartographiant et en quantifiant les sources d'énergie renouvelable et de chaleur résiduelle disponibles localement, ainsi que la demande de chaleur dans les environnements urbains et suburbains, il est possible de procéder à une première évaluation des options de réseaux de chaleur ou de froid urbains, y compris des considérations initiales sur le type de technologies à utiliser.

Bien que la préparation de plans de zonage de chaleur appropriés implique de nombreuses informations détaillées provenant de sources locales, l'Atlas paneuropéen de la chaleur « [Pan-European Thermal Atlas](#) » (PETA), produit par le projet Heat Roadmap Europe, peut servir de point de départ. Le PETA cartographie divers paramètres liés à l'énergie thermique dans les villes de l'UE : la demande de chaleur et de froid, les frais de distribution du chauffage urbain, le potentiel de chaleur géothermique, les ressources en biomasse, les ressources en chaleur excédentaire, et le niveau de recommandation pour le chauffage urbain. Le projet Heat Roadmap Europe a créé des preuves scientifiques à l'appui de la décarbonisation du secteur du chauf-

fage et du refroidissement en Europe, concluant que les émissions de CARBONE peuvent être réduites de 4 340 millions de tonnes, soit 86 %, par rapport à 1990 en utilisant uniquement des technologies connues dans le secteur.

Un autre outil utile pour le zonage thermique est l'outil « [Hotmaps](#) », produit par le même projet du même nom. Cet outil permet aux autorités publiques d'identifier, d'analyser, de modéliser et de cartographier les ressources et les solutions pour répondre aux besoins énergétiques sur leur territoire de responsabilité de manière efficace en termes de ressources et de coûts.

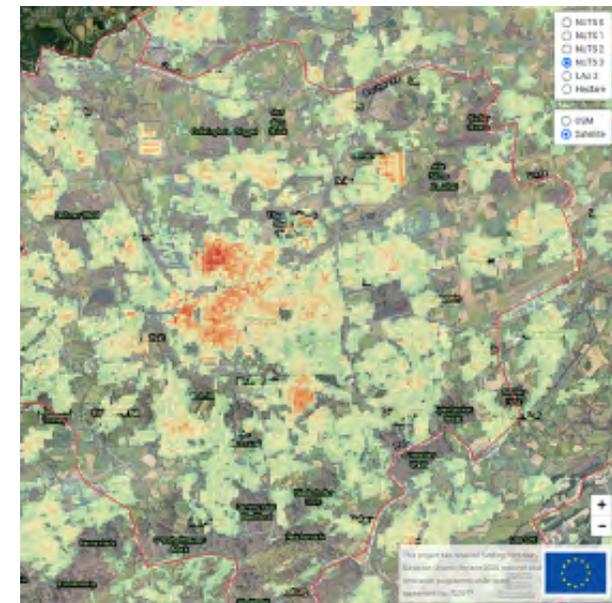
Le zonage thermique permet aux villes d'exploiter stratégiquement les ressources renouvelables locales et la chaleur résiduelle, ouvrant ainsi la voie à un avenir énergétique durable.

En tirant parti d'outils tels que l'Atlas thermique paneuropéen et Hotmaps, les municipalités peuvent prendre des décisions éclairées qui favorisent la transition vers des réseaux de chaleur et de froid urbains propres et efficaces.

Demande de chaleur dans la région d'Øresund ;
Copenhague, Malmö et Lund ©PETA



Densité de chaleur à Dortmund ©Hotmaps



A photograph of a city street on a foggy day. The street is lined with multi-story buildings, including a prominent red brick building on the left. The fog is thick, obscuring the background and creating a hazy atmosphere. A blue rectangular box is overlaid in the center of the image, containing white text. The text reads "ASPECTS SOCIÉTAUX ET UTILISATEURS".

**ASPECTS SOCIÉTAUX
ET UTILISATEURS**

ASPECTS SOCIÉTAUX ET UTILISATEURS

Soutien des parties prenantes et engagement des citoyens

La mise en place des systèmes de chaleur et de froid urbains peut s'avérer difficile. En particulier dans les régions où l'approvisionnement en énergie est basé sur des systèmes de production individuels.

Des actions sont nécessaires dans les espaces individuels et collectifs. Les changements structurels pour les citoyens peuvent générer une résistance sociale. Il est ainsi important d'informer et d'impliquer les principales parties prenantes locales et les citoyens dans ces processus de changement, en expliquant clairement les procédures et les avantages. Pour un engagement communautaire efficace, la ville pourrait mettre en place un processus de réflexion collaboratif concernant l'intégration des systèmes de chaleur et de froid urbains. Lorsque ce processus est bien développé et conçu avec un objectif pertinent à l'esprit (par exemple, la neutralité carbone de la ville), **les plans, stratégies, engagements et projets futurs seront partagés** par la communauté, renforçant le sentiment d'appartenance et de contribution à un objectif significatif partagé par tous.

Il y a deux étapes principales où cet engagement peut être favorisé :

1. La vision énergétique de la ville, où la municipalité peut formuler des objectifs, des stratégies et des projets clés avec les parties prenantes locales et les citoyens.
 - Pour un processus de vision énergétique de la ville engageant, veuillez voir : « [Sonderborg Roadmap2025](#) »³
2. **La conception d'un plan** directeur où la municipalité, les principales parties prenantes et les futurs clients peuvent échanger des points de vue sur le système et ses caractéristiques/conditions avec les promoteurs. Des engagements à long terme sont nécessaires pour confirmer la viabilité des opérations. À ce stade, les principaux groupes de la zone visée par le plan doivent être engagés afin de les informer et d'éviter les obstacles prévus.
 - Pour un plan directeur attrayant, consultez la participation des parties prenantes dans la municipalité de Lolland.⁴

Pour de telles actions à grande échelle, **un partenariat municipal réunissant la municipalité**, tous les services publics d'énergie urbaine, les associations de citoyens et d'entreprises et les grands consommateurs de chaleur et de froid est fortement recommandé.



Vision
énergétique
de la ville



Conception du
plan directeur



Partenariat
avec la ville

³ « Sonderborg Roadmap2025. 50 steps towards a carbon neutral Sonderborg »

⁴ « [Broad stakeholder involvement in district heating masterplan for Lolland municipality](#) »

Principaux avantages pour les parties prenantes

De vastes **avantages sociétaux deviennent tangibles pour les parties prenantes impliquées dans les opérations de chaleur et de froid urbains** ; en particulier, les utilisateurs finaux peuvent ressentir des différences significatives lorsque ce système est comparé aux systèmes de production individuels traditionnels :

- 

Source d'énergie plus fiable, même en cas d'événements météorologiques extrêmes.
- 

Coûts énergétiques plus prévisibles grâce à la flexibilité des sources de carburant. L'exposition aux fluctuations des prix du gaz et de l'électricité est réduite.
- 

Capacité à obtenir de meilleurs contrats énergétiques à long terme.
- 

Augmentation de l'espace intérieur et de la sécurité et réduction du bruit et de la pollution intérieurs en externalisant la production d'énergie thermique, les combustibles et le stockage du bâtiment.
- 

Réduction des coûts globaux d'exploitation, d'entretien et d'assurance.
- 

Mise à niveau/remplacement plus facile des équipements (centralisés) vers des technologies plus efficaces et plus propres.
- 

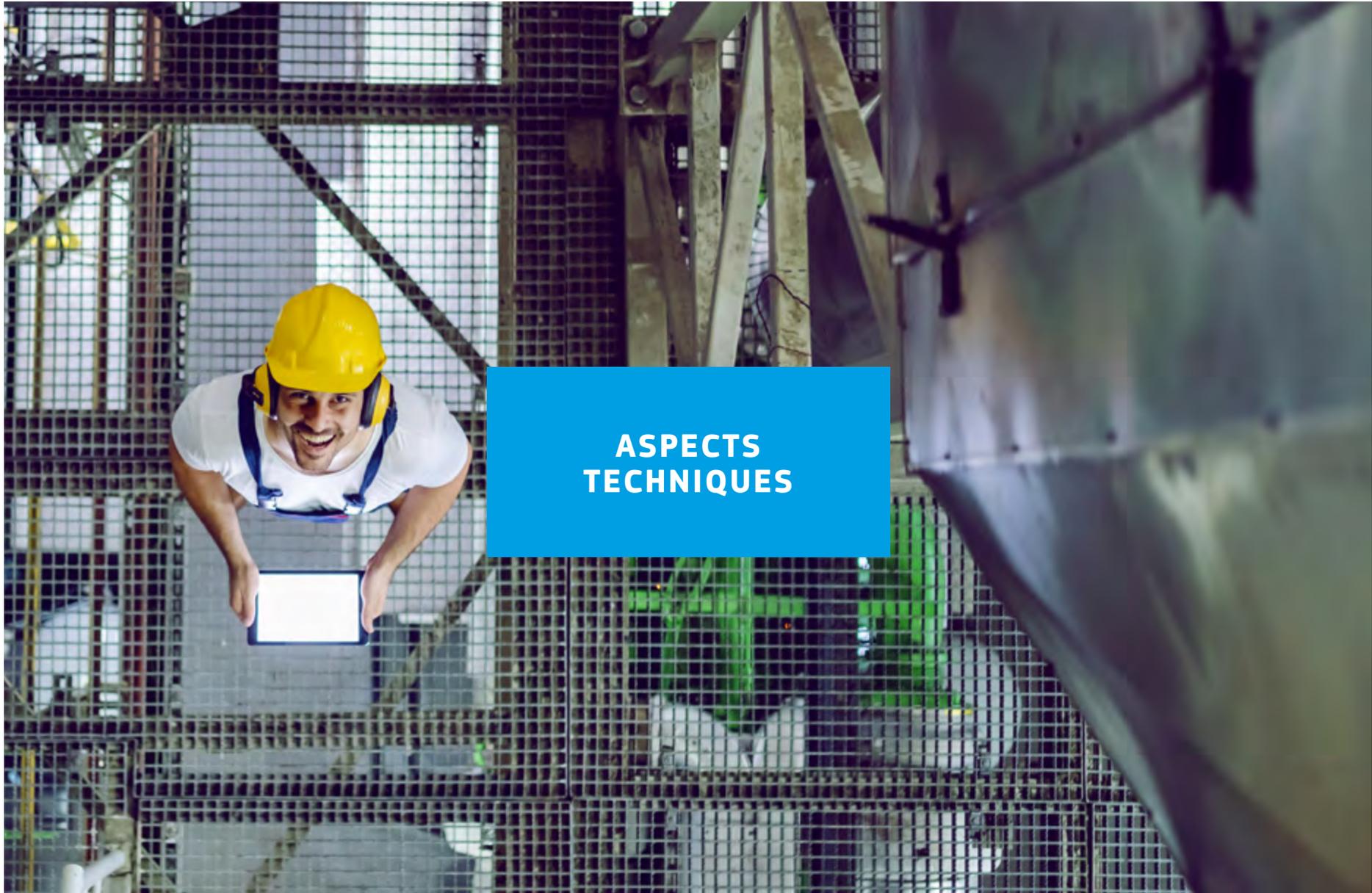
Utilisation de la flexibilité dans le réseau pour mieux équilibrer la demande de chaleur avec les sources d'énergie renouvelables et la chaleur et le froid résiduels (par exemple, masse du bâtiment, stockage décentralisé et centralisé, stockage dans la tuyauterie du réseau).
- 

Possibilité d'inclure le stockage saisonnier à long terme comme ATES, BTES, CTES et le stockage en fosse.



Pour plus de référence, veuillez consulter ce rapport de la boîte à outils « [CELSIUS Toolkit](#) » sur l'engagement des parties prenantes dans les réseaux de chaleur urbains.





