



**Comment
accélérer la
transition énergétique
vers la chaleur renouvelable:**
guide à destination
des élus et acteurs
locaux



Module 4

La chaleur durable :

choix technologiques, données et cartographie

Interreg 
2 Seas Mers Zeeën
SHIFFT



SUSTAINABLE HEATING: IMPLEMENTATION OF FOSSIL-FREE TECHNOLOGIES

1

INTRODUCTION:

Ce document est le quatrième d'une série de quatre modules explorant les démarches des collectivités territoriales pour accélérer la décarbonation de la chaleur.

Il s'inscrit dans le cadre du projet SHIFFT (Sustainable Heating: Implementation of Fossil Free Technologies), soit « Chaleur renouvelable : mise en œuvre de technologies sans combustible fossile », financé par le programme européen INTERREG 2 Mers. Il s'intéresse aux éléments techniques sur lesquels les villes, les collectivités territoriales, les citoyens et les parties prenantes peuvent s'appuyer pour envisager et planifier leur transition vers un chauffage sans carbone.

Dans ce module, l'accent est mis sur les aspects techniques et matériels de la transition depuis un chauffage à énergie fossile vers un chauffage renouvelable. La première partie explique pourquoi il est nécessaire que les systèmes de chauffage de nos bâtiments se tournent vers des sources renouvelables, tandis que la deuxième présente un éventail de choix technologiques et de stratégies pour vous accompagner dans la prise de vos décisions techniques.

Ce document s'intègre dans un ensemble de quatre modules offrant des conseils sur la façon d'accélérer la transition thermique dans les villes. Le module 1 s'intéresse au rôle des communautés et explique que les citoyens doivent se sentir investis et qu'un processus de co-création est indispensable pour s'assurer que l'avis de la communauté est au cœur de toute planification municipale en matière de transition vers le chauffage sans carbone. Le module 2 présente la gamme des instruments financiers et leur mise en œuvre. Le module 3 se concentre sur les stratégies de chauffage urbain, la réglementation et les autres instruments politiques non financiers. L'ensemble des documents est disponible sur le site internet du projet SHIFFT : <https://shiffproject.eu>

SOMMAIRE

page

2 - 5 **Que chauffe-t-on ?**

6 - 32 **Stratégies technologiques**

1.1 QUE CHAUFFE-T-ON ?

Dans le climat tempéré du Nord-Ouest de l'Europe, le système de chauffage des bâtiments doit permettre deux utilisations finales : le confort thermique et l'eau chaude sanitaire (ECS).

Le confort thermique consiste à maintenir la température à l'intérieur d'un bâtiment à un niveau confortable. Cela inclut le chauffage mais aussi, de plus en plus souvent, le refroidissement en raison du changement climatique. Dans ce module, cependant, nous nous concentrerons sur le chauffage.

Les principaux usages de **l'eau chaude sanitaire** sont le ménage, la vaisselle et les douches ou les bains. Dans la mesure où les légionelles se développent dans les environnements chauds sans toutefois résister aux fortes chaleurs, la température d'un système d'eau chaude sanitaire

doit être maintenue au-dessus d'un certain niveau. Celui-ci est généralement défini par la législation nationale. Aux Pays-Bas, par exemple, la température de l'eau doit être inférieure à 25 °C pour l'eau froide et supérieure à 65 °C pour l'eau chaude. Au Royaume-Uni, ces limites sont de moins de 20 °C et plus de 50 °C. Des températures inférieures au seuil prévu pour l'eau chaude sont également possibles si la législation autorise les traitements réguliers par choc thermique (par exemple, augmenter la température au-dessus de 60 °C une fois par semaine).

Changements saisonniers : parmi ces deux usages, le confort thermique est celui qui nécessite le plus d'énergie sur une année, mais la demande n'est pas la même d'une saison sur l'autre. Pour la plupart des bâtiments, la demande en chaleur pour atteindre le confort thermique sera nulle en été et élevée en hiver. La Figure 1 ci-dessous montre la consommation de chauffage et d'eau chaude sanitaire d'un

ménage du Sud des Pays-Bas. On constate que la météo reflète globalement la demande en chauffage : la ligne bleue montre la température extérieure par heure, la courbe en pointillés longs est la ligne de tendance, et la ligne droite en petits pointillés représente la température annuelle moyenne de 10 °C.

La durée de la saison de chauffage et les fluctuations de la demande quotidienne dépendent du (type de) bâtiment : les habitations, les bureaux, les hôpitaux et les bâtiments industriels sont tous différents à cet égard.

La demande en ECS, en revanche, est généralement beaucoup plus constante. Par exemple, le nombre de douches prises et de minutes passées à faire la vaisselle ne varie pas beaucoup au fil des saisons, contrairement au chauffage.

L'utilisation du bâtiment joue également un rôle. Les logements, par exemple, ne sont pas utilisés de la même manière que les bureaux, maisons de soins, hôpitaux ou bâtiments industriels. La quantité de chauffage et d'ECS utilisée ne sera pas la même et cette consommation ne se fera pas aux mêmes moments dans l'année.

La demande en chauffage peut également évoluer dans le temps. La demande actuelle est un point de départ mais elle peut décroître sous l'effet des rénovations, des changements de comportement et des démolitions, ou augmenter si de nouvelles constructions sont réalisées. Voir la section 2.3.2 pour plus de détails à ce sujet.

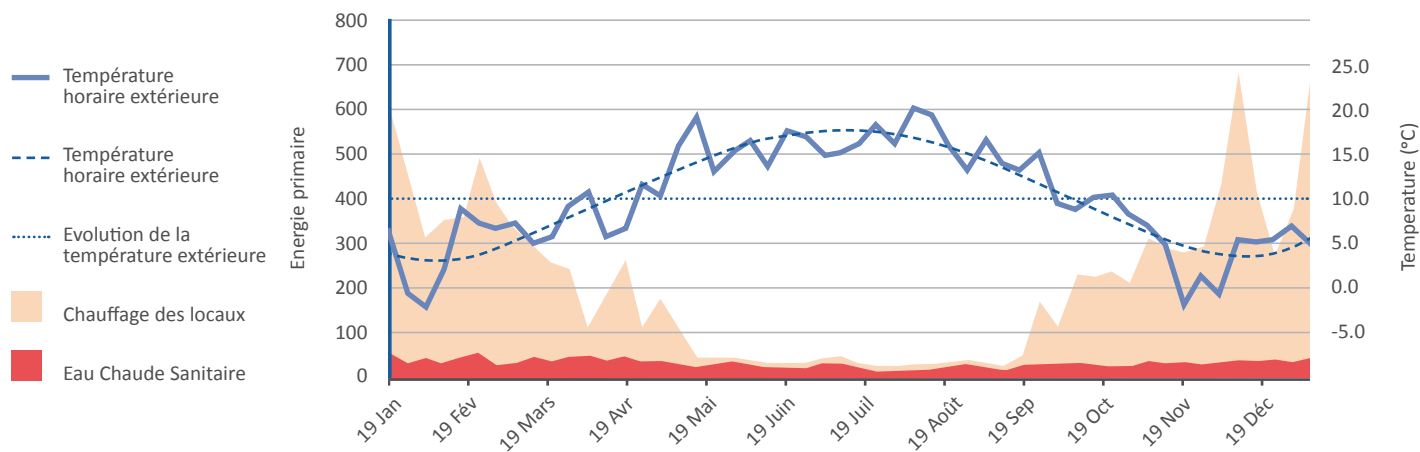


Figure 1 : demande en chauffage et en eau chaude sanitaire. La météo reflète globalement la demande en chauffage : la ligne bleue montre la température extérieure par heure, la courbe en pointillés longs est la ligne de tendance, et la ligne droite en petits pointillés représente la température annuelle moyenne de 10 °C. (PLANHEAT, 2018)



1.2 POURQUOI SE CONVERTIR AUX ÉNERGIES RENOUVELABLES ?

La plupart d'entre nous savent pourquoi il est nécessaire de basculer vers des systèmes de chauffage entièrement basés sur les énergies renouvelables. Toutefois, la présente section offre une brève présentation des principaux moteurs de cette transition. Les technologies de chauffage des bâtiments jouent un rôle important dans l'origine et la prévention du changement climatique. Par ailleurs, le climat et les chaînes d'approvisionnement en énergie fossile créées par l'être humain sont des questions d'ordre planétaire. Elles doivent donc être considérées dans leur globalité. En d'autres termes : agir à l'échelle locale pour agir au niveau mondial.

Le climat de la Terre change plus vite qu'il ne devrait

Sur de longues périodes de plusieurs dizaines à plusieurs centaines de milliers d'années, le changement climatique est considéré comme normal et ce rythme lent a permis à la vie d'évoluer et de s'adapter. Cependant, en raison des activités humaines, le changement se produit maintenant en quelques centaines d'années seulement, et le rythme continue de s'accélérer. Si l'on ajoute à cela la population humaine croissante et notre dépendance à des habitations sûres, une production alimentaire abondante et une eau propre, il devient de plus en plus difficile pour les écosystèmes terrestres dont nous dépendons de subvenir à leurs besoins et aux nôtres.

Les activités humaines : principale cause

Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) des Nations Unies réunit plusieurs milliers d'experts dans de nombreux domaines et évalue l'état du changement climatique tous les six à sept ans. Ses derniers rapports affirment que l'accélération du changement climatique que nous vivons actuellement est en grande partie due aux activités humaines, et principalement aux émissions de gaz à effet de serre provenant de la combustion d'énergies fossiles. Ainsi, nous avons la possibilité de réduire fortement notre impact sur le climat en abandonnant ces combustibles au profit de sources d'énergie plus propres.

Le rôle décisif du secteur du bâtiment

Le chauffage et la climatisation représentent environ la moitié de la demande en énergie de l'UE. Le bâtiment en utilise 45 % (Commission européenne, 2016), dont une grande partie est encore basée sur les combustibles fossiles (à l'origine de 37 % des émissions de gaz à effet de serre). Changer de sources de chauffage et de refroidissement dans le bâtiment peut donc avoir un impact colossal.

Une question de confiance (et de sécurité énergétique)

Autrefois, le charbon était exploité dans de nombreux endroits (et les Pays-Bas sont toujours assis sur l'un des plus grands gisements de gaz d'Europe). Aujourd'hui, toutefois, la plupart des combustibles non renouvelables utilisés aux Pays-Bas, en Belgique, en France et au Royaume-Uni sont importés. Dans la majorité des cas, les réserves mondiales de pétrole, de gaz, d'uranium et de charbon ne se trouvent pas en Europe !

La crise énergétique de 2022, et une douzaine d'autres crises régionales et mondiales depuis 1973 au moins, montre très clairement que face à cette situation, l'Europe est vulnérable aux fluctuations de prix, aux embargos, aux guerres et même aux actes de sabotage. Un approvisionnement plus local, ce qui est possible avec la quasi-totalité des énergies renouvelables, peut contribuer à réduire fortement cette dépendance et à rendre l'approvisionnement énergétique plus sûr et abordable à long terme.

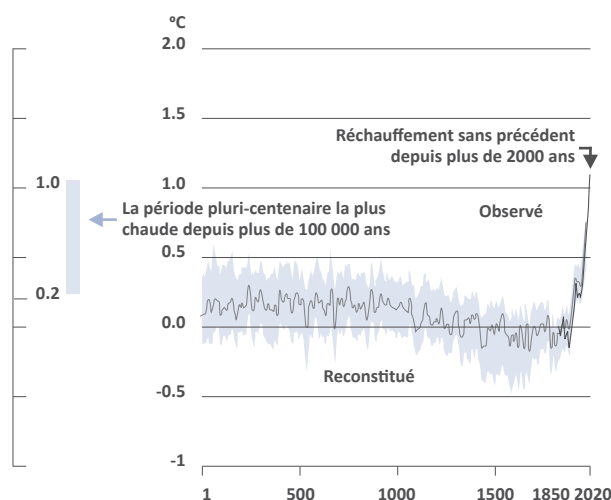
En outre, les Pays-Bas ont connu, au cours de la dernière décennie, un problème de sécurité lié à l'extraction d'énergie : les baisses de pression dans l'immense gisement de gaz de Slochteren, dues à un demi-siècle d'exploitation, provoquent de plus en plus de tremblements de terre (carte en direct montrant que le Nord-Est est particulièrement touché : <https://www.knmi.nl/nederland-nu/seismologie/aardbevingen>). L'instabilité géologique dans les mines de charbon abandonnées provoque également des tremblements de terre dans la province du Limbourg (à l'extrême Sud-Ouest du pays), bien qu'ils soient beaucoup moins fréquents et intenses. Les tremblements de terre liés aux gisements de gaz ont endommagé des maisons, réduit la valeur des propriétés et, de manière générale, eu un effet négatif sur la santé mentale des habitants. C'est pourquoi l'exploitation du champ gazier de Slochteren sera complètement abandonnée au cours des prochaines années, bien avant que les réserves économiques ne soient épuisées.



ENCADRÉ 1: L'INFLUENCE DE L'HOMME A CONTRIBUÉ AU RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE À UN RYTHME SANS PRÉCÉDENT DEPUIS AU MOINS LES 2000 DERNIÈRES ANNÉES

Evolutions de la température globale de surface par rapport à la 1850-1900

(a) Evolution de la température globale de surface (moyenne décennale), reconstituée (1-2000) et observée (1850-2020)



(b) Evolution de la température globale de surface (moyenne annuelle), telle qu'observée et simulation des causes humaines et naturelles et naturelles seules (reconstituée (1-2000) et observée (1850-2020))

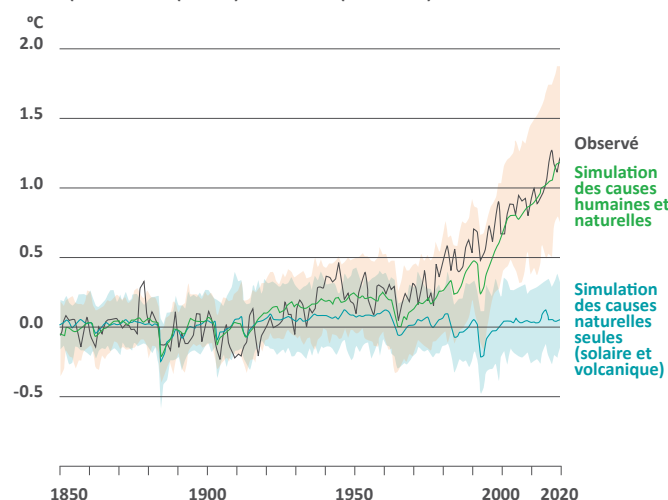


Figure 2 : le dernier rapport du GIEC établit un lien direct entre les activités humaines et l'augmentation anormalement rapide de la température à la surface du globe ces 150 dernières années. Source : GIEC, 2021