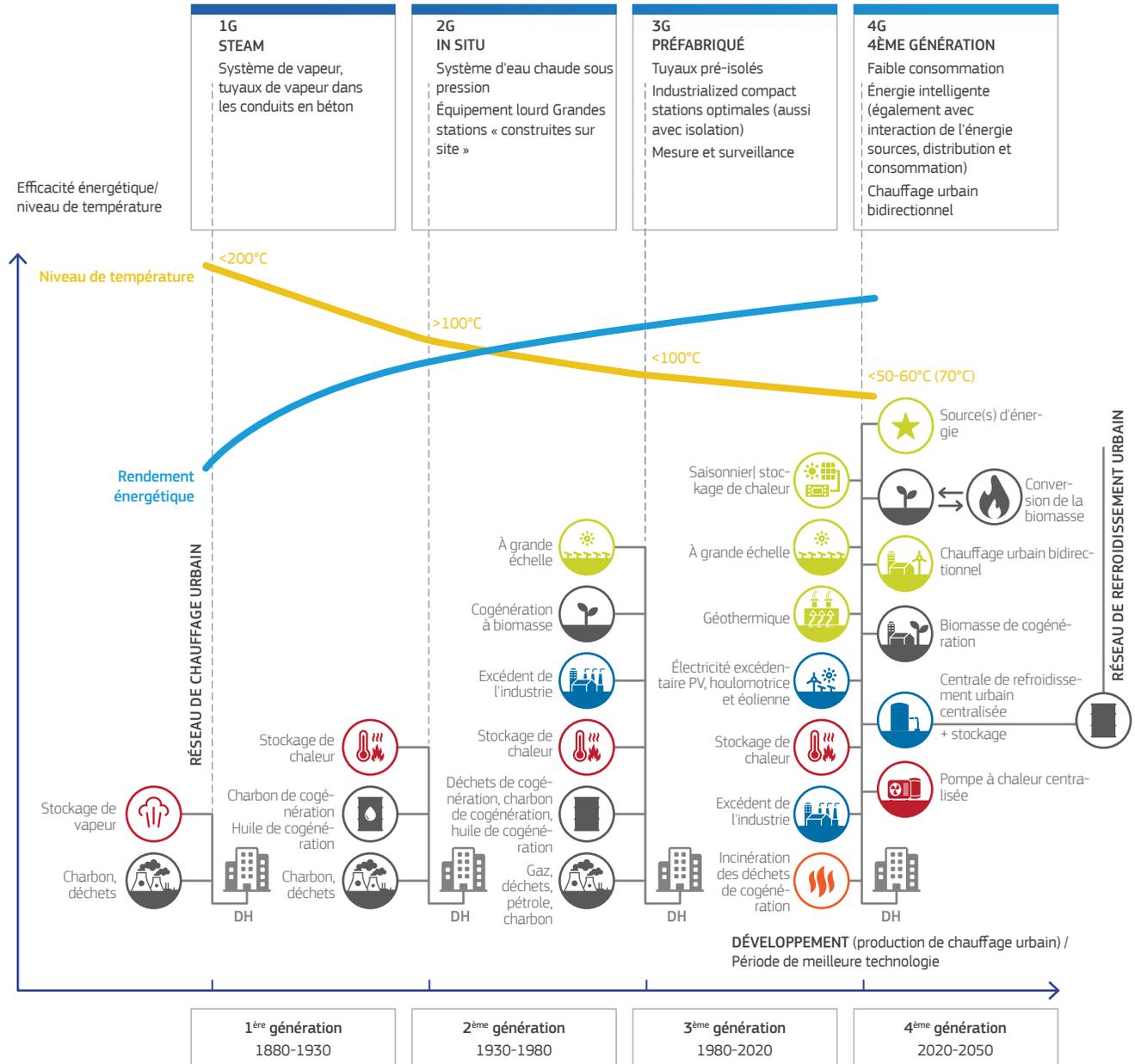
**ASPECTS
TECHNIQUES**

ASPECTS TECHNIQUES

Évolution technologique

Le développement des systèmes de chaleur et de froid urbain a progressivement atteint des niveaux d'efficacité plus élevés, une diversification plus large des sources de chaleur et de froid et un potentiel accru d'intégration avec le réseau électrique. C'est une conséquence directe des technologies et des processus qui ont progressivement permis l'utilisation de températures de fonctionnement plus basses.

Les systèmes de conversion constituent une solution peu coûteuse pour créer la flexibilité nécessaire à l'intégration de niveaux élevés d'énergie renouvelable variable dans le réseau électrique. Par exemple, grâce à la conversion de l'énergie en chaleur et en électricité avec stockage, à la gestion intelligente des systèmes et à la flexibilité de la demande. L'échange intelligent entre les réseaux électriques et les réseaux thermiques est mieux connu sous le nom de couplage sectoriel.



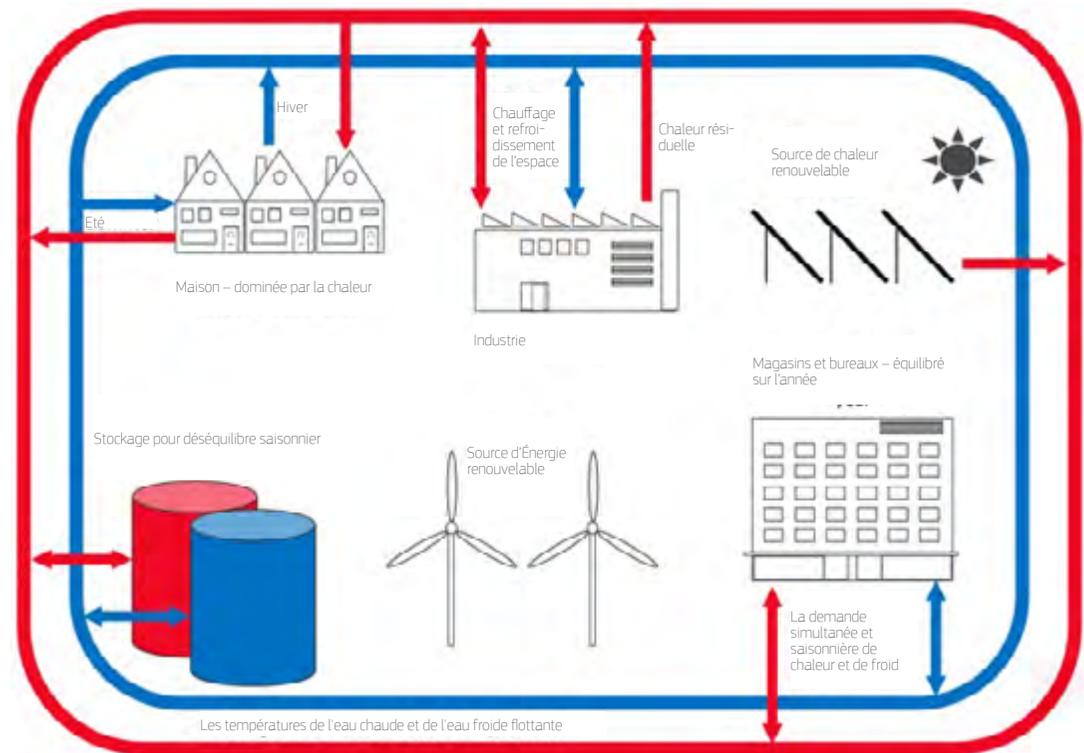
Évolution historique des réseaux énergétiques urbains. Adapté de l'Université d'Aalborg et de ©Aalborg University and Danfoss District Energy, 2014

Les systèmes dits de quatrième génération sont situés plus près des centres de charge et des générateurs que les centrales électriques traditionnelles, et la nature distributive et l'échelle de ces systèmes permettent un cadre plus nodal et semblable à une toile, améliorant l'accessibilité au réseau grâce à de multiples points.

Les systèmes de chaleur et de froid urbains de cinquième génération sont ceux qui, grâce à des systèmes d'énergie renouvelables locaux, permettent de récupérer la chaleur générée par le refroidissement et le froid généré par le chauffage. Comme le système est non linéaire, bidirectionnel et décentralisé, il permet aux consommateurs d'être des producteurs. Lorsque les demandes de chaleur et de froid sont de taille similaire, cela peut créer un système presque circulaire. (Source: ADGEO)

Cependant, les systèmes de chaleur et de froid urbains de cinquième génération sont souvent considérés comme une sous-classe des systèmes de quatrième génération, car ils peuvent être à bien des égards moins bénéfiques que les systèmes de quatrième génération si l'on ne considère que le chauffage. (Source: IEA DHC)

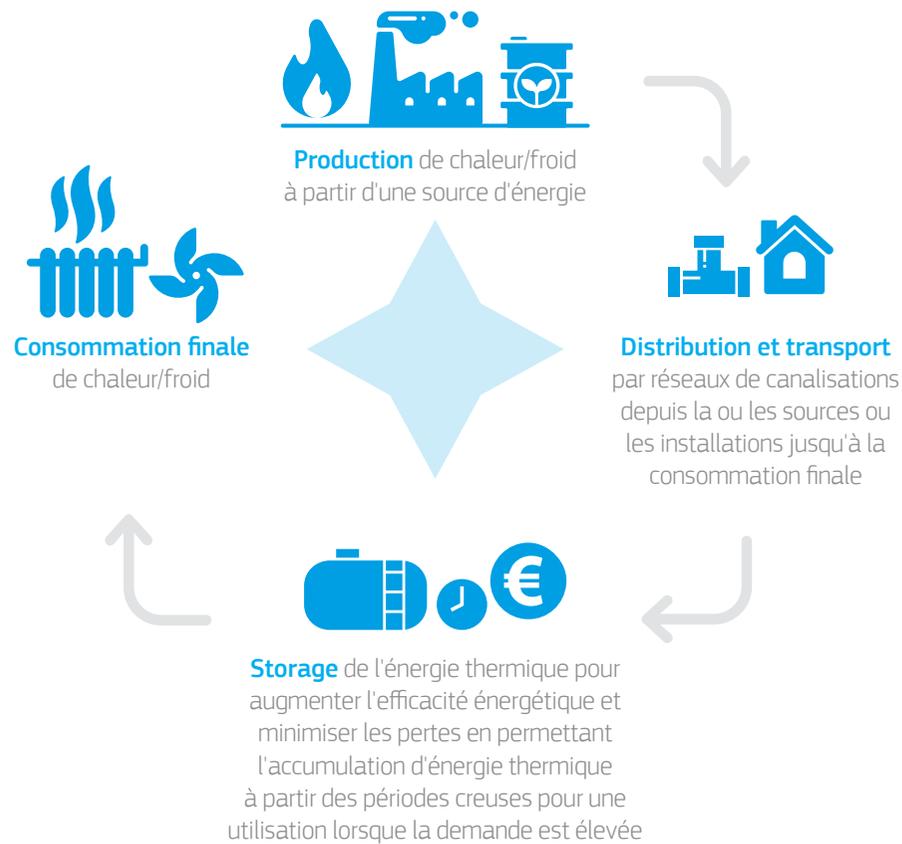
Le projet « **D2GRIDS project** » vise à développer la cinquième génération. Les systèmes de chaleur et de froid urbains de cinquième génération en Europe. L'objectif est de maximiser le part des énergies renouvelables dans ces énergies locales boucles, par une industrialisation de la démarche, un modèle technologique standardisé et une le modèle d'affaires pour renforcer le intérêt de ces projets pour les investisseurs tiers.



Une représentation circulaire d'un système de chaleur et de froid urbain de cinquième génération.
© « **5th generation district heating and cooling systems as a solution for renewable urban thermal energy supply** », 2019

Composants et technologies

Selon leurs principales fonctions, les systèmes de chaleur et de froid urbains peuvent être divisés en **quatre parties différentes** :



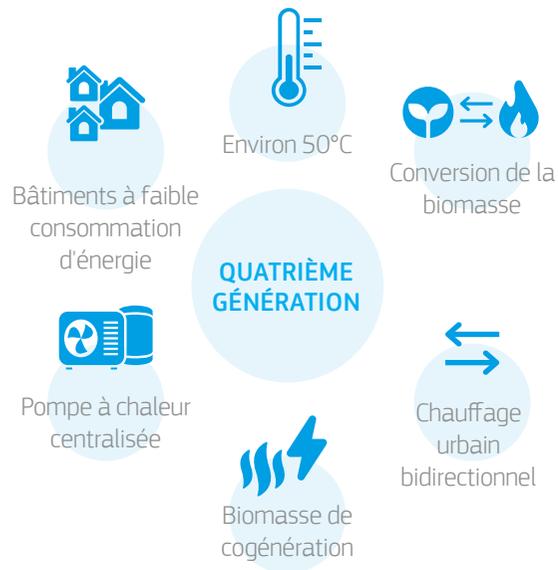
Dans le cadre du projet européen « **City-ZEN** », la ville de Grenoble a mis en œuvre différentes solutions de stockage telles que le stockage saisonnier avec des forages géothermiques secs, le stockage centralisé de matériaux à changement de phase pour aider à répondre aux pics de demande de chauffage et de production solaire thermique couplé à des solutions de stockage de matériaux à changement de phase (PCM).

La réalisation d'un chauffage et d'un refroidissement urbains modernes et durables commence par la source d'énergie. Les systèmes de chaleur et de froid urbains de nouvelle génération tendent vers une production décentralisée de chaleur et de froid, en tirant parti de toutes les sources d'énergie locales disponibles, dont beaucoup sont renouvelables ou résiduelles et produisent un minimum d'émissions de gaz à effet de serre.

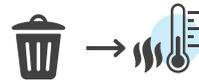
Technologies pour le chauffage urbain

Les réseaux de chaleur urbains actuels permettent d'utiliser diverses sources de chaleur qui sont autrement gaspillées, ainsi que de la chaleur renouvelable.

Les systèmes modernes de quatrième génération fonctionnent à des températures plus basses (généralement autour de 50 à 60 °C), ce qui réduit les pertes de chaleur par rapport aux générations précédentes et permet de se brancher aux zones où les bâtiments à faible demande d'énergie. Les systèmes de quatrième et cinquième génération peuvent utiliser diverses sources de chaleur, y compris la chaleur résiduelle de faible qualité, et peuvent également permettre aux consommateurs de fournir de la chaleur.



Les principales technologies de production de chaleur actuellement utilisées sont les suivantes :



Valorisation énergétique des déchets :

Le contenu énergétique des déchets solides municipaux est réutilisé par l'incinération dans une usine pour la production de chaleur.

Cette technologie produit de la chaleur à faible coût et peut également être associée à la production d'électricité. La technologie fait souvent partie dans le développement initial du réseau de chaleur urbain d'une ville. De plus, les incinérateurs modernes réduisent la pollution atmosphérique potentielle.



Récupération de la chaleur résiduelle :

La chaleur résiduelle des processus industriels à proximité, ainsi que la chaleur de faible des eaux usées, peuvent être réutilisées dans un réseau de chaleur urbain.

L'efficacité énergétique de l'ensemble du système, dans le cadre d'une économie circulaire est augmenté grâce à ce système. En règle générale, ces sources de chaleur résiduelle ne garantissent pas l'approvisionnement et peuvent nécessiter un certain degré de redondance dans le système.

Le projet [THUNDER](#) vise à surmonter les obstacles qui empêchent une large adoption des stratégies de récupération de la chaleur perdue des centres de données, en proposant un stockage thermique saisonnier innovant, efficace et rentable, basé sur des matériaux thermo-chimiques.

Dans le cadre du projet [Pitagoras](#), une usine pilote à Brescia qui utilise la récupération de la chaleur résiduelle à haute température (~600 °C) d'une fonderie d'acier et une unité à cycle organique de Rankine de 2,1 MWe pour la production de chaleur et d'électricité, est accordée au réseau de chaleur urbain de la ville.