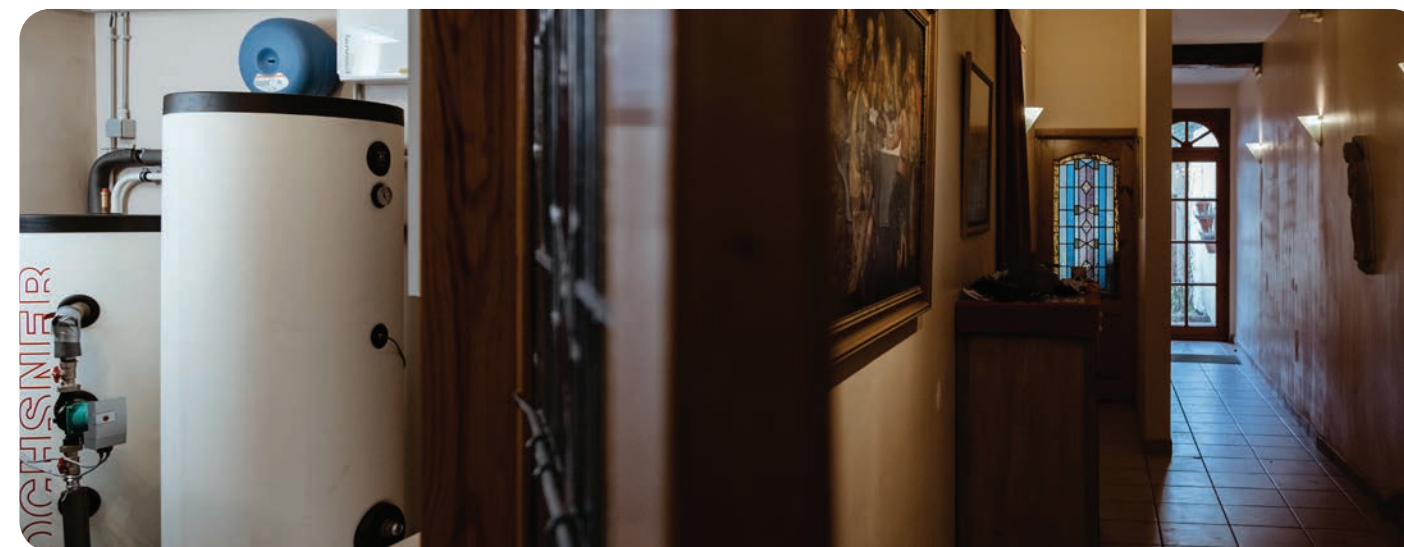
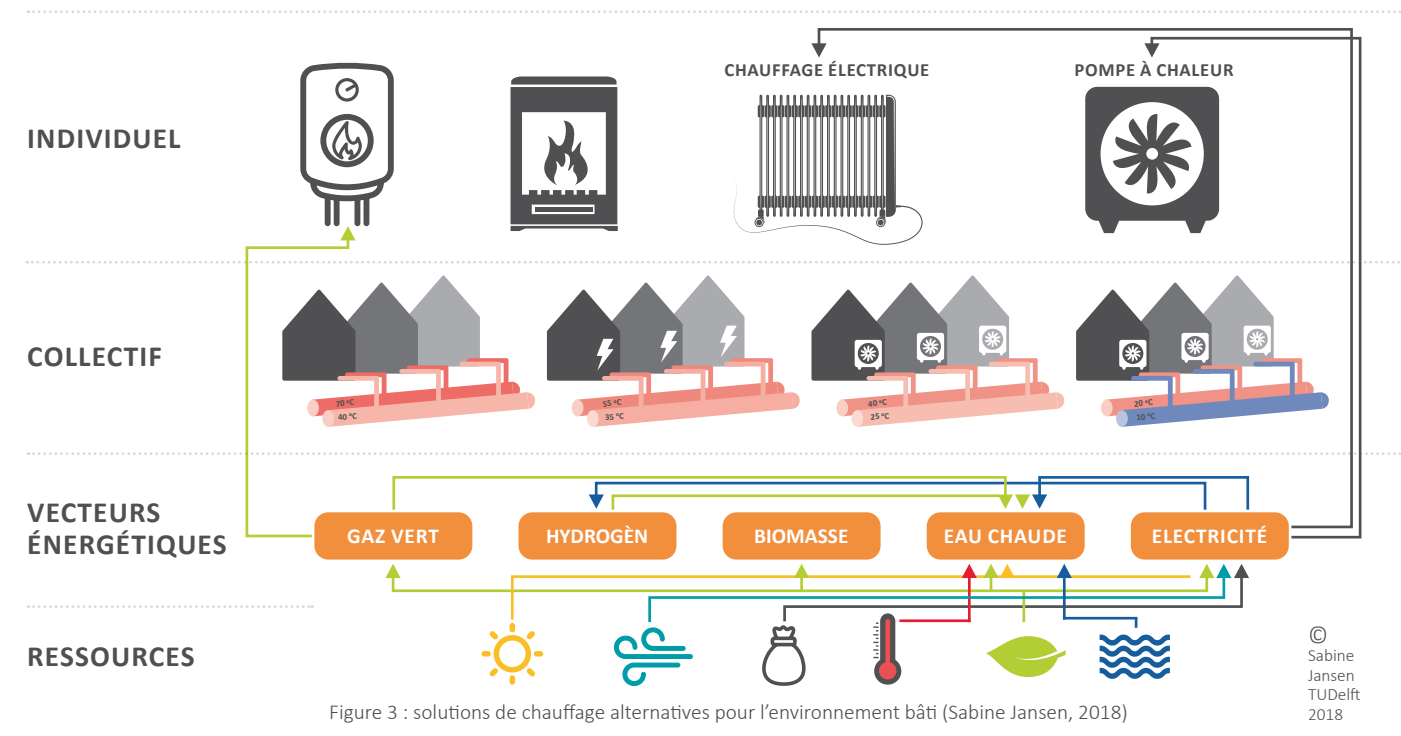
2 STRATÉGIES TECHNOLOGIQUES

Ce module cherche à donner un aperçu des technologies et des informations à prendre en compte pour démarrer ou accélérer la transition thermique à l'échelle locale. De nombreuses options technologiques sont disponibles et diverses sources de chaleur durable peuvent être envisagées. La solution idéale dépend de vos besoins (demande), de vos ressources (offre), du moment où la chaleur est nécessaire et fournie, et de la proximité des sources et des puits. Il est vrai que dans la majorité des cas, il nous suffit de tourner une vanne (de gaz) pour assurer le confort de nos maisons en hiver. Cette habitude peut rendre la transition vers le chauffage durable rebutante. Toutefois, les technologies en elles-mêmes ne devraient plus être considérées comme un problème. En identifiant les options disponibles dans votre région, vous pourrez informer les citoyens, effectuer des analyses de rentabilité et, en règle générale, accélérer le processus.

S'agissant des systèmes de chauffage, nous vivons dans un monde où la chaleur dont nous avons besoin est accessible en tournant un bouton, quelles que soient les caractéristiques de notre maison ou nos préférences personnelles. Ce confort a été obtenu au prix d'une accélération du changement climatique (voir partie 1). Le monde de l'après-fossile est différent. C'est pourquoi cette partie propose une présentation générale des technologies impliquées dans la transition vers le chauffage durable et des choix qui s'offrent à vous.

Il est nécessaire d'identifier et d'évaluer les ressources disponibles, de sélectionner les technologies les plus appropriées pour les convertir en énergie ou en chaleur, et de choisir entre systèmes de distribution collectifs ou individuels.

Le modèle qui vous correspond dépend de plusieurs facteurs, tant du côté de l'offre que de la demande, ainsi que du transport et du stockage de la chaleur.

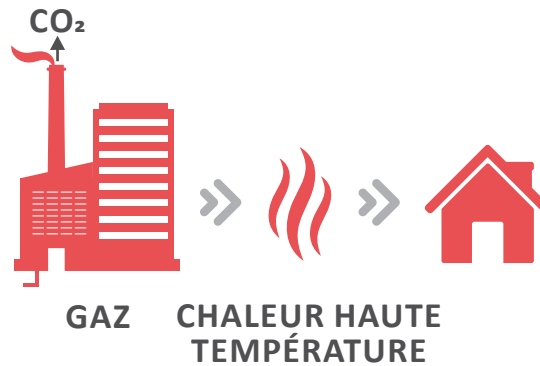


2.1. DURABILITÉ

On distingue globalement trois catégories de sources de chaleur : non renouvelables, de récupération et renouvelables.



La **chaleur non renouvelable** implique généralement l'utilisation de combustibles, ce qui crée des émissions de CO₂ (et souvent d'autres polluants). Bien que l'énergie nucléaire (et sa chaleur perdue, voir ci-dessous) émette peu de CO₂ par rapport au pétrole et au gaz, l'approvisionnement en uranium est limité et se fait souvent par des exportations. Cette ressource se comporte donc davantage comme un combustible fossile (source de chaleur résiduelle, voir ci-dessous).



La **chaleur résiduelle** ou de récupération est un flux de pertes produites par un autre système, tels que les rejets thermiques d'une centrale à charbon (utilisant, évidemment, des combustibles fossiles) ou d'un incinérateur de déchets. Bien que ces systèmes limitent les émissions en réutilisant la chaleur « perdue » existante, il ne s'agit pas en soi d'une énergie renouvelable, mais plutôt d'une optimisation de l'efficacité du système à l'origine de cette chaleur. Une chaleur résiduelle ne peut être qualifiée de « renouvelable » que si la source d'origine (dans l'exemple ci-dessus, le gaz) est entièrement remplacée par une source d'énergie elle-même renouvelable.



Enfin, les sources de **chaleur entièrement renouvelables** se régénèrent avec le temps et sont donc inépuisables, ce qui signifie qu'elles peuvent être utilisées indéfiniment. En outre, le CO₂ libéré lors de leur utilisation pour produire de la chaleur, par exemple avec les biocarburants ou la biomasse, peut théoriquement être réabsorbé lorsque la source de biocarburant repousse. D'autres sources de chaleur renouvelables reposent sur l'énergie solaire ou géothermique ou sur des sources présentes dans l'environnement local, comme l'aquathermie. sources rely on solar or geothermal heat, or ambient local sources like aquathermal energy.

ENCADRÉ 2: EXPRESSIONS COURANTES

Décarbonation :

réduction des émissions de CO₂ dans l'atmosphère. Il s'agit d'instaurer une tendance à la baisse.

Zéro émission (nette), neutralité carbone, neutralité climatique :

parvenir à des émissions (nettes) de gaz à effet de serre nulles sur une année. Les émissions de carbone peuvent par exemple être compensées grâce au marché du carbone (via des certificats de CO₂), au stockage du CO₂ ou à son absorption par les forêts (à noter que le marché du carbone et les certificats ne sont pas toujours crédibles ou fiables). L'objectif de parvenir à zéro émission (nette) ou à la neutralité carbone étant lié à l'atténuation du changement climatique, on parle également de « neutralité climatique ».

Zéro énergie (nette), neutralité énergétique :

la quantité d'énergie utilisée sur une année est égale à la quantité d'énergie renouvelable produite. L'utilisation de combustibles fossiles est toujours autorisée mais doit être compensée par la production d'énergie renouvelable sur place. Par conséquent, la neutralité énergétique ne signifie pas nécessairement qu'un système énergétique est exempt de combustibles fossiles. Lorsque qu'un système produit plus d'énergie qu'il n'en consomme sur une année, on dit qu'il est « à énergie positive ».

Sans énergie fossile :

désigne un système énergétique fonctionnant avec zéro combustible fossile et où ce type de ressources est entièrement interdit. La compensation des émissions de carbone n'est pas autorisée.

Circulaire :

la circularité et l'économie circulaire font référence à un modèle de production et de consommation alternatif, une stratégie qui contribue théoriquement à la fois à la croissance économique et au développement durable. La circularité est généralement liée à l'utilisation des ressources naturelles et des produits, l'accent étant mis sur la réduction des déchets et des déversements via la réutilisation, le recyclage et le réemploi des matériaux. Toutefois, elle peut également inclure les cycles de l'énergie, de l'eau et des nutriments, en se concentrant par exemple sur les économies d'énergie pour en limiter les pertes. Un système énergétique circulaire réutilise l'intégralité des flux de pertes et des ressources avec pour seul apport une énergie renouvelable. Il fonctionne par lui-même, en autosuffisance. Mesurer le degré de circularité d'un système est difficile car il n'existe pas d'indicateurs numériques.



2.2 MISE EN ŒUVRE

La baisse de la demande entraîne une diminution de l'offre sur le marché. Par ailleurs, la réduction des besoins signifie aussi que le système énergétique peut être plus petit et moins coûteux, tant au niveau des collectivités que des bâtiments. Il est donc utile de savoir comment vos bâtiments peuvent être isolés. Les nouveaux bâtiments devront également être raccordés (faisant remonter la demande), c'est pourquoi il est important de tenir compte des travaux de construction envisagés dans la zone. La Figure 4 montre la hiérarchie des priorités en matière d'énergie via une série d'étapes qui permettent d'optimiser les systèmes de chaleur urbains.

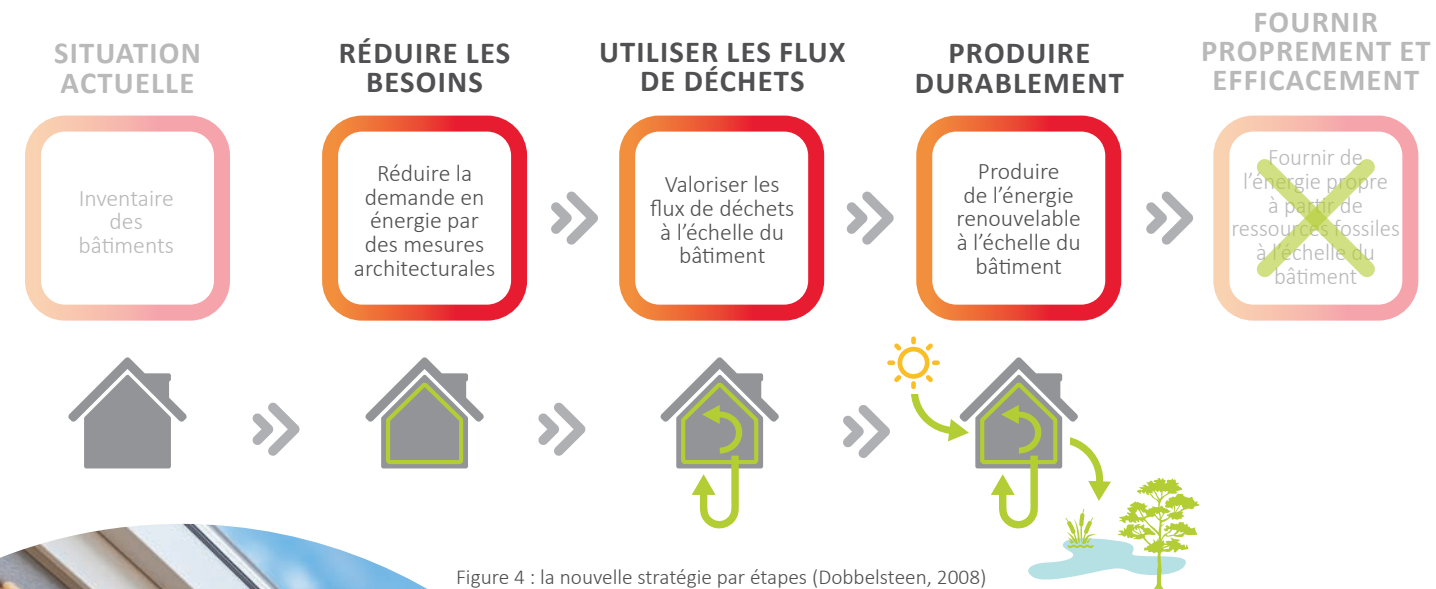


Figure 4 : la nouvelle stratégie par étapes (Dobbelsteen, 2008)



De même, il sera nécessaire d'étudier les sources de chaleur durable disponibles dans la région. Contrairement à l'électricité, la chaleur ne peut pas être transportée de manière rentable sur de longues distances, en particulier la chaleur à basse température (qui est ce que la plupart des sources durables produisent).

Certaines sources de chaleur durable peuvent fournir beaucoup d'énergie mais seulement en été. Une capacité de stockage saisonnier est donc essentielle pour pouvoir les utiliser. Certaines technologies de stockage saisonnier à grande échelle utilisent des aquifères, d'autres des réservoirs d'eau artificiels.