Grâce au projet [Growsmarter](#), la ville de Stockholm utilise la chaleur résiduelle du système d'égouts, des centres de données, et des réfrigérateurs et congélateurs des supermarchés pour fournir le réseau de chaleur urbain de la ville.

Le [Islington Council's Bunhill Heat and Power Network](#) (BHPN) du conseil municipal d'Islington est le premier projet au monde à prendre la chaleur résiduelle d'un réseau de métro et à l'utiliser pour fournir une chaleur plus écologique et moins coûteuse aux maisons, écoles et centres de loisirs locaux.

Biomasse/Biogaz :

Les systèmes de biomasse et de biogaz créent de l'énergie à partir de matières organiques renouvelables. Afin d'être durable, la biomasse utilisée provient de préférence de flux de déchets ou d'une production durable locale.



Les ressources autres que les déchets peuvent être utilisées si une évaluation de l'impact environnemental prouve leur durabilité. Les matériaux autrefois considérés comme des déchets, tels que les déchets de construction en bois propre et d'autres sources de résidus de bois (tas de rémanents et combustible de porc), peuvent être utilisés à bon escient. Le méthane produit par la décomposition des ordures et du fumier peut être rassemblé et utilisé dans une centrale électrique afin de produire de l'électricité et de la chaleur, ou d'être vendu comme source de gaz naturel renouvelable. La combustion, éventuellement combinée à la gazéification préalable de la biomasse résiduelle du bois ou des flux de déchets de biomasse humide, dégage de l'énergie thermique sous forme de vapeur ou d'eau chaude. Comme la chaleur produite a une température élevée, elle peut être utilisée à la fois pour le chauffage et pour la production d'électricité (à l'aide d'une centrale de cogénération).

Dans le cadre du projet [SmartEnCity](#), Vitoria-Gasteiz déploie un nouveau réseau de chauffage urbain à la biomasse (copeaux de bois) doté de capacités avancées de gestion et de contrôle intégrant l'offre et la demande.

Géothermique

Les installations géothermiques utilisent l'énergie thermique sous la surface de la terre. Ils peuvent être classés en fonction de leur profondeur comme les systèmes géothermiques peu profonds, moyens ou profonds.



Ces installations exploitent la chaleur du sol environnant ou d'un aquifère, avec des températures allant d'une température minimale de 10 °C à plus de 200 °C à des fins de chauffage. La source géothermique peut être utilisée directement pour le réseau ou, si la température est trop basse, utilisée avec une grande pompe à chaleur. Il s'agit d'une technologie renouvelable, présente partout et respectueuse de l'environnement, avec une stabilité opérationnelle et une durée de vie élevées, mieux orientée vers la production de chaleur de base. Les ressources à moyenne et haute température ne sont disponibles que dans certaines régions et présentent des coûts d'investissement initiaux élevés et une incertitude relative quant à la disponibilité des ressources. Des modèles financiers et des instruments de réduction des risques sont nécessaires pour surmonter ces obstacles et permettre le développement de projets et une exploitation sur une durée de vie de plus de 30 ans avec de faibles coûts d'exploitation et de maintenance.

Solaire thermique

L'énergie photovoltaïque peut être récupérée avec des capteurs solaires thermiques et utilisée pour alimenter un système de chaleur urbain.



Différentes technologies de capteurs solaires (plaque plate, tube à vide, plaque plate à double couverture, capteur solaire à plaque plate sous vide) peuvent être utilisées en fonction de la température de chauffage urbain. L'énergie solaire étant intermittente, et variable selon les saisons, les réseaux de chaleur urbains utilisant l'énergie solaire sont généralement combinés à d'autres combustibles ou à des systèmes de stockage saisonniers, ce qui permet de déplacer la fourniture de chaleur solaire des périodes de production plus élevée et de demande plus faible vers des saisons de demande plus élevée. La configuration flexible des capteurs solaires (par exemple, champ solaire ou distribution sur différents bâtiments d'une zone urbaine) peut également faciliter la décentralisation des systèmes. La chaleur solaire est déjà utilisée dans plus de 270 villes européennes pour soutenir la production de chaleur 100 % sans émissions.

L'énergie solaire collectée à partir de panneaux photovoltaïques produisant de l'électricité peut également être utilisée dans des systèmes de chaleur et de froid urbains, en combinaison avec des chaudières électriques ou des pompes à chaleur, et des solutions de stockage de chaleur, en particulier dans les nouveaux réseaux. Cette façon de coupler les systèmes d'électricité et de chauffage peut aider à gérer efficacement l'intermittence du solaire photovoltaïque (et d'autres sources d'électricité renouvelables comme l'éolien) à un coût abordable. La dépendance au soleil ou au vent signifie qu'une source de charge de secours/de pointe est nécessaire.

Chaudières de chauffage urbain

Les chaudières brûlent des combustibles fossiles (gaz naturel, produits pétroliers, charbon) ou des combustibles renouvelables (biomasse, biogaz) pour produire de la chaleur. Il s'agit d'une technologie flexible, utilisée pour couvrir les charges de base avec des émissions minimales de CARBONE (grâce à des combustibles renouvelables d'origine durable et locale) et pour assurer l'approvisionnement en charge de pointe (gaz, pétrole, charbon).



Cogénération

Cette technologie produit simultanément de l'électricité et de la chaleur. Les turbines de production d'électricité peuvent être alimentées par des énergies fossiles ou renouvelables combustibles dans des installations centralisées de taille moyenne à grande, et l'excès de chaleur peut être utilisé dans un réseau de chauffage urbain environnant. Il peut fonctionner pour suivre à la fois la demande de chaleur ou les prix de l'électricité et est mieux utilisé en combinaison avec les technologies de stockage de chaleur.



« Une combinaison entre l'énergie éolienne ou photovoltaïque, les pompes à chaleur et le stockage du froid et de la chaleur semble être la voie à suivre dans les systèmes urbains, dont les prix sont actuellement similaires à ceux d'un approvisionnement en chaudières à base de biomasse. »

Per Alex Sørensen, consultant systèmes de chaleur et de froid urbains chez PlanEnergi



Courtrai Weide, un projet réseau de chaleur et de froid urbain en Belgique. ©Agata Smok



©Agata Smok



©Agata Smok

Pompes à chaleur

Les pompes à chaleur utilisent l'électricité pour extraire la chaleur de sources gratuites et renouvelables à basse température (air ambiant, eau, sol, chaleur résiduelle). Ils ont besoin d'une petite quantité d'énergie pour transformer l'énergie thermique gratuite en énergie à des niveaux de température utiles.



Il existe de nombreux types de pompes à chaleur qui pourraient être utilisés, mais ils ont tous en commun d'avoir besoin d'une source de chaleur et d'énergie à basse température. Bien que la chaleur à haute température puisse être fournie par des pompes à chaleur spécifiques, l'efficacité est meilleure avec une élévation à basse température. La pompe à chaleur fonctionne sur quatre grands principes : l'état liquide ou gazeux, la température, la pression et le volume.

Les réfrigérateurs sont un exemple courant de cette technologie : la petite pompe à chaleur installée dans les réfrigérateurs extrait la chaleur de l'air à basse température à l'intérieur du réfrigérateur et libère la chaleur à travers l'échangeur de chaleur à l'arrière d'un réfrigérateur vers l'air de la cuisine.

Il existe différents types de pompes à chaleur en fonction de la source d'énergie utilisée :

- **Les pompes à chaleur aérothermiques utilisent l'air extérieur ou de ventilation pour le chauffage, la climatisation et l'eau chaude sanitaire.** Ils peuvent être installés à l'intérieur, à l'extérieur ou avec des unités à l'intérieur et à l'extérieur.
- Les pompes à chaleur à eau extraient efficacement l'énergie des eaux souterraines, de surface ou de mer/eaux usées.
- **Les pompes à chaleur géothermiques extraient la chaleur du sol ou des eaux souterraines par un échangeur de chaleur de forage.** Au cours du processus, la chaleur est transférée à un réfrigérant dans une unité de pompe à chaleur, ce qui élève encore la température pour la distribution dans le réseau de chauffage urbain.
- **Les pompes à chaleur électriques sont courantes, alimentées par l'électricité pour les cycles de compression, qui peuvent être connectées à des sources renouvelables pour la durabilité.** Combinées à de grands accumulateurs thermiques, à des chaudières électriques et à la cogénération, les pompes à chaleur contribuent à réduire la demande globale d'électricité pour le chauffage et le refroidissement en intégrant des sources de chaleur non électriques.

Comme la température des réseaux de chaleur et de froid urbains ainsi que la demande de température des bâtiments varient, différentes configurations de réseaux de chaleur entraînés par pompe à chaleur ont été développées. Les différentes configurations possibles sont :

- **Pompe à chaleur urbaine :** une pompe à chaleur centrale, un réseau de chauffage urbain et des échangeurs de chaleur dans les différents bâtiments.
- **Pompes à chaleur de bâtiment :** avoir la basse température distribuée dans un réseau, en la combinant avec une pompe à chaleur au niveau du bâtiment pour plusieurs utilisateurs dans le bâtiment.
- **Pompes à chaleur individuelles :** le réseau de chauffage urbain distribue la chaleur basse température et les utilisateurs individuels disposent chacun de leur propre pompe à chaleur.
- **Combinaison :** une combinaison des systèmes précédents permet une flexibilité encore plus grande pour répondre aux besoins de chauffage de différents consommateurs finaux et optimiser le fonctionnement et l'efficacité du réseau.

Les pompes à chaleur ont un taux d'efficacité élevé (qui dépend de la différence entre la température de la source utilisée et la température souhaitée). Certains modèles sont réversibles, capables de produire à la fois du chauffage et du refroidissement. De plus, l'utilisation de pompes à chaleur favorise les synergies avec le réseau électrique. En combinaison avec le stockage thermique à l'échelle de la ville, les grandes pompes à chaleur peuvent absorber l'électricité renouvelable excédentaire (pour une utilisation directe ou différée) et moduler la production pour assurer l'équilibrage du réseau et offrir une flexibilité hebdomadaire ou même saisonnière.

Certains des avantages des systèmes de chauffage urbain par pompe à chaleur comprennent : la diminution des pertes thermiques ; permettre aux consommateurs finaux de jouer un rôle plus actif dans le système énergétique ; des modèles de tarification alternatifs avec une moindre dépendance aux prix de l'électricité ; inclure la chaleur résiduelle ; utiliser toutes sortes de flexibilité thermique dans le réseau thermique, créer des emplois locaux ; contribuer à l'amélioration de la qualité de l'air en évitant l'utilisation de combustibles fossiles ; une part accrue des énergies renouvelables.

Les pompes à chaleur offrent une solution puissante et efficace pour exploiter les sources d'énergie thermique renouvelables, favorisant ainsi la transition vers des systèmes de chaleur et de froid durables. En s'intégrant aux réseaux de chaleur et de froid urbains, ils réduisent la dépendance aux combustibles fossiles, améliorent la qualité de l'air et créent de nouvelles opportunités de flexibilité énergétique et de création d'emplois locaux.

Dans le cadre du projet [REWARDwHeat](#), le site de démonstration d'Helsingborg comprend un sous-réseau basse température nouvellement construit qui utilise un système de stockage d'énergie thermique saisonnier avec une pompe à chaleur centralisée. Le réseau fournira de l'eau chaude sanitaire et du chauffage à quatre bâtiments résidentiels (110 unités) et à un immeuble de bureaux. L'immeuble de bureaux disposera également d'un système de refroidissement urbain. Le réseau est composé d'un système de distribution à 4 tubes qui fonctionne à 40 °C pour le chauffage des locaux et à 60 °C pour fournir de l'eau chaude résidentielle.



Helsingborg, Suède ©Hanseric Orre, Unsplash

Technologies pour le refroidissement urbain

Le refroidissement urbain peut être plus de deux fois plus efficace que les refroidisseurs décentralisés traditionnels tels que les unités de climatisation. Il peut réduire considérablement la consommation d'électricité pendant les périodes de pointe grâce à une consommation d'énergie réduite et à l'utilisation du stockage thermique. L'utilisation de technologies de refroidissement naturel peut encore améliorer ces avantages.

L'intégration de réseaux de chaleur et de froid est rendue possible par les technologies actuelles. Cela facilite l'importance croissante du refroidissement urbain à mesure que la demande de refroidissement augmente dans le monde entier, que les dépenses en services énergétiques augmentent, que les effets du changement climatique deviennent perceptibles (vagues de chaleur, mais aussi hausse de la température moyenne) et que la population des villes augmente. L'adoption de systèmes de refroidissement urbain en milieu urbain peut également contribuer à réduire l'utilisation de réfrigérants nocifs pour l'environnement tels que les hydrochlorofluorocarbures (HCFC) et les hydrofluorocarbures (HFC). Les deux réfrigérants sont l'une des principales causes de l'appauvrissement de la couche d'ozone et présentent en même temps de forts potentiels de réchauffement planétaire.

Les principales technologies actuellement utilisées pour le refroidissement urbain sont les suivantes :

Refroidisseurs électriques

Les refroidisseurs électriques utilisent l'électricité pour alimenter un cycle de réfrigération à compression de vapeur.

Par rapport à la climatisation décentralisée, ils ont en moyenne un meilleur rendement et utilisent des réfrigérants ayant un potentiel de réchauffement planétaire moins élevée.



Refroidisseurs à absorption

Ce type de refroidisseurs utilise la chaleur excédentaire de différents procédés (chaleur industrielle, incinération des déchets, utilisations commerciales, chaleur solaire),

atteindre une efficacité énergétique élevée et utiliser des réfrigérants respectueux de l'environnement. Il est fréquemment combiné avec la cogénération pour ajuster son fonctionnement en fonction des variations saisonnières. Cette technologie peut être combinée avec les réseaux de chauffage urbain, car la chaleur du réseau est utilisée pour le système d'absorption du bâtiment afin de fournir le refroidissement.