Une planification sur le long terme est nécessaire tout au long de ces étapes afin de définir votre situation finale, par exemple en 2050. Cette situation doit correspondre à un état qui vous permet d'atteindre vos objectifs en matière d'émissions de carbone (faibles ou zéro émission nette).

À des fins de faisabilité et de transparence, une vision doit donc être définie. Une fois la vision et les objectifs fixés, il est possible d'élaborer un parcours et une feuille de route pour les concrétiser.

Toutefois, pour atteindre les ambitieux objectifs de réduction des émissions fixés par la Commission européenne et les gouvernements des pays européens, ils devraient tous être mis en œuvre simultanément ! En installant d'abord un système de pompe à chaleur associé à une chaudière à gaz d'appoint (en soutien pour les jours de grand froid) pendant une période de transition, il sera possible de voir un impact partiel à court terme et l'habitation pourra passer ensuite à une énergie pleinement durable.

La section suivante applique l'approche structurée du projet SHIFFT (décrite plus en détail dans le module 3) et présente quelques exemples d'outils et de stratégies qui peuvent vous aider à planifier votre transition thermique.

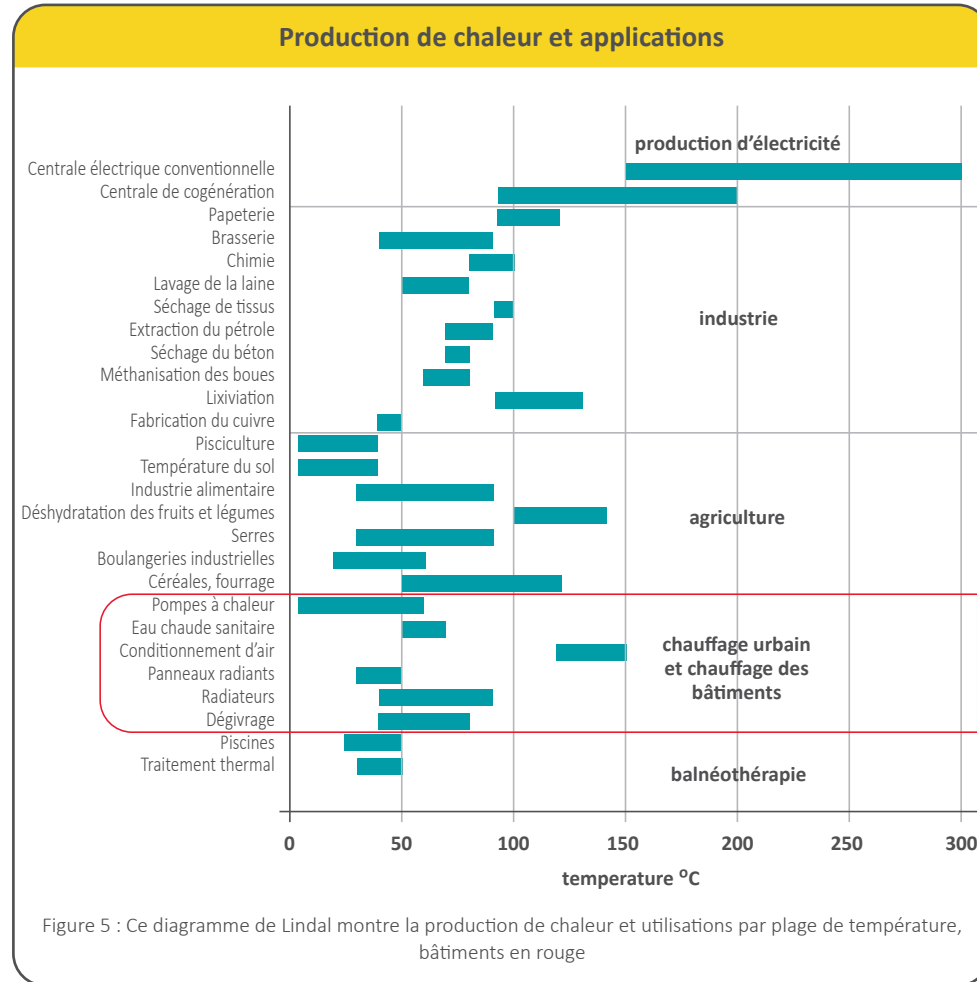


2.3. DÉVELOPPER UN SYSTÈME D'ÉNERGIE RENOUVELABLE

2.3.1. Contexte

La production de chaleur à grande échelle basée sur l'utilisation de combustibles fossiles est apparue avec la révolution industrielle. Ainsi, nous brûlons du gaz et du pétrole (ainsi que du charbon, du lignite, de la tourbe et d'autres types de vecteurs énergétiques) à une température atteignant souvent plusieurs centaines voire milliers de degrés Celsius. De nombreuses sources renouvelables fournissent de la chaleur à une température beaucoup plus basse. Toutefois, comme notre objectif est de créer une température de seulement 20 °C environ pour nos logements (et une quantité d'énergie encore plus faible pour chauffer l'ECS à 65 °C), ce n'est pas un problème.

L'exergie mesure la quantité de travail utile que l'on peut tirer d'un type d'énergie. Les sources de combustible qui brûlent à très haute température peuvent être utilisées pour chauffer des habitations, mais aussi pour faire fondre de l'acier ou faire fonctionner des véhicules. Les sources de chaleur renouvelables à basse température, elles, sont généralement caractérisées par une plus grande abondance et/



ou des chaînes d'approvisionnement plus courtes et moins coûteuses (comme pour la production d'hydrogène et divers types de biomasse). C'est pourquoi il est souvent préférable de les utiliser pour des usages de meilleure qualité. La Figure 5 donne une idée des sources et usages de la chaleur pour différentes températures.



Le **Coefficient de Performance (COP)** est un autre facteur d'efficacité important (lié aux pompes à chaleur). Il exprime le rapport entre l'électricité consommée et la chaleur produite. Un simple chauffage à résistance électrique consomme de l'électricité et en convertit 100 % en chaleur. Cependant, pour la même quantité d'électricité, une pompe à chaleur géothermique (GSHP) en produit généralement 3 à 4 fois plus ! La différence réside dans le fait que la pompe aspire en plus la chaleur environnante, c'est-à-dire celle du sol, et augmente sa température. Le facteur de performance saisonnier (SPF) est le COP moyen sur une saison (de chauffage) complète.



Figure 6 : coefficients de performance d'un chauffage électrique à gauche et d'une pompe à chaleur à droite. Les 3 kW de chaleur environnante provenant des échangeurs géothermiques (ici en orange) font toute la différence.

2.3.2. Situation actuelle (et future)

La première étape pour élaborer un plan de transition thermique, consiste à cartographier et à comprendre l'état actuel du patrimoine bâti et du système énergétique dans votre zone.