À l'hôpital **AZ St.-Jan** de Bruges, Ingenium a développé un système de réfrigération d'une capacité de 4,8 MW, en transformant la chaleur résiduelle des incinérateurs de l'usine locale de traitement des déchets en eau glacée à un régime de 6/12°C au moyen de refroidisseurs à absorption.

Refroidissement naturel

Cette technologie utilise des sources naturelles (plans d'eau principalement) ou des déchets. Disponibilité saisonnière de la ressource et besoin de permis environnementaux et les coûts associés doivent être pris en compte.



Dans le cadre du projet **READY**, la ville de Växjö (Suède) a accordé deux réseaux de refroidissement urbains afin d'augmenter l'apport de sources d'énergie renouvelables et d'augmenter la quantité de chaleur résiduelle utilisée dans le système. L'intégration du réseau de chauffage urbain et du réseau de refroidissement urbain est réalisée avec des machines de refroidissement par absorption, ce qui permet de produire du froid avec de la chaleur lorsque le prix de l'électricité est élevé et de produire du froid avec de l'électricité lorsque le prix est bas.

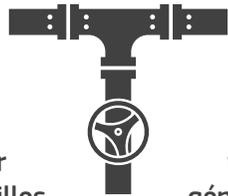


Växjö, Suède ©Nazrin Babashova, Unsplash

Distribution

Les réseaux de distribution gèrent l'acheminement de la chaleur vers les utilisateurs finaux et le retour du produit à basse température vers l'installation de production de chaleur. Plusieurs configurations peuvent être utilisées en fonction des besoins spécifiques (échelle, température, pression de service, raccordement au bâtiment). Les réseaux de chaleur et de froid urbains diffèrent par leur taille, leur disposition et leurs conditions dans les villes et les zones urbaines du monde entier.

La tuyauterie est souvent la partie la plus coûteuse des réseaux de distribution et consiste généralement en une combinaison de tuyaux pré-isolés et isolés sur le terrain (les plus gros tuyaux sont principalement isolés sur le terrain et les tuyaux locaux sont principalement pré-isolés) dans les applications de tunnel en béton et d'enfouissement direct. L'investissement initial pour le réseau de transport et de distribution, qui constitue généralement la majeure partie du coût d'investissement de l'ensemble du système, varie souvent de 50 % à 75 % du coût total des systèmes de chaleur ou de froid urbains. Le coût initial étant élevé dans les systèmes de distribution, il est important d'optimiser son aménagement et son utilisation. L'adoption progressive de réseaux à basse température et de pression, ainsi que l'utilisation plus répandue de tuyaux isolés et de technologies de détection des fuites, ont permis de réduire les pertes de chaleur et d'augmenter considérablement l'efficacité de la distribution de la chaleur.



Stockage

Les technologies de stockage de chaleur sont essentielles pour les systèmes de chaleur et de froid urbains actuels. Ils contribuent à réduire les écarts entre la demande et la production de chaleur causés à la fois par le décalage horaire dû à l'intermittence des sources de production de chaleur (par exemple, l'énergie solaire) ou par les fluctuations des coûts de l'énergie thermique tout au long de la journée. En général, le stockage de la chaleur peut également permettre un fonctionnement plus stable et plus efficace de la production de chaleur, et une meilleure intégration des sources d'énergie renouvelables variables dans le système électrique grâce au couplage sectoriel.

Les technologies de stockage de chaleur offrent de nombreuses options, qui doivent être soigneusement évaluées en fonction des spécificités de conception et des exigences opérationnelles de chaque cas : l'énergie thermique peut être stockée quotidiennement ou même de manière saisonnière, ce qui permet de découpler la demande et la production de chaleur et de fournir la chaleur de la manière la plus rentable. Il existe plusieurs technologies disponibles pour cela, qui peuvent être classées en fonction du phénomène physique utilisé pour le stockage de la chaleur (stockage de chaleur sensible, latente ou chimique), de l'emplacement dans le réseau (centralisé ou distribué) ou de la durée du stockage (stockage quotidien ou saisonnier).

Alors que les technologies de stockage de la chaleur latente et chimique sont actuellement moins développées, le stockage de la chaleur sensible (où l'on tire parti des changements de température du matériau de stockage) est le plus mature et le plus largement utilisé pour le stockage à court terme (quotidien, par exemple, les réservoirs d'eau) ou saisonnier (par exemple, forages, réservoirs/fosses, aquifères).

De plus, la masse de construction des bâtiments peut être activement utilisée pour stocker le chauffage pendant une période plus courte. L'eau et la tuyauterie du réseau thermique peuvent également être utilisées pour le stockage à court terme. Un contrôle intelligent des options de stockage est important dans ce cas.⁵



Le projet [RE/SOURCED](#) de Transfo à Zwevegem, en Belgique, est une ancienne centrale électrique qui a cessé sa production en 2001. La commune de Zwevegem est devenue propriétaire du site et depuis lors, trois partenaires (la commune de Zwevegem, l'organisation intercommunale Leiedal et la province de Flandre occidentale) ont uni leurs forces pour réformer l'ensemble du site : des bâtiments ont été restaurés et de nouveaux partenaires ont été recrutés pour donner au site une nouvelle fonction significative. ©leiedal.be

⁵ Further reading: [STORM District Energy Controller](#)

Consommation finale

Outre la production, la distribution et le stockage de chaleur, l'équipement intérieur nécessaire à la consommation de l'utilisateur final doit également être pris en compte.

Il y a deux composants principaux pour l'installation du client :



- Le système de distribution de chaleur à l'intérieur du bâtiment (radiateurs, tuyaux), qui peut varier.
- La sous-station reliant le réseau de distribution général au système de distribution de chaleur à l'intérieur du bâtiment. Un échangeur de chaleur transfère la chaleur du réseau de distribution au système du bâtiment et peut être couplé à des équipements supplémentaires tels que comme réservoirs individuels de stockage ou d'accumulation de chaleur, ou comme pompe à chaleur pour l'augmentation de la température dans le cas de réseaux à basse température. Les systèmes de contrôle et de facturation sont souvent installés avec la sous-station. Dans les maisons, des unités d'interface de chauffage individuelles sont utilisées pour contrôler le flux de chaleur vers le système de chauffage individuel (par exemple, radiateurs, chauffage par le sol) et l'eau chaude sanitaire.



Intégration architecturale d'un réservoir de stockage d'eau de chauffage urbain à Hildesheim. La couleur de l'éclairage passe du rouge au bleu en fonction de la quantité d'énergie stockée dans le réservoir. ©Lighting design

Numérisation des systèmes énergétiques urbains

Les technologies numériques sont intégrées aux systèmes énergétiques urbains afin de les rendre plus intelligents, plus efficaces et plus fiables. Ils contribuent également à renforcer l'intégration des sources renouvelables dans le système, ainsi que l'interconnexion avec le réseau électrique. À l'avenir, les systèmes de gestion intelligents permettront aux réseaux de chaleur et de froid urbains d'optimiser pleinement l'exploitation de leurs installations et de leurs réseaux tout en responsabilisant le consommateur final. Ces infrastructures connectées seront utilisées aussi efficacement que possible, chronométreront leur production en fonction de la demande prévue et maximiseront l'utilisation des sources d'énergie renouvelables et de chaleur résiduelle et l'utilisation de la flexibilité thermique.

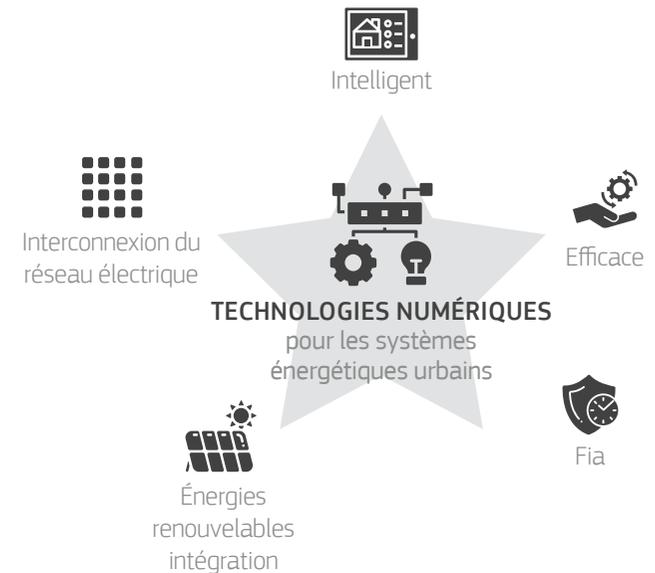
La numérisation permet...

Au niveau de la production :

- L'intégration simultanée entre les systèmes de contrôle de la production et de la consommation.
- Un rôle actif des consommateurs dans le choix des tarifs et contribuer à la gestion de la demande.
- Le pouvoir des gestionnaires de réseau doit avoir le d'exploiter eux-mêmes les sous-stations, afin qu'ils puissent contrôler la demande avec un degré de liberté supplémentaire pour optimiser l'efficacité au niveau du système.
- Une flexibilité accrue et le développement de modèles de prévision efficaces du réseau grâce à des approches d'apprentissage automatique et à des modèles en temps réel axés sur les données.

Au niveau de la distribution :

- La supervision automatisée de la détection des pannes pour reconnaître les anomalies dans les réseaux et les sous-stations des bâtiments.
- Le développement de jumeaux numériques auto-apprenants avancés, basés sur des réseaux de neurones artificiels, des réseaux thermo-hydrauliques avec lesquels on peut :
 - Surveiller et exploiter le réseau à distance
 - Simuler et évaluer des scénarios d'exploitation et de rénovation
 - Tester de nouveaux algorithmes de fonctionnement et évaluer leurs performances avant leur mise en œuvre physique.



Au niveau du bâtiment :

- Le développement de la connexion entre l'optimisation opérationnelle du réseau et les régulateurs de chauffage efficaces (impliquant une gestion de la demande, par exemple par le biais d'un tampon thermique dans la structure du bâtiment et de stockages (d'eau) décentralisés).
- Le matériel/logiciel de communication et de gestion des données rentable des sous-stations.
- Le développement de solutions de contrôle intégrées permettant le fonctionnement efficace de solutions hybrides combinant des pompes à chaleur et individuelles.

Le projet **STORM** développe un contrôleur de réseaux de chaleur et de froid urbains innovant, basé sur des algorithmes d'auto-apprentissage, afin de maximiser l'utilisation de la chaleur résiduelle et des sources d'énergie renouvelables dans les réseaux de chaleur et de froid urbains. Ce contrôleur est testé et évalué sur deux sites de démonstration, Mijwater BV à Heerlen (Pays-Bas) et Växjö Energi à Rottne (Suède).

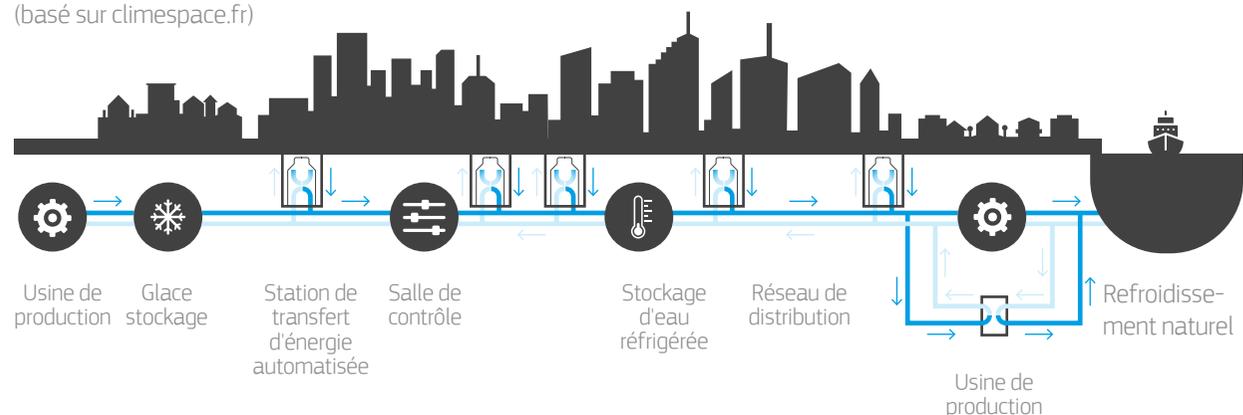
THERMOS est un logiciel de planification énergétique gratuit basé sur le Web qui fournit une analyse précise des options de réseau de chaleur et de froid instantanément dans un seul outil Web convivial. Développé par le projet THERMOS financé par l'UE, le logiciel est conçu pour optimiser les processus de planification des réseaux énergétiques urbains locaux afin de faciliter le déploiement de nouveaux systèmes de chauffage et de refroidissement à faible émission de carbone et une mise à niveau, une rénovation et une extension rapides des systèmes existants.

PATHOPT est une boîte à outils d'optimisation pour les réseaux thermiques qui permet de déterminer automatiquement la disposition optimale du réseau en fonction d'informations géographiques spécifiques.

« La numérisation est essentielle à l'évolution de ces systèmes ; Nous pouvons améliorer de 10 à 20% leur efficacité en surveillant les fuites, les pertes de chaleur, de meilleures configurations d'isolation. La prochaine étape consiste à utiliser la numérisation pour influencer la demande (alarmes, incitations) afin de réduire les pics de charge. »

Frank Soons, responsable du développement durable et de l'innovation chez Ennatuurlijk

Principe du refroidissement urbain
(basé sur climespace.fr)





**MODÈLES
D'AFFAIRES ET
FINANCEMENT**

MODÈLES D'AFFAIRES ET FINANCEMENT

Description – potentiels modèles d'affaires

Le modèle d'affaires d'un système de chauffage urbain est très spécifique au projet. Il doit s'assurer que tous les acteurs concernés – y compris les investisseurs, les propriétaires, les opérateurs, les services publics/fournisseurs, les consommateurs finaux et les municipalités – peuvent obtenir des rendements financiers, en plus d'autres avantages qu'ils pourraient rechercher, comme de faibles coûts énergétiques.

La présentation d'approches innovantes de villes peut servir d'exemple pour les planificateurs dans le développement et la structure financière d'un système énergétique urbain. La catégorisation de ces approches peut aider les planificateurs à identifier les similitudes qui peuvent s'appliquer à leurs propres villes et à distinguer des circonstances spécifiques.

Lors de la conception d'un modèle d'affaires pour un nouveau système énergétique urbain, il convient de tenir compte des circonstances propres au site, y compris le type de financement de projet disponible. La plupart des modèles commerciaux pour les réseaux de chaleur et de froid urbains impliquent le secteur public dans une certaine mesure, que ce soit en tant que décideur politique local, planificateur, régulateur ou consommateur, ou plus directement par la propriété partielle ou totale des projets.

L'implication du secteur public peut être essentielle pour coordonner divers projets autour d'une vision plus large à l'échelle de la ville. Même les projets bénéficiant d'un degré élevé de contrôle du secteur privé sont souvent facilités ou soutenus par le secteur public. Bien que les modèles d'affaires et les structures de propriété décrits ici varient considérablement, ils peuvent être regroupés le long d'un continuum allant du public au privé.

L'implication du secteur public ou privé dépend en gros de trois facteurs :

1. Le retour sur investissement pour les investisseurs du projet,
2. Le degré de contrôle et de tolérance au risque pris par le secteur public,
3. Le cadre réglementaire.



©Gary Stearman, Unsplash

Retour sur investissement



Le retour sur investissement est une mesure financière qui dépend à la fois du taux de rendement interne (TRI) et du coût moyen pondéré du capital (CMPC) d'un projet. Le TRI est extrêmement spécifique au site et est initialement élaboré par le promoteur du projet, qui peut être une société d'énergie urbaine privée ou un service public privé, ou un organisme public tel qu'une autorité locale ou un service public.

Le TRI dépendra des coûts et des revenus du projet. Le CMPC dépend du profil de risque du projet et de ses sponsors actuels et futurs, ainsi que du ratio d'endettement de sa structuration financière. En règle générale, alors que les investisseurs du secteur privé se concentreront principalement sur le TRI financier d'un projet donné, le secteur public, en tant qu'autorité locale ou service public, représentera également des coûts et des avantages socio-économiques supplémentaires qui sont extérieurs au financement standard des projets.

« Les coûts d'investissement initiaux sont élevés et constituent un obstacle potentiel important. S'il y a une analyse de rentabilisation privée, tout est plus facile (..) Il est important de garder à l'esprit que les systèmes de distribution (tuyaux) sont le composant le plus coûteux. La première estimation économique doit prendre en compte un pré-calcul en fonction du système de tuyauterie ; sinon cela entraînera trop d'incertitude »

Alex Sørensen, consultant systèmes de chaleur et de froid urbains chez PlanEnergi

Qu'est-ce que le taux de rendement interne (TRI) ?

Le TRI est le taux d'intérêt auquel le taux d'intérêt net de tous les flux de trésorerie (positifs et négatifs) d'un projet ou d'un investissement égal à zéro. Le TRI permet d'évaluer l'attractivité des un projet ou un investissement. Si le TRI d'un nouveau projet dépasse le taux de rendement exigé d'une société, qui est souhaitable. Si le TRI tombe en dessous de la valeur taux de rendement requis, le projet sera rejeté.

Qu'est-ce que le CMPC ?

Le CMPC est le taux de rendement moyen qu'une entreprise s'attend à rémunérer pour tous ses différents investisseurs. Les pondérations sont les fractions de chaque source de financement dans la structure de capital cible de l'entreprise.

Degré de contrôle et tolérance au risque par le secteur public

Le secteur public peut souhaiter orienter un projet de chaleur ou de froid urbain vers divers objectifs locaux, notamment une énergie locale moins chère pour les clients publics, privés et/ou résidentiels ; la création d'emplois locaux ; la rétention de la richesse locale ; la production d'électricité à faible émission de carbone et l'apport d'énergie renouvelable ; et/ou la réduction de la pollution atmosphérique locale.

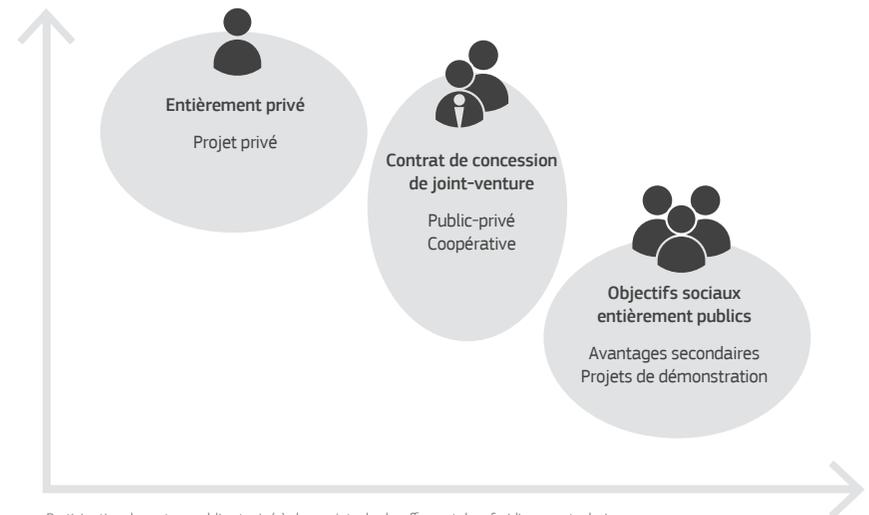
En quantifiant ces objectifs par modélisation économique, il est possible de réaliser un retour sur investissement supplémentaire en dehors de la modélisation financière standard. De tels avantages sont également appelés avantages secondaires et incitent fortement les autorités publiques à investir dans la valeur sociétale au-delà d'une simple analyse de rentabilisation financière, augmentant ainsi le risque financier qu'une autorité locale pourrait être prête à admettre (tolérance au risque), par rapport à un investissement principalement privé. Les autorités locales peuvent avoir un intérêt particulier à contrôler le déploiement des infrastructures de chaleur et de froid urbains en vue de réaliser cette plus-value sociétale. Le degré de contrôle du secteur public sur un projet peut varier considérablement, allant de l'élaboration, de l'appropriation et de l'exploitation complètes à un rôle axé principalement sur la coordination du projet, la planification locale et les politiques (voir également la section Gouvernance).

Le secteur public peut également souhaiter présenter l'analyse de rentabilisation des projets énergétiques urbains en développant des projets de démonstration. Certaines villes et certains pays préfèrent que les services énergétiques soient fournis par des services publics, tandis que d'autres sont plus ouverts à la participation du secteur privé.

Le degré d'implication du secteur privé dans l'approvisionnement d'énergie influence le modèle commercial.

L'implication du secteur public est cependant importante dans le développement des projets en raison de :

- Rôle réglementaire,
- Capacité à mobiliser des financements pour les projets, par exemple en accédant à des subventions de haut niveau et à un meilleur accès au capital,
- Capacité d'être un consommateur important et stable et de fournir des ententes d'exploitation ;
- Accent sur la planification à long terme, intérêt accru pour l'atteinte des objectifs sociaux et environnementaux et capacité à coordonner les multiples parties prenantes impliquées dans l'énergie urbaine.



Cadre réglementaire

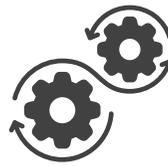
Le succès des modèles financiers et commerciaux de réseaux de chaleur et de froid urbains dépend de la réglementation en place. Voici comment la réglementation et la conception du marché peuvent avoir un impact sur le financement des projets de réseaux de chaleur et de froid urbains :



Équilibrer les coûts initiaux et les rendements à long terme

Les projets de réseaux de chaleur et de froid urbains nécessitent des investissements initiaux importants (dépenses en capital élevées) avec des rendements répartis sur une période élevée. Les réglementations doivent garantir des rendements prévisibles pour justifier l'investissement initial.

Les cadres réglementaires actuels dans de nombreux pays pourraient ne pas être compatibles avec le calendrier d'investissement rapide requis pour les projets de réseaux de chaleur et de froid urbains. Les restrictions sur le financement par fonds propres, les limitations de la dette et la pression pour réduire les coûts opérationnels peuvent entraver des investissements cruciaux. Les instruments financiers rémunérés par des fonds publics peuvent jouer un rôle essentiel pour surmonter ces obstacles.



Gestion des risques pour les municipalités et les entreprises

Différents risques liés aux projets peuvent affecter les municipalités et les entreprises publiques qui mettent en œuvre des services de chauffage et de climatisation. Des réglementations solides et des mécanismes de soutien public peuvent atténuer ces risques, améliorant ainsi la faisabilité des projets. Ceci est particulièrement crucial pour les technologies innovantes (comme réseaux de chaleur et de froid urbains de quatrième et cinquième génération) qui offrent des économies potentielles mais peuvent comporter des risques plus élevés.



Encourager la réduction des coûts

Les réglementations qui encouragent la réduction des coûts permettent aux opérateurs de réseaux de chaleur et de froid urbains de maximiser les investissements dans l'infrastructure tout en minimisant la charge sur les utilisateurs finaux.

Partager les gains d'efficacité avec les consommateurs

Des réglementations efficaces garantissent que les économies de coûts et les gains d'efficacité réalisés par les opérateurs de réseau de chaleur et de froid sont répercutés sur les consommateurs finaux.

Le modèle économique « Entièrement public »

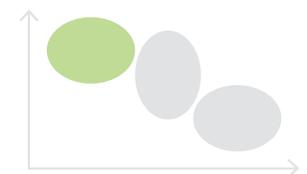
Parmi les différents modèles de propriété des systèmes énergétiques urbains, le modèle d'affaires « entièrement public » est le plus couramment utilisé. Ici, le secteur public, dans son rôle d'autorité locale ou de service public, a la pleine propriété du système, ce qui lui donne un contrôle total sur le projet et permet d'atteindre des objectifs sociaux plus larges, tels que les résultats environnementaux et la réduction de la précarité énergétique par le contrôle tarifaire.

Dans ce modèle, la ville assume la plupart des risques associés à l'investissement : les zones urbaines consolidées développent de tels projets via un service public, et le faible rendement est réparti sur d'autres projets dont le TRI est plus élevé. Les projets dans les nouvelles zones urbaines peuvent être développés en créant un véhicule de titrisation (« Special Purpose Vehicle ») ou une filiale (comme un nouveau service public) afin de réduire la charge administrative de l'autorité locale, la gouvernance étant généralement supervisée par un conseil d'administration qui représente l'autorité locale. Le passage à une filiale peut offrir des avantages supplémentaires, notamment la limitation de la responsabilité financière de la ville, l'augmentation de la flexibilité et de la rapidité des décisions, ainsi qu'une plus grande transparence et une exploitation plus commerciale. L'autorité locale peut externaliser la conception technique et la construction (et parfois l'exploitation) du projet afin de réduire les risques liés au coût et au délai de livraison.

Dans la mesure où un système de chaleur et de froid urbain contribue aux objectifs stratégiques d'une ville – tels que la réduction des émissions de carbone, l'amélioration de la résilience ou de la sécurité énergétique, ou la fourniture d'un approvisionnement en chaleur abordable – les projets tirent souvent parti des réserves de trésorerie de la ville et/ou de la dette publique levée sur la base du bilan de l'autorité locale. Le taux d'intérêt plus bas de la dette publique est la raison pour laquelle de nombreux partisans des systèmes de chaleur et de froid urbains affirment que les villes peuvent (et devraient) investir de cette manière et que plusieurs modèles énergétiques urbains sont dirigés localement.

« Pour les systèmes énergétiques urbains, il est parfois difficile de concurrencer le gaz naturel bon marché ; Nous sommes toujours en concurrence avec les combustibles fossiles. Il est important d'avoir des engagements de planification, autres que la dynamique du marché libre »

Alex Sørensen, consultant réseaux de chaleur et de froid urbains chez PlanEnergi



Le modèle économique « Public-Privé »

Lorsque le projet d'un système de chaleur et de froid urbain a un retour sur investissement qui attirera le secteur privé, un modèle « public/privé » peut être adopté. Ici, l'autorité locale est prête à prendre des risques et souhaite exercer un certain contrôle, mais elle recherche également la participation du secteur privé pour apporter une expertise et/ou des capitaux privés. L'un des défis de ces projets est de s'assurer que toutes les parties ont une vision claire et alignée des objectifs et de la manière dont ils seront atteints.

Cette collaboration public-privé peut prendre plusieurs formes :

Coentreprise public/privé

Implique généralement la création d'un véhicule de titrisation (« Special Purpose Vehicle »), dont la propriété est répartie entre les secteurs public et privé. Les risques et les investissements sont partagés entre les partenaires. Le secteur public peut atténuer certains risques en s'engageant dans des contrats à long terme et peut faire face aux obstacles réglementaires au développement de projets. Le secteur privé s'occupe généralement de la conception, de la construction et de l'exploitation, tout en bénéficiant de la connexion au réseau.

La présence du secteur public signifie souvent l'accès à des sources de financement supplémentaires telles que les prêts des banques de développement. La gouvernance se fait généralement, par l'intermédiaire d'un conseil d'administration, nommé par chaque partenaire du projet, la représentation au conseil reflétant la répartition de la propriété entre les secteurs public et privé.