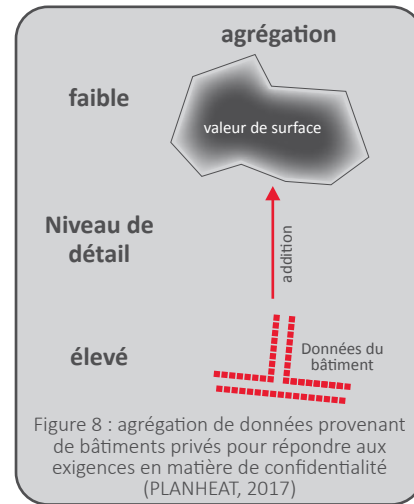
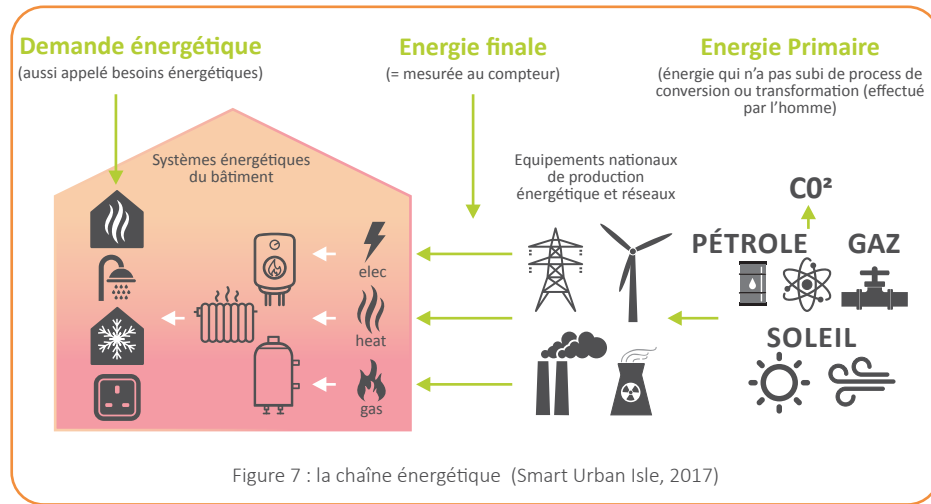
Quelle est la quantité d'énergie nécessaire ? À chaque étape de la chaîne énergétique, seule une partie de l'énergie de départ est convertie en énergie que nous pouvons utiliser. Chacune d'elles doit donc être prise en compte car tous les types de systèmes de chauffage ont leur propre chaîne d'approvisionnement. La Figure 7 ci-dessous montre que la valeur que nous mesurons correspond à ce qui sort du système énergétique national/mondial, avant sa conversion pour répondre à nos besoins localement (c'est-à-dire à l'intérieur des bâtiments). En pratique, nous avons tendance à travailler avec l'énergie finale car elle est presque toujours mesurée à des fins de facturation et donc facile à obtenir.

Les données relatives à la **consommation d'énergie** peuvent généralement être obtenues auprès des opérateurs du système (distribué) local. Il arrive que certaines zones (un quartier, par exemple) ne disposent que d'une seule source

de chaleur (gaz, chauffage urbain), alors que d'autres en auront plusieurs. Bien que les chiffres annuels soient généralement utilisés par défaut, les chiffres mensuels sont très utiles, car ils indiquent les pics de demande.

Comparer les flux d'énergie primaire et les taux de conversion entre les systèmes à énergie non renouvelable et renouvelable (par exemple, les panneaux solaires thermiques par rapport aux centrales à charbon) est moins utile. Toutefois, cela reste essentiel pour mesurer l'impact de chaque système en matière d'émissions de CO₂.

La consommation d'énergie dépendant directement de chaque individu, ces informations sont considérées comme relevant de la vie privée et soumises au Règlement général sur la protection des données (RGPD). En Flandre, cela s'applique également aux étiquettes énergie (voir la section 2.3.3 ci-dessous). Pour contourner ce problème, il est possible de procéder par agrégation, c'est-à-dire de demander à l'exploitant du réseau la consommation moyenne d'un nombre minimum d'habitations pour que ces données soient considérées comme anonymes selon la législation nationale (par exemple, 50).



S'il existe déjà des plans de démolition, de rénovation ou de construction de nouveaux bâtiments, ceux-ci doivent également être inclus dans vos efforts de planification. En effet, ils influenceront la demande en chaleur sur le territoire, que ce soit en plus ou en moins, et joueront sur la rentabilité du réseau de chaleur en faisant de celui-ci une option économique, ou au contraire, désavantageuse si le nombre de clients diminue. Ces éléments doivent être cartographiés et pris en compte.



2.3.3. Réduction de la demande

La réduction de la demande en chaleur peut avoir deux origines : le bâtiment ou le comportement des utilisateurs.

Les bâtiments ont une longue durée de vie. Quelle que soit la source de chaleur choisie pour un bâtiment, un quartier ou une ville, l'isolation thermique des murs, fenêtres, toits et vides sanitaires réduira la demande en chauffage, et donc la facture d'énergie, sur toute cette durée. Elle permettra également au système énergétique qui fournit cette chaleur d'être plus petit et donc moins coûteux. Enfin, la température du système de chauffage pourra être abaissée, rendant possible l'utilisation de sources à (plus) basse température.

Le système de distribution de la chaleur à l'intérieur des bâtiments doit également être pris en compte. En voici quelques exemples :

- **Radiateurs et convecteurs** : type de système de distribution de chaleur le plus courant. Il s'agit d'échangeurs de chaleur eau-air qui fonctionnent généralement à des températures élevées (50-90 °C) en fonction de la qualité de l'isolation thermique du bâtiment. Une convection forcée assurée par un petit ventilateur peut permettre d'augmenter légèrement l'efficacité.
- **Chauffage au sol** : serpentins de chauffage posés sous le plancher qui fonctionnent à basse température (par exemple 35-40 °C). Convient aux sources de chaleur à basse température.
- **Chauffage à air (HVAC)** : l'air est chauffé de manière centralisée et distribué dans le bâtiment.
- **Chauffage électrique** : une résistance convertit l'électricité en chaleur. Le coefficient de performance (COP) est de 1, alors que celui des pompes à chaleur va de 2 à 4.
- **Panneaux infrarouges** : ils peuvent fournir de la chaleur à votre corps directement (plutôt qu'indirectement en chauffant l'espace et les murs). Cette option peut être souhaitable si l'espace à chauffer est vaste, partiellement occupé, mal isolé ou utilisé uniquement pendant de courtes périodes. En revanche, ce type d'installation augmente la tension sur la capacité du réseau électrique lorsqu'il est utilisé en grande quantité.



Figure 9 : amélioration de l'isolation d'un immeuble d'habitation existant (appartement de démonstration à Breda où l'isolation a été délibérément laissée à nu et visible)

Légende

□ Etiquette Verte	■ Classe A++	■ Classe C
■ Classe A++++	■ Classe A+	■ Classe D
■ Classe A+++	■ Classe A	■ Classe E
■ Classe A++	■ Classe B	■ Classe F
	■ Classe G	

ENCADRÉ 3 : ÉTIQUETTE DE PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE DES BÂTIMENTS

Grâce à la directive européenne sur la performance énergétique des bâtiments (DPEB), les étiquettes énergie des bâtiments sont de plus en plus facilement accessibles. En les indiquant sur une carte (comme pour Middelbourg dans la Figure 10), elles permettent de se faire une idée de la qualité (ou de la médiocrité) thermique des bâtiments de la zone. Lorsque des rapports d'inspection détaillés sont disponibles, il est également possible de connaître le type de système énergétique actuellement installé.

Le site britannique Heating Hub répertorie un large éventail de réglages optimisés pour les chaudières <https://www.theheatinghub.co.uk/mission>

Les mesures suivantes peuvent permettre d'améliorer l'efficacité du système énergétique actuellement utilisé dans un bâtiment (par exemple, une chaudière à gaz) :

- Optimiser les réglages du système (notamment les vannes thermostatiques des radiateurs)
- Utiliser la chaudière de manière plus efficace, par exemple en réduisant la température de départ
- Maintenir une pression d'eau suffisante dans le radiateur
- Contrôler annuellement la bonne mise en œuvre des mesures susmentionnées
- Utiliser des ventilateurs de radiateur pour améliorer la circulation de la chaleur
- Poser une feuille d'aluminium derrière les radiateurs

Les options les plus efficaces dépendent du système énergétique installé. Comme pour le comportement des utilisateurs ci-dessous, informer les personnes de l'existence de ces options toutes simples peut contribuer à réduire la consommation de chauffage.

Les utilisateurs peuvent également jouer un rôle important dans les économies d'énergie en modifiant leur comportement. Les mesures suivantes peuvent permettre de chauffer les bâtiments et l'eau de manière plus efficace :

- Baisser le thermostat de quelques degrés pendant la journée (par exemple 19 °C au lieu de 20 °C)
- Couper le chauffage la nuit (en baissant encore plus le thermostat)
- Fermer les fenêtres lorsque le chauffage est allumé
- Chauffer moins de pièces (juste le salon, par exemple)
- Fermer les portes (pour ne pas chauffer inutilement les couloirs et les chambres)
- Prendre des douches plus courtes (1 ou 2 minutes suffisent déjà à faire la différence sur la facture annuelle)
- Prendre des douches plutôt que des bains (moins d'eau chaude nécessaire)

Il existe de nombreux moyens de limiter sa consommation mais ils ne sont pas connus de tous. Faire connaître ces mesures peut permettre aux citoyens de réduire leurs factures de chauffage et à la ville de baisser sa demande en chaleur.