Contrat de concession

Dans ce modèle, l'autorité publique fait souvent les premiers pas du projet de chaleur et de froid urbains, puis l'offre au secteur privé. Une entreprise de services énergétiques ou le service public concessionnaire (secteur privé ou public-privé) supporte entièrement les risques liés à la conception, à la construction et à l'exploitation du système énergétique urbain. La présence de l'autorité locale en tant que signataire du contrat de concession est susceptible d'atténuer bon nombre des risques associés à l'obtention de l'approbation du projet. L'entreprise de services énergétiques peut être limitée dans les tarifs qu'elle peut facturer en raison de la concurrence locale ou par des niveaux contractuels fixés pour éviter le monopole de la distribution d'énergie.

Un modèle de concession est particulièrement applicable aux projets de rénovation dans les villes où les rues publiques sont utilisées pour les routes du réseau et où les bâtiments résidentiels, institutionnels et commerciaux sont connectés. La concession offre à la ville la possibilité de récupérer un projet après la période de concession.



Coopérative ou sans but lucratif appartenant à la communauté

Une municipalité peut souhaiter établir un système énergétique urbain en tant que mutuelle sans but lucratif ou coopérative appartenant à la communauté. C'est le cas le plus répandu dans les pays où le réseau de chaleur urbain bénéficie d'un fort soutien administratif et où les utilisateurs finaux sont obligés de se connecter aux réseaux. Dans ces cas, les opérateurs de réseau de chaleur urbain sont légalement tenus d'être à but non lucratif et sont ainsi des sociétés coopératives, mutuelles ou communales.



Le modèle économique « privé »

Si une autorité locale a un projet d'énergie urbain proposé avec un retour sur investissement élevé mais en même temps elle privilégie une faible tolérance au risque et un désir de contrôle relativement faible, elle peut être en mesure d'attirer l'intérêt des entreprises du secteur privé.

Cela ne signifie pas que l'autorité locale est retirée du projet. De nombreux systèmes énergétiques urbains privés réussis bénéficient encore de la participation indépendante des autorités locales. Par exemple, l'autorité locale peut avoir été le promoteur initial du projet et/ou elle peut encore attirer des financements et des subventions pour le projet. Il doit fournir un soutien en matière de planification et de réglementation dans tous les cas, et peut aider dans tous les cas jugés socialement optimaux et trop risqués pour le secteur privé. Il pourrait également développer des initiatives qui encouragent les objectifs sociaux ou environnementaux, tels que des mécanismes qui soutiennent la production à faible émission de carbone.

Dans un modèle purement privé, le risque est supporté par l'entreprise privée, bien que l'entreprise puisse conclure un accord de coopération conjointe avec l'autorité locale pour atténuer les risques liés à la planification ou à l'expansion, ou pour encourager la connexion de la demande par le biais de politiques de planification. C'est ce qu'on appelle souvent un modèle de partenariat stratégique. En contrepartie, l'autorité locale peut bénéficier de tarifs réduits, d'une participation aux bénéfices, d'une connexion des clients présentant un

risque de crédit plus élevé (qui sont plus susceptibles d'être en situation de précarité énergétique) et d'autres objectifs sociaux ou environnementaux.

L'entreprise du secteur privé peut exiger un apport en capital sous la forme d'une taxe de raccordement pour tout bâtiment public connecté au réseau. Les autorités locales ou nationales peuvent être en mesure d'obtenir des prêts internationaux ou des subventions pour le projet.



Modèles combinés pour le réseau de chaleur urbain et les pompes à chaleur

L'intégration des pompes à chaleur dans les réseaux énergétiques urbains offre des avantages significatifs en termes de réduction des coûts et des émissions. Cette intégration peut améliorer la sécurité et la flexibilité de l'approvisionnement en chaleur tout en contribuant à stabiliser le marché de l'énergie.

Cependant, il existe plusieurs obstacles qui entravent l'adoption de ces systèmes. Des facteurs tels que les lacunes en matière de connaissances, les défis économiques et la complexité des processus rendent difficile l'utilisation combinée des pompes à chaleur et des systèmes de chauffage urbain. Par exemple, le prix de l'énergie ne tient souvent pas compte des coûts d'investissement élevés associés à ces solutions, ainsi que de leurs conséquences, qui influencent considérablement la prise de décision. De plus, l'implication de plusieurs entreprises à différents stades de la chaîne de valeur conduit à la fragmentation. Enfin, les processus d'approvisionnement public ne donnent généralement pas la priorité au réseau de chaleur urbain et aux pompes à chaleur en tant que solutions viables pour les besoins de chaleur et de froid.

Dans la pratique, le réseau de chaleur urbain et les pompes à chaleur sont souvent utilisés de manière complémentaire. Les réseaux de chaleur urbain sont utilisés lorsque les pompes à chaleur seuls ne peuvent pas répondre aux besoins des bâtiments, tandis que les pompes à chaleur utilisent efficacement l'énergie

excédentaire générée par des sources d'énergie renouvelables intermittentes. Deux approches principales ont émergé pour permettre les réseaux de chaleur urbain afin d'optimiser leurs opérations et leurs relations avec les clients tout en intégrant les pompes à chaleur dans leurs systèmes.

La première approche consiste à mettre en œuvre un modèle de tarification dynamique, qui lie les prix de l'énergie au coût marginal horaire de la production de chaleur dans le système de réseau de chaleur urbain. Dans ce modèle, les clients sont propriétaires des sous-stations et du système de réseau de chaleur du bâtiment. La société du réseau de chaleur urbain fournit une solution groupée où la pompe à chaleur et le réseau de chaleur urbain sont connectés à une interface de contrôle. Cette interface reçoit des signaux déterminant la source d'énergie à utiliser en fonction de facteurs tels que les prix de l'électricité, la demande de chaleur du bâtiment, les performances des pompes à chaleur et le prix du réseau de chaleur urbain.

La deuxième approche est le modèle de contrat de performance, où l'entreprise de réseau de chaleur urbain obtient le contrôle total sur la pompe à chaleur, quel que soit le propriétaire. Les pompes à chaleur des clients font partie intégrante du plan de production du réseau de chaleur, avec un paiement forfaitaire garantissant une température intérieure garantie. Essentiellement, pour que ce modèle soit rentable, le coût interne du réseau de chaleur urbain doit être inférieur à ce que les clients paient. Contrairement au modèle de produit connecté, le modèle de contrat de performance exige que la responsabilité de l'entreprise DH s'étende au système de radiateur interne.





**GOUVERNANCE ET
RÉGLEMENTATION**

GOVERNANCE ET RÉGLEMENTATION

Rôle des municipalités et processus décisionnels

Les municipalités peuvent être présentes dans la plupart des capacités clés de la chaîne énergétique : régulation, planification (en particulier le zonage thermique), facilitation, fourniture, et consommation.

C'est pourquoi il est si important pour les municipalités d'envisager le futur système énergétique de leur ville, y compris les interactions avec d'autres actifs (état du parc bâti, réseau électrique) ; De cette façon, les planificateurs, les fournisseurs, les financiers et les clients disposeront d'un cadre pour mettre en œuvre efficacement ce type de systèmes et limiter les risques associés.

L'une des premières étapes pour les villes pour atteindre cet objectif est d'élaborer des plans de zonage thermique qui permettent d'obtenir une évaluation complète du potentiel de déploiement des systèmes de chaleur et de froid urbains. Ces outils de planification peuvent servir de guide sur les endroits où il est le plus possible ou le plus pratique de développer des réseaux de chaleur ou de froid urbains, l'offre et la demande disponibles, et aider à prendre des décisions précoces sur les technologies à déployer et à utiliser.

En plus des plans de zonage de chaleur, les activités suivantes peuvent être menées par la municipalité pour favoriser le réseau de chaleur et le refroidissement urbains :

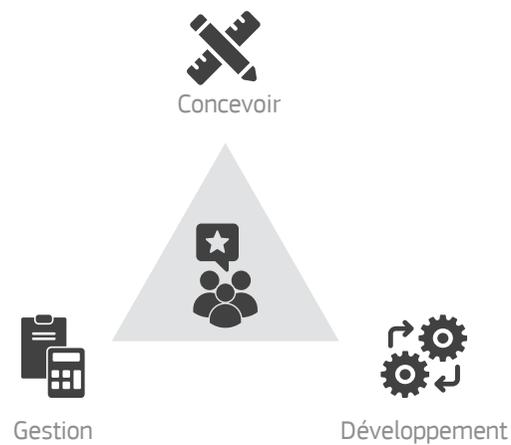
- **Achats et investissements** dans les infrastructures.
- Faciliter le **financement et les incitations fiscales**.
- **Renforcement des capacités** des planificateurs, des promoteurs, des propriétaires, des fournisseurs, de l'industrie, et des investisseurs.
- Campagnes de sensibilisation des parties prenantes et des citoyens.
- **Commercialisation de l'énergie** (au niveau du quartier) à des fins d'utilité publique.
- **Agir à titre d'agent de changement, promouvoir et diffuser les initiatives de réseaux de chaleur et de froid urbains dans les infrastructures publiques.**

« Les gouvernements locaux sont particulièrement bien placés pour faire progresser les systèmes énergétiques urbains dans les domaines suivants : leurs diverses capacités - en tant que planificateurs et régulateurs, en tant que facilitateurs de la finance, en tant que modèles et défenseurs, et en tant que grands consommateurs d'énergie et fournisseurs d'infrastructures et de services »

Programme des Nations Unies pour l'environnement, 2015

Lors de la conception, du déploiement et de l'exploitation du réseau de chaleur et de froid urbains, le modèle de gouvernance dépendra en grande partie du modèle économique adopté, comme décrit dans la section « Modèles d'affaires et financement »

En ce qui concerne l'équipe décisionnelle de base, de **la planification à la mise en œuvre**, les experts en déploiement de systèmes énergétiques urbains recommandent de rechercher **un groupe compact de parties prenantes**, afin que l'équipe impliquée dans les tâches de conception, de développement et de gestion puisse **travailler en étroite collaboration**. Dans la plupart des cas, la municipalité doit être à bord et participer à toutes les décisions. Parallèlement à ce groupe compact, un engagement efficace avec les principales parties prenantes locales et les représentants des citoyens doit être une priorité, comme décrit dans la section « Aspects sociétaux et utilisateurs ».



Stratégies énergétiques urbaines de l'UE et des villes

La refonte de la directive européenne sur l'efficacité énergétique, adoptée en juillet 2023, comprend une nouvelle obligation obligeant les États membres à veiller à ce que les municipalités de plus de 45 000 habitants élaborent des plans locaux de chaleur et de froid. Il s'agit d'une étape importante vers la décarbonation du secteur du réseau de chaleur et du refroidissement dans les villes européennes.

Au cours des prochaines années, l'enjeu sera de développer ces plans locaux (selon les chiffres 2022 d'Eurostat, 75 % du chauffage et du refroidissement sont encore générés à partir d'énergies fossiles alors que seulement 25 % sont générés à partir d'énergies renouvelables), à travers des objectifs ambitieux et en tenant compte du fait que les contextes nationaux présentent encore des différences majeures.

Depuis janvier 2024, la planification de la chaleur est obligatoire en Allemagne pour les communes de plus de 100 000 habitants, qui doivent établir un plan de chaleur avant le 30 juin 2026. De plus, dans le Land de Bade-Wurtemberg, la planification de la chaleur est obligatoire depuis 2020. En Flandre en Belgique, toutes les communes doivent disposer de plans de zonage thermique d'ici 2025.

En ce qui concerne les objectifs possibles, quelques exemples génériques sont présentés ci-dessous, et une sélection d'exemples d'objectifs de villes pionnières de l'UE est incluse par la suite (tableau à la page suivante) :

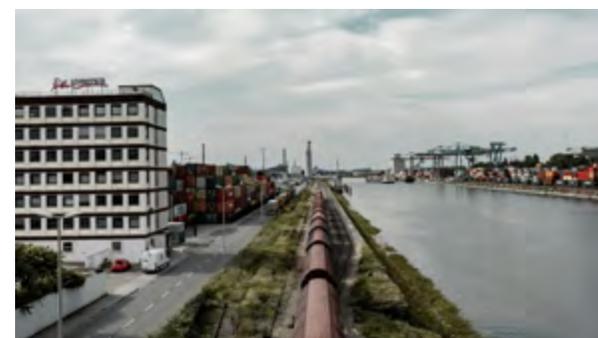
- **Extension du système énergétique urbain** (nombre de logements, de bureaux, de magasins connectés au système)
- **Interconnexion des réseaux énergétiques urbains** séparés par des conduites de transport
- Part de l'objectif total de réduction des **gaz à effet de serre**
- à satisfaire par les systèmes énergétiques de la ville.
- Part de la puissance ou de la consommation d'électricité, de chaleur et de froid **fournie par les systèmes énergétiques**
- Part de **la consommation d'énergie des administrations locales** qui devrait provenir des systèmes énergétiques
- Part des **énergies renouvelables ou de la chaleur résiduelle** à utiliser dans les systèmes énergétiques urbains
- Pourcentage d'augmentation de **l'efficacité énergétique attribuable** à la consommation d'énergie
- **Remplacement des systèmes de chauffage/refroidissement individuels existants**



Réseau de chauffage urbain à Kortrijk Weide, Belgique ©Agata Smok

Table 1 Objectifs énergétiques de district dans les villes (UNEP)⁶

Ville	Objectifs énergétiques urbains
Dortmund, Allemagne	<p>Élaboration d'un plan de chaleur et d'énergie.</p> <p>Changement de système de chauffage urbain pour utiliser la chaleur résiduelle industrielle comme source d'énergie primaire.</p> <p>Efficacité énergétique accrue et émissions réduites.</p>
Islington, Royaume-Uni	<p>Le plan directeur de la chaleur identifie 14 pôles prioritaires pour le développement urbain.</p> <p>La mise en œuvre du zonage du réseau de chaleur à partir de 2025 devrait couvrir 95 % de l'arrondissement.</p> <p>Planification énergétique locale sous-régionale en 2024 pour informer les plans locaux qui établira probablement l'énergie urbaine comme la solution la plus rentable pour 95 % + de l'arrondissement.</p> <p>Explorer les possibilités de partenariats public-privé ou privés dans le cadre du programme Net Zero Neighbourhood et les possibilités de coentreprises ou de modèles de concession.</p>
Mannheim, Allemagne	<p>Plan de chauffage urbain en place.</p> <p>Approvisionnement en chaleur climatiquement neutre d'ici 2040.</p> <p>Transition/sortie des énergies fossiles et passage aux énergies renouvelables.</p> <p>Le plan de chauffage urbain crée une sécurité de planification et d'investissement pour les entreprises et les citoyens.</p>



⁶ L'énergie urbaine dans les villes. [Unlocking the Potential of Energy Efficiency and Renewable Energy](#) (UNEP)

Dortmund, Allemagne ©Arian, Unsplash
 Islington, Royaume-Uni ©Tak-Kei Wong Unsplash
 Mannheim, Allemagne ©Justus Menke

Comment démarrer dans ma ville ?

? Questions clés et résumé des réflexions

Comme point de départ pour les villes, il y a quelques questions clés auxquelles il faut répondre. Une réflexion approfondie sur ces questions peut conduire à une mise en œuvre réussie. En ce qui concerne les ressources durables et/ou renouvelables en chaleur/froid, quel est le potentiel local ?⁷

Une cartographie des ressources énergétiques disponibles et prévues à l'échelle de la ville ou de la région doit être effectuée. Selon le contexte spécifique de chaque ville, il y aura de meilleures conditions pour certaines sources d'énergie que pour d'autres ; soleil, vent, géothermie, chaleur/froid résiduaux. Dans cette cartographie des villes, il est essentiel d'examiner la quantité et le niveau de température des ressources pour prendre une décision éclairée. Comme les sources d'énergie renouvelables bénéficient souvent d'un espace ouvert important pour leur production, il est recommandé de considérer le potentiel énergétique régional plutôt que le potentiel de production d'énergie strictement urbain. Ainsi, un échange d'énergie optimal entre la ville et son arrière-pays peut être réalisé. Un argument similaire vaut pour la récupération de la chaleur résiduelle et/ou des flux de déchets précieux, par exemple des complexes industriels et agricoles adjacents à la ville. En outre, d'autres aspects doivent être soigneusement évalués.

La densité urbaine et l'intensité énergétique des zones à desservir, ainsi que la prise en compte des utilisations des bâtiments, des synergies potentielles et des besoins de refroidissement sont des aspects clés de la prise de décision précoce.

Est-ce faisable ?

Il est important de quantifier la demande d'énergie thermique et d'évaluer quel système spécifique peut le mieux s'y adapter. La première étape pour démarrer un nouveau réseau de chaleur ou de froid urbain peut être d'embarquer tous les grands consommateurs (piscines, hôpitaux, bureaux, supermarchés, grands complexes résidentiels), car cela facilitera considérablement le processus. Les impliquer dans un groupe de travail peut être un bon choix, pour échanger les avantages et les besoins du système et de ses clients. L'identification de ces opportunités dans une configuration coordonnée par la municipalité peut être très utile ; D'autant plus si cela est lié aux procédures d'urbanisme, et à la planification locale du zonage thermique (voir ci-dessus) en particulier.

Est-ce financièrement viable ?⁸

Sans analyse de rentabilisation, il sera très difficile pour une initiative de réussir. Quelles sont les distances entre la source et les consommateurs ? Quel type de distribution va être utilisé ? Les caractéristiques urbaines permettent-elles la rentabilité ? (par exemple, densité urbaine, densité de la demande de chaleur, stratégies de rénovation urbaine correspondantes). Les investissements initiaux élevés et les engagements à long terme nécessaires mettront à l'épreuve la viabilité de chaque opération (retour sur investissement + degré de risque/contrôle par autorité locale).

Si l'on considère un calendrier de mise en œuvre dans les villes, il existe une différence substantielle entre les nouveaux réseaux et les extensions des réseaux existants. En ce qui concerne les nouveaux réseaux dans les nouveaux développements, où tout doit être mis en œuvre à partir de zéro, le processus peut prendre au moins 3 ans pour être opérationnel. Cependant, dans les réseaux existants, un projet d'extension peut prendre encore moins d'un an, selon les particularités du projet. Dans les deux cas, ces délais peuvent être prolongés principalement en raison d'obstacles bureaucratiques, financiers et techniques.

⁷ Comme décrit dans la section « Spécifications techniques »

⁸ Comme décrit dans la section « Modèles d'affaires et finance »

Commençons! Étapes clés de l'élaboration d'un système énergétique urbain

Dans le cas où ces préreflexions amènent la ville à développer des systèmes énergétiques, les étapes suivantes guideront la préparation d'un environnement accueillant pour ce type de projet, en fonction des caractéristiques spécifiques de la ville.

Principales étapes de l'élaboration d'un système énergétique urbain⁹

1. Évaluer les objectifs, les stratégies et les cibles existants en matière de politique énergétique et climatique, et identifier la catalyse.
2. Renforcer ou développer le cadre institutionnel de coordination multipartite
3. Intégrer le système d'énergie dans la stratégie et la planification énergétiques nationales et/ou locales
4. Cartographier la demande énergétique locale et évaluer les ressources énergétiques locales (planification thermique)
5. Déterminer les considérations pertinentes en matière de conception de politiques
6. Réaliser la préfaisabilité et la viabilité du projet
7. Élaborer un plan d'affaires
8. Analyser les options d'approvisionnement
9. Faciliter le financement
10. Définir des indicateurs de projet mesurables, à signaler et vérifiables

⁹ L'énergie urbaine dans les villes. Libérer le potentiel de l'efficacité énergétique et des énergies renouvelables (PNUÉ)

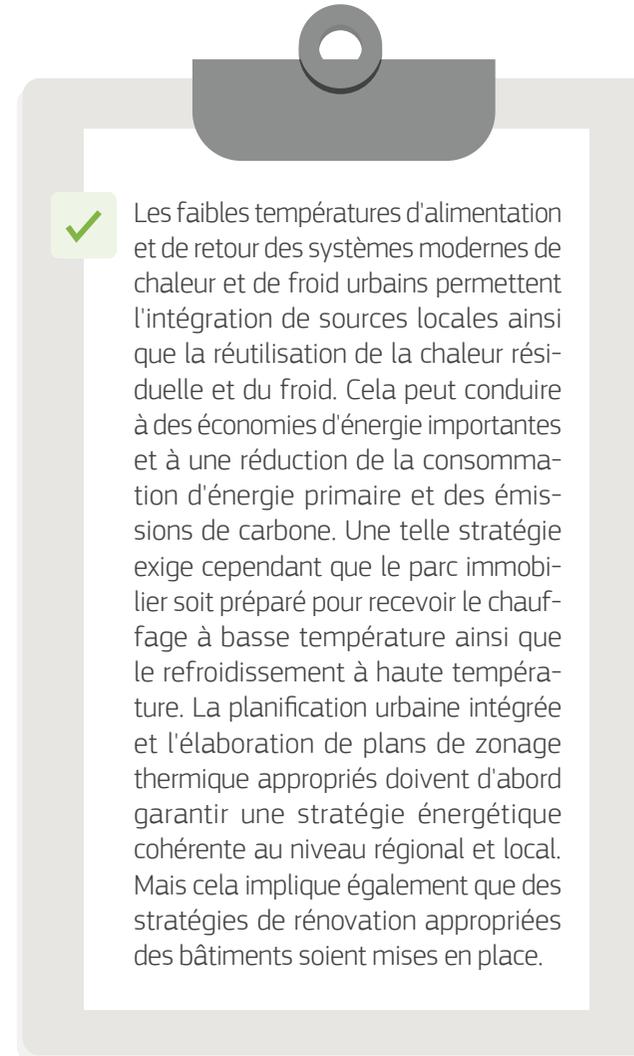
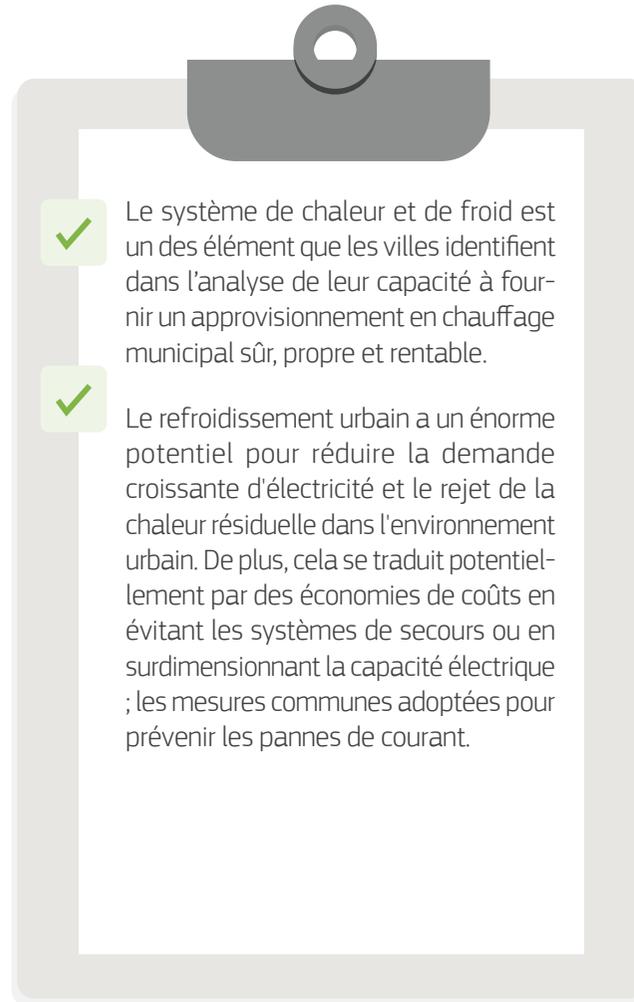


De Voerman réalise un réseau de chaleur et de froid urbain neutre à l'échelle voisine, alimenté par l'énergie thermique d'une conduite d'eau potable principale à Anzegem, en Belgique. Pour en savoir plus : [De Voerman Anzegem](#)



LEÇONS TIRÉES

LEÇONS TIRÉES





Les réseaux de chaleur et de froid urbains peuvent, grâce à l'interaction avec le réseau électrique, permettre une plus grande pénétration des sources d'énergie renouvelables intermittentes, telles que l'énergie éolienne et solaire, à partir du système électrique, en utilisant des pompes à chaleur à grande échelle, des centrales de cogénération et des stockages thermiques à court et à long terme.



Les technologies numériques rendent le système énergétique plus intelligent, plus efficace, plus fiable et stimulent l'intégration de plus d'énergies renouvelables dans le système. Des technologies telles que l'internet des objets, l'intelligence artificielle et l'apprentissage automatique permettent aux systèmes énergétiques urbains d'optimiser pleinement leurs sources de chaleur et le fonctionnement et la flexibilité de leur réseau tout en responsabilisant le consommateur final.



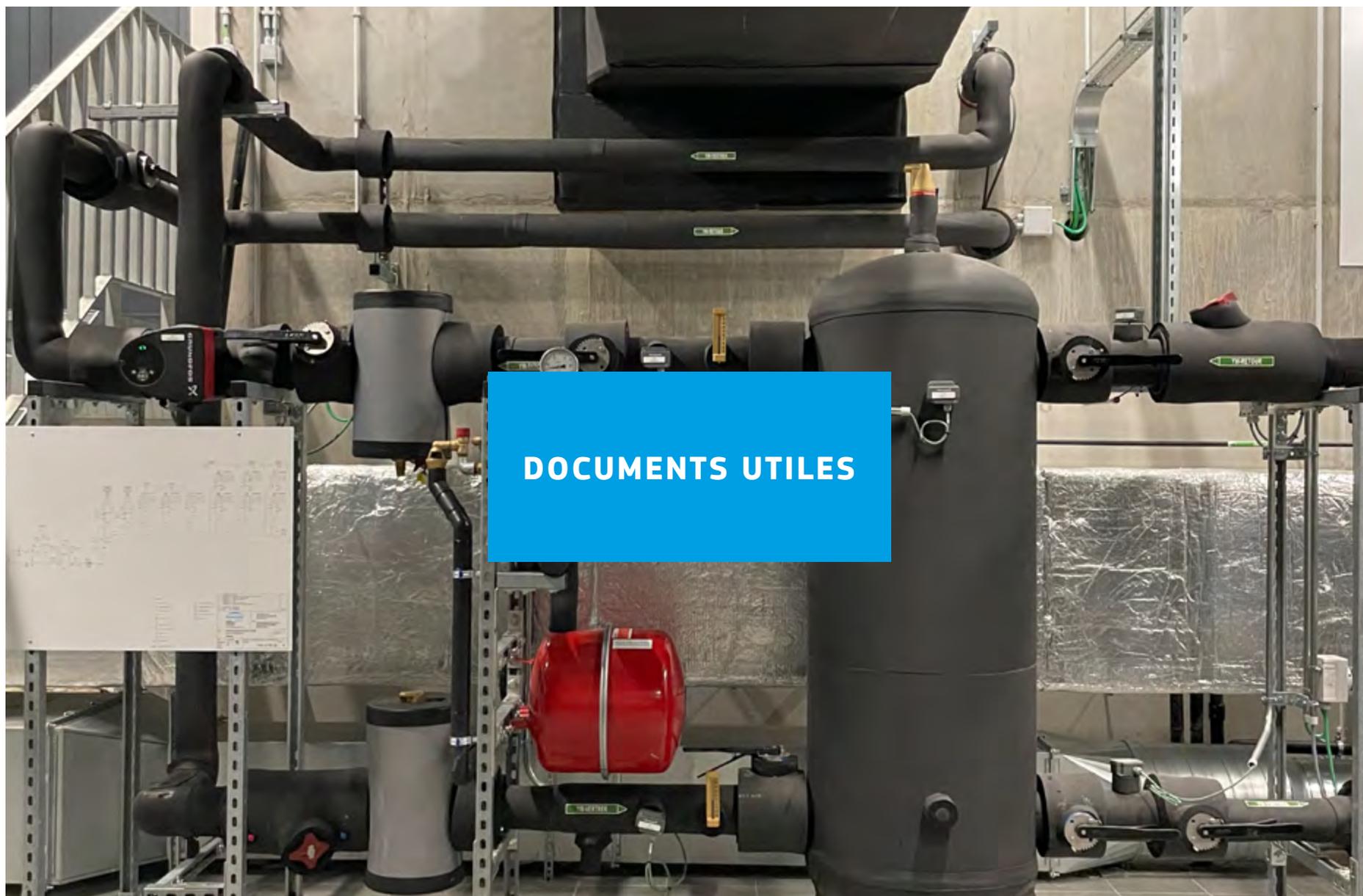
Les gouvernements locaux sont particulièrement bien placés pour faire progresser les systèmes de chaleur et de froid urbains à divers titres : en tant que planificateurs et régulateurs, en tant que facilitateurs financiers, en tant que modèles et défenseurs, et en tant que grands consommateurs d'énergie et fournisseurs d'infrastructures et de services.