Scans thermographiques de façades à Bruges

La ville de Bruges (Belgique) mène une étude de grande ampleur sur la qualité de l'isolation de ses bâtiments. Une voiture équipée d'une caméra thermique a scanné les 10 000 logements du quartier d'Assebroek lors d'une journée très froide. Les images infrarouges ainsi obtenues montrent les performances des façades (et des toits) et permettent de déterminer l'état de l'isolation thermique tant pour les propriétaires que pour la ville. Les habitants sont informés des résultats pour leur logement et se voient proposer des rendez-vous d'accompagnement pour recevoir des conseils en énergie.

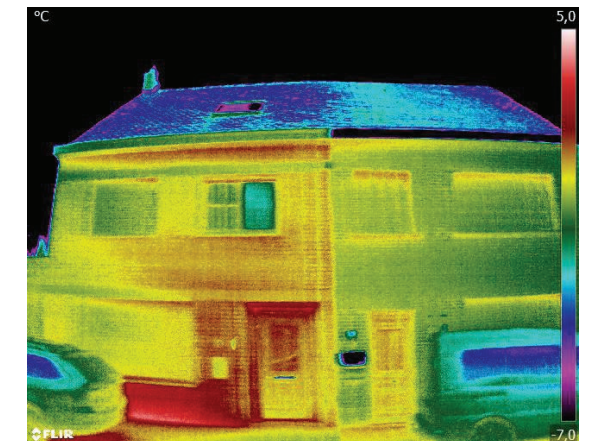


Figure 12 : À gauche : scan thermographique d'une façade, la maison de gauche perd plus de chaleur que celle de droite. À droite : photo du véhicule équipé



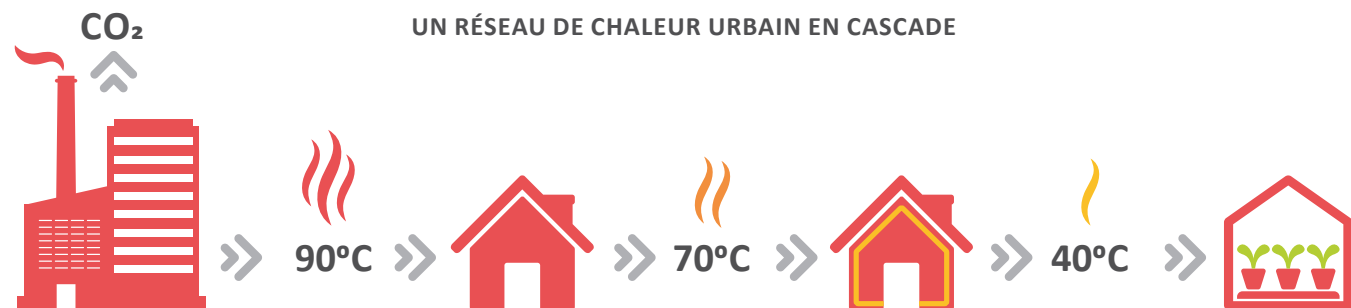
2.3.4. Potentiel d'approvisionnement

L'objectif de la transition énergétique étant d'éliminer progressivement les sources de chaleur non renouvelables, deux types de sources sont envisagées : les résiduelles et les renouvelables.

Les sources résiduelles sont par exemple la chaleur perdue d'une centrale électrique, d'une usine ou d'un incinérateur de déchets. Ce sont généralement des sources à haute température. À moins que les sources de cette chaleur ne soient elles-mêmes renouvelables, il s'agit seulement d'utiliser les combustibles fossiles (à la source) plus

efficacement. À court terme, leur utilisation permet de réduire les émissions de CO₂ d'un quartier ou d'une ville, mais à long terme, il sera nécessaire de les remplacer par une source à haute température renouvelable et appropriée.

Les sources à haute température peuvent être utilisées pour créer des réseaux de chauffage urbain en cascade. La chaleur « perdue » d'une usine est alors utilisée pour chauffer des bâtiments particulièrement énergivores. Les maisons bien isolées se servent ensuite du circuit de retour comme source de chaleur. Dans cet exemple, le circuit de retour des maisons permet aussi de chauffer une serre.



Les sources renouvelables peuvent produire de la chaleur indéfiniment avec zéro émission nette de carbone (voir la section 2.3.6). Elles proviennent notamment des énergies solaire thermique, géothermique, aquathermique et de la biomasse. Certaines sources sont à basse température et nécessitent une pompe à chaleur, d'autres sont générées à grande échelle et doivent être distribuées via un réseau de chaleur. Pour ces deux technologies, l'électricité consommée pendant le fonctionnement doit également venir d'une source renouvelable. Ces sources de chaleur sont généralement liées à des technologies spécifiques, comme l'explique ce module. En voici quelques exemples :

- **Solaire thermique** : source saisonnière. Les panneaux peuvent être posés sur les toits ou couvrir de grands espaces ouverts.
- **Aquathermie** : source saisonnière. Des échangeurs de chaleur (et des pompes à chaleur) exploitent les eaux de surface.
- **Géothermie superficielle** : exploitée grâce à des pompes à chaleur géothermiques (GSHP).
- **Géothermie profonde** : source constante permettant une production en grand volume. Il est préférable de l'associer à une demande en chaleur constante (provenant de plusieurs bâtiments) et/ou à un système de stockage saisonnier. Plusieurs puits peuvent interférer les uns avec les autres, d'où l'importance de bien planifier l'aménagement souterrain et d'agir de manière coordonnée.

MÉTHODE DE CALCUL POUR LES SOURCES THERMIQUES INTERMITTENTES À BASSE TEMPÉRATURE : ÉNERGIE DIRECTE OU STOCKÉE

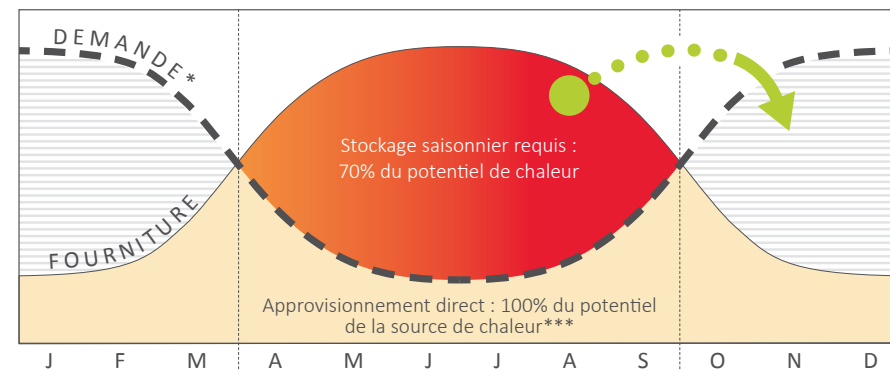


Figure 10 : Un stockage saisonnier est requis pour permettre une utilisation complète d'une source de chaleur saisonnière

- **Biomasse** : elle peut provenir de forêts de production ou de champs agricoles dédiés (par exemple, pour la paille) mais aussi de flux de déchets comme les tontes des espaces verts publics. La biomasse sèche peut être stockée un certain temps pour une production de chaleur à haute température à la demande, mais sa disponibilité est généralement très limitée. La qualité de la biomasse est importante.
- **Biogaz** : presque toujours produit à partir de la (co-) fermentation de déchets. Il est possible de le stocker mais sa disponibilité est généralement limitée. Il peut être coûteux et sa distribution et son utilisation nécessitent une attention particulière.
- **Hydrogène** : vecteur et non source de chaleur. Sa production requiert de l'électricité, qui doit provenir d'une source renouvelable pour qu'il puisse lui-même être qualifié de renouvelable ou de « vert ».