Le modèle d'affaires idéal pour un projet de chauffage et refroidissement est défini par le degré d'appropriation que le secteur public souhaite pour le projet et par retours sur investissement, ce qui se traduit par 3 paramètres de base : entièrement public / hybride public-privé / privé. L'administration locale devrait être plus impliquée si le projet énergétique urbain contribue aux objectifs locaux, tels que les plans d'action locaux pour le climat.



L'intégration de la planification énergétique dans les procédures d'urbanisme peut ouvrir la voie au déploiement des réseaux de chaleur et de froid ; y compris le zonage thermique, les exigences du système dans le plan directeur, la promotion de zones urbaines plus denses, la mise en place de stratégies de rénovation urbaine, la combinaison d'utilisations mixtes dans le secteur du bâtiment. Dans de nombreux cas, il reste encore beaucoup de chemin à parcourir dans ce processus d'intégration.



La ville de Courtrai a installé un réseau pilote de réseau de chaleur urbain à Courtrai Weide, comme noyau pour d'autres extensions dans la ville ©Agata Smok

DOCUMENTS UTILES



Documents et outils pertinents

Ce qui suit traite du potentiel des systèmes énergétiques urbains dans les villes pour améliorer l'efficacité énergétique et intégrer les sources d'énergie renouvelables. Il explore comment ces systèmes peuvent réduire les émissions de gaz à effet de serre, réduire les coûts énergétiques et soutenir le développement urbain durable. Le rapport fournit des études de cas, des meilleures pratiques et des recommandations politiques pour encourager l'adoption de solutions énergétiques urbaines dans le monde entier :

🔗 [District Energy in Cities. Unlocking the Potential of Energy Efficiency and Renewable Energy \(UNEP\)](#)

Le site web d'Euroheat & Power se concentre sur la promotion des réseaux de chaleur et de froid urbains en Europe. Il fournit des renseignements sur les avantages, les technologies, les politiques et les pratiques exemplaires liés aux systèmes énergétiques urbains. Le site sert de ressource pour les professionnels de l'industrie, les décideurs politiques et le public, visant à soutenir la transition vers des solutions énergétiques durables, efficaces et résilientes dans les villes et communautés européennes :

🔗 [EuroHeat&Power - The international network for district energy, promoting sustainable heating and cooling in Europe and beyond](#)

Le site Web des catalogues technologiques de l'Agence danoise de l'énergie fournit des informations complètes sur les technologies énergétiques. Il offre des descriptions détaillées, des données de performance, des estimations de coûts et des projections futures pour une variété de technologies énergétiques. Les catalogues sont conçus pour aider les décideurs, les planificateurs énergétiques et les parties prenantes de l'industrie à prendre des décisions éclairées sur les investissements et les stratégies énergétiques, en mettant l'accent sur la promotion de solutions énergétiques efficaces et durables :

🔗 [Danish Energy Agency publications: catalogues of technology data for energy technologies](#)

La section Peta4 du site Web de la feuille de route sur la chaleur pour l'Europe donne accès à l'Atlas thermique paneuropéen (Peta4). Cet outil interactif cartographique la demande de chaleur et de froid en Europe, en identifiant les zones potentielles pour les systèmes de chaleur et de froid urbains. Il vise à soutenir le développement de stratégies de chaleur et de froid efficaces et à faible émission de carbone en offrant des données et des analyses spatiales détaillées, aidant les parties prenantes à prendre des décisions éclairées en matière de planification énergétique et d'investissements dans les infrastructures :

🔗 [Pan-European Thermal Atlas – Heat Roadmap Europe](#)

La page Web d'energyPRO le décrit comme un logiciel de modélisation, d'analyse et de simulation de projets énergétiques complexes. Il prend en charge une gamme de technologies, notamment les centrales de cogénération, les pompes à chaleur, et les capteurs solaires. Le logiciel fournit une analyse technique et financière détaillée, optimisant les systèmes énergétiques avec des considérations transversales pour l'électricité et l'énergie thermique. Il offre des interfaces et des rapports conviviaux, acceptés par les grandes institutions financières comme la Banque mondiale.

🔗 [EnergyPRO modelling software](#)

🔗 [EnergyPLAN software](#)

Projets et initiatives

SmartEnCity (SCC1)

- ↗ [DC supported by residual heat in Tartu](#)
- ↗ [DH network in existing areas in Vitoria-Gasteiz](#)

Smarter Together (SCC1)

- ↗ [Redensification of DH and Integration of data center waste heat into DH in Vienna](#)

Remourban (SCC1)

- ↗ [DH using low-temperature return heating in Nottingham](#)
- ↗ [Biomass DH in existing areas in Valladolid](#)

GrowSmarter (SCC1)

- ↗ [Smart local thermal grids and virtual analysis on DH and DC rings in Barcelona](#)

MySmartLife (SCC1)

- ↗ [DH optimisation through renewables and storage system in Helsinki](#)
- ↗ [DH monitoring thorough decision-making tool in Nantes](#)

Replicate (SCC1)

- ↗ [New DH systems in San Sebastian and Bristol](#)

Autres projets de recherche

- [ActionHeat - Accelerating the use of strategic heating and cooling planning in cities](#)
- [THUNDER - Thermochemical storage Utilization eNabling Data centre seasonal Energy Recovery](#)
- [TEMPO project](#)
- [D2Grids, rolling out 5th generation district heating and cooling](#)
- [PUSH-IT project](#)
- [KeepWarm - Improving the performance of district heating systems in Central and Eastern Europe](#)

HeatRoadmap.eu est une plateforme axée sur la fourniture d'informations et de ressources liées à la planification thermique et aux initiatives d'efficacité énergétique, probablement destinée aux décideurs politiques, aux chercheurs et aux professionnels du domaine de l'énergie durable :

- [Heat Roadmap Europe](#)
- [IEA Task 55 SHC: Integrating Large Scale Solar Heating & Cooling Systems in District Heating & Cooling Networks](#)
- [IEA Task 68 SHC: Efficient Solar District Heating Systems](#)
- [CELSIUS – Combined efficient large scale integrated urban systems](#)
- [CELSIUS INITIATIVE, CELSIUS Toolbox](#)

Le site web du projet STORM est consacré au projet de réseaux de chaleur et de froid urbains STORM. Il se concentre sur le développement et la mise en œuvre d'un contrôleur innovant pour optimiser le fonctionnement des réseaux de chaleur et de froid urbains :

- [STORM - Self-organising Thermal Operational Resource Management](#)
- [H-DisNet - Intelligent Hybrid Thermo-Chemical District Networks](#)
- [CoolHeating - Market uptake of small modular renewable DH and DC grids for communities](#)
- [progRESsHEAT - Supporting progress of renewable energies for heating and cooling in the EU on a local level](#)
- [FLEXYNETS - 5th generation, Low temperature, high EXergY DH and DC NETWORKS](#)
- [INDIGO - New generation of Intelligent Efficient District Cooling systems](#)

Le projet INDEAL implique généralement des efforts de recherche et de développement visant à améliorer les systèmes de chaleur et de froid urbains, en mettant l'accent sur l'amélioration de l'efficacité énergétique et l'intégration des sources d'énergie renouvelables :

- [InDeal – Innovative Technology for DH and DC](#)
- [E-HUB – Energy-Hub for residential and commercial districts and transport](#)
- [Micro- TRIGENERATION](#)
- [Heat4Cool - Smart building retrofitting complemented by solar assisted heat pumps integrated within a self-correcting intelligent building energy management system](#)
- [COOL DH - Cool ways of using low grade Heat Sources from Cooling and Surplus Heat for heating of Energy Efficient Buildings with new Low Temperature District Heating Solutions](#)
- [Planheat - Integrated tool for empowering public authorities in the development of sustainable plans for low carbon heating and cooling](#)

Le projet HotMaps est dédié à une recherche ou à une initiative axée sur la cartographie et l'analyse du potentiel des solutions durables de chaleur et de froid à travers l'Europe, visant probablement à soutenir les décideurs politiques, les planificateurs et les parties prenantes dans la transition vers des systèmes énergétiques à faible consommation de carbone. Il fournit probablement des outils, des données et des ressources pour faciliter la prise de décision éclairée en matière d'urbanisme et de politique énergétique :

🔗 [HotMaps - Heating and Cooling: Open Source Tool for Mapping and Planning of Energy Systems](#)

Le site Web du projet Thermos est consacré à une recherche ou à une initiative axée sur l'avancement des technologies et des pratiques de chaleur et de froid durables en milieu urbain, visant probablement à réduire la consommation d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre. Il fournit des informations, des outils et des ressources pour soutenir la mise en œuvre de systèmes d'énergie thermique efficaces dans les villes :

🔗 [THERMOS - Thermal Energy Resource Modelling and Optimisation System](#)

Site web lié au projet « PITAGORAS », qui implique des recherches ou des initiatives dans le domaine de l'éducation et de la technologie. Le projet vise à développer des méthodes ou des outils pédagogiques innovants pour améliorer les expériences d'apprentissage dans les domaines suivants :

🔗 [PITAGORAS – Sustainable Urban Planning with innovative and low-energy thermal and power generation from residual and renewable sources](#)

Le site web Sinfonia Smart Cities décrit le projet Sinfonia, qui se concentre sur la démonstration et la promotion de la rénovation énergétique et des solutions énergétiques durables dans les villes européennes :

🔗 [Sinfonia – Smart initiatives of cities fully committed to invest in advanced large-scaled energy solutions](#)

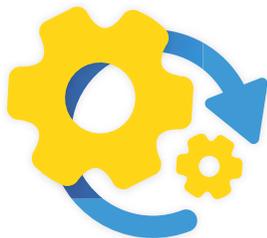
Le site Web Smart City-Ready est dédié au projet Smart City-Ready, qui vise à aider les villes à devenir plus économes en énergie et plus durables. Il fournit des informations sur les outils, les méthodologies et les meilleures pratiques pour aider les villes à intégrer des solutions énergétiques intelligentes, en mettant l'accent sur le rôle des systèmes de chaleur et de froid urbains. Le site offre des ressources aux planificateurs urbains, aux décideurs politiques et aux autres parties prenantes pour améliorer la gestion de l'énergie urbaine et promouvoir la transition vers des villes intelligentes et à faible émission de carbone :

🔗 [READY project](#)

Smart Cities Marketplace

Smart Cities Marketplace (SCM) est une initiative avec le soutien de la Commission européenne, qui rassemble des villes, des industries, des PME, des investisseurs, des chercheurs et d'autres acteurs dans le domaine des villes intelligentes. La SCM offre un aperçu des bonnes pratiques européennes en matière de villes intelligentes, vous permettant de découvrir l'approche qui pourrait convenir à votre projet de ville intelligente.

[Découvrez notre brochure ici](#)



Matchmaking

La Smart Cities Marketplace offre des services et des événements aux villes et aux investisseurs pour créer et trouver des propositions de villes intelligentes bancables en utilisant notre réseau d'investisseurs et en publiant des appels à projets.

[Réseau d'investisseurs](#)

[Appel à projets](#)

[Cours de maître sur le financement de projets](#)

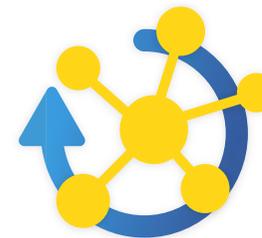


Groupes de réflexion et de discussion

Les groupes de réflexion sont des collaborations qui travaillent activement sur un défi commun lié à la transition vers des villes intelligentes. Les groupes de discussion sont des forums où les participants peuvent échanger leurs expériences, coopérer, se soutenir et discuter d'un thème spécifique.

[Groupes de discussion et de réflexion](#)

[Communauté](#)



Initiatives de l'UE

En dehors de la SCM, il existe ainsi des initiatives européennes visant à améliorer la qualité de vie et de travail dans les villes européennes.

[Autres initiatives de l'UE](#)



BROCHURE SUR LES SOLUTIONS DE RÉSEAUX DE CHALEUR ET DE FROID URBAINS

Smart Cities Marketplace 2024

The Smart Cities Marketplace géré par la direction générale de l'énergie de la Commission européenne