Comme évoqué ci-avant, en Europe, la demande saisonnière en chaleur ne correspond pas toujours à l'offre saisonnière de chaleur renouvelable (cf. Figure 10). Les sources renouvelables soumises à des fluctuations saisonnières doivent donc être associées à des systèmes de stockage pour que leur potentiel puisse être pleinement exploité. Sans stockage, la majeure partie de la chaleur produite en été ne pourra pas être utilisée, et inversement, en hiver, l'offre risque d'être insuffisante (voir aussi Figure 10).

* Courbe de demande pour définir la répartition entre consommation directe et indirecte, supposée suivre une courbe inverse à la fourniture, la consommation de base étant l'ECS. Cela se traduit approximativement par 20% du potentiel technique combiné d'une source non conventionnelle en été sans stockage, jusqu'à 80% avec une quantité suffisante de stockage, et 100% du potentiel combiné des mois d'hiver.

Ces chiffres sont ensuite additionnés à un seul nombre de GJ pour chaque cellule de la trame résultante.

** Facteur d'efficacité du stockage saisonnier (estimation)

*** Pour certaines sources et certains lieux, la fourniture de chaleur pendant la saison de forte demande peut être nulle, ce qui signifie que toute l'énergie potentielle disponible devra être stockée de façon saisonnière.

Quelques exemples de systèmes de stockage thermique saisonnier sont présentés ci-dessous :

- **Stockage d'énergie thermique en aquifère (ATES)** : exploite une couche du sous-sol appropriée contenant de l'eau. Comme pour les sources géothermiques, plusieurs systèmes risquent d'interférer les uns avec les autres, d'où l'importance de bien planifier l'aménagement souterrain.
- **Stockage d'énergie thermique en champ de sondes (BTES)** : comme son nom l'indique, ce système repose sur l'installation de sondes souterraines qui agissent comme des échangeurs de chaleur avec le sol environnant. Les lieux adaptés à sa mise en place sont nettement plus nombreux que pour les stockages ATES (et la proximité avec les systèmes voisins pose moins de problèmes) mais sa capacité est plus limitée.
- **Stockage d'énergie thermique en cavité (CTES)** : système s'appuyant sur de grands volumes d'eau contenus dans des cavités ou des mines désaffectées. Ce système n'entraîne pas de coûts d'excavation (voir système PTES ci-dessous) mais exige qu'une cavité ou mine accessible et adaptée se trouve à proximité.

■ **Stockage d'énergie thermique en fosse (PTES)** : il s'agit d'une fosse artificielle dotée d'un revêtement, remplie d'eau/ de gravier et recouverte d'un isolant. Il existe quelques projets de ce type en Europe (par exemple à Vojens, au Danemark) qui utilisent simplement de l'eau en très grands volumes (plusieurs centaines de milliers de m³) pour stocker la chaleur de manière saisonnière. Pour que ces projets réussissent, le terrain doit être très peu coûteux et posséder de préférence un niveau phréatique très bas pour que le sol fournisse une isolation supplémentaire.

Cartographier le potentiel énergétique est crucial pour comprendre les options dont vous disposez et la quantité d'énergie qu'elles peuvent fournir. En peu de mots, il s'agit de représenter l'emplacement des sources de chaleur et leur capacité (ainsi que leur catégorie, en fonction de la température). Pour cela, les outils suivants sont nécessaires :

- Des indicateurs spatiaux appropriés
- Une carte montrant la répartition sur la zone étudiée
- Le rendement des technologies de conversion par m².

Il est ainsi possible, par exemple, de calculer le **potentiel solaire thermique des toits** :

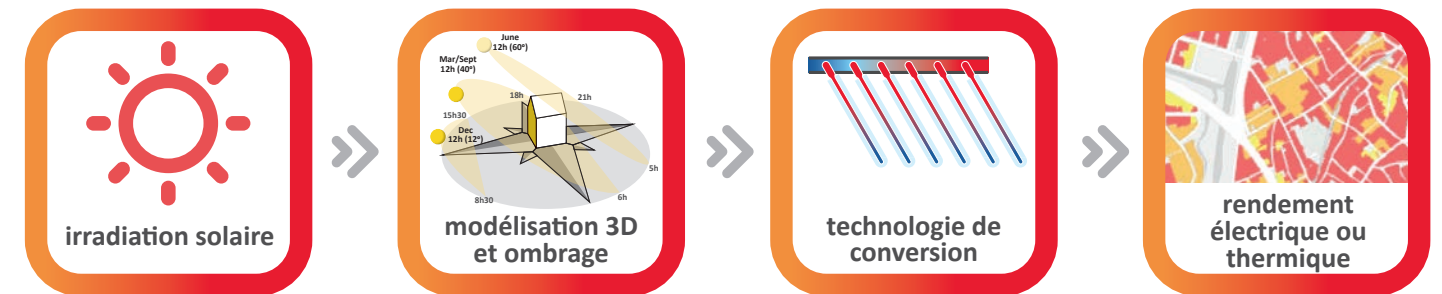
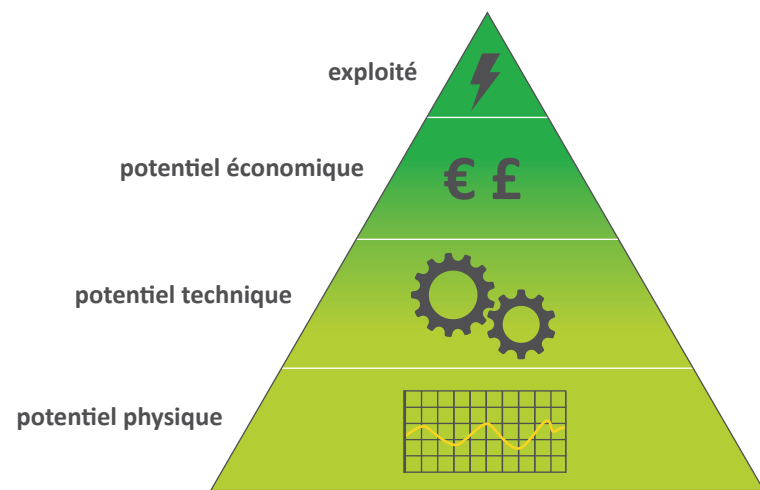


Figure 11 : potentiel thermique solaire des toits (Michiel Fremouw, 2011)

L'institut météorologique national peut fournir les données d'ensoleillement de la zone qui vous intéresse (les variations sont relativement négligeables sur de courtes distances, ce qui permet d'utiliser un seul chiffre pour les villes de taille petite à moyenne). Les modélisations de bâtiment en 3D (comme celles de l'outil néerlandais 3DBAG, <https://3dbag.nl/>) quand elles existent, peuvent fournir des images très précises. Pour les toits plats, de simples empreintes des bâtiments peuvent suffire à démarrer, mais pour les autres, il sera nécessaire de modéliser les types de constructions les plus courants et leurs orientations. Enfin, la dernière variable à prendre en compte est la technologie de conversion utilisée. Dans le cas présent, un panneau solaire thermique peut convertir environ 35% de l'ensoleillement reçu sur une année en chaleur utile. En multipliant toutes ces variables entre elles, on obtient une carte technique du potentiel solaire thermique. potential map.

D'autres contraintes peuvent bien sûr être ajoutées pour rendre l'estimation du potentiel encore plus réaliste, notamment celles qui apparaissent dans la Figure 14. Vous pouvez prendre en compte la capacité portante et l'orientation des toits, laquelle peut être favorable ou non, , les régimes de propriété ou encore les différents usages des bâtiments. Ces facteurs permettront d'améliorer la planification initiale et d'éclairer le processus de décision.



Niveaux de potentiel énergétique (Michiel Fremouw, 2012)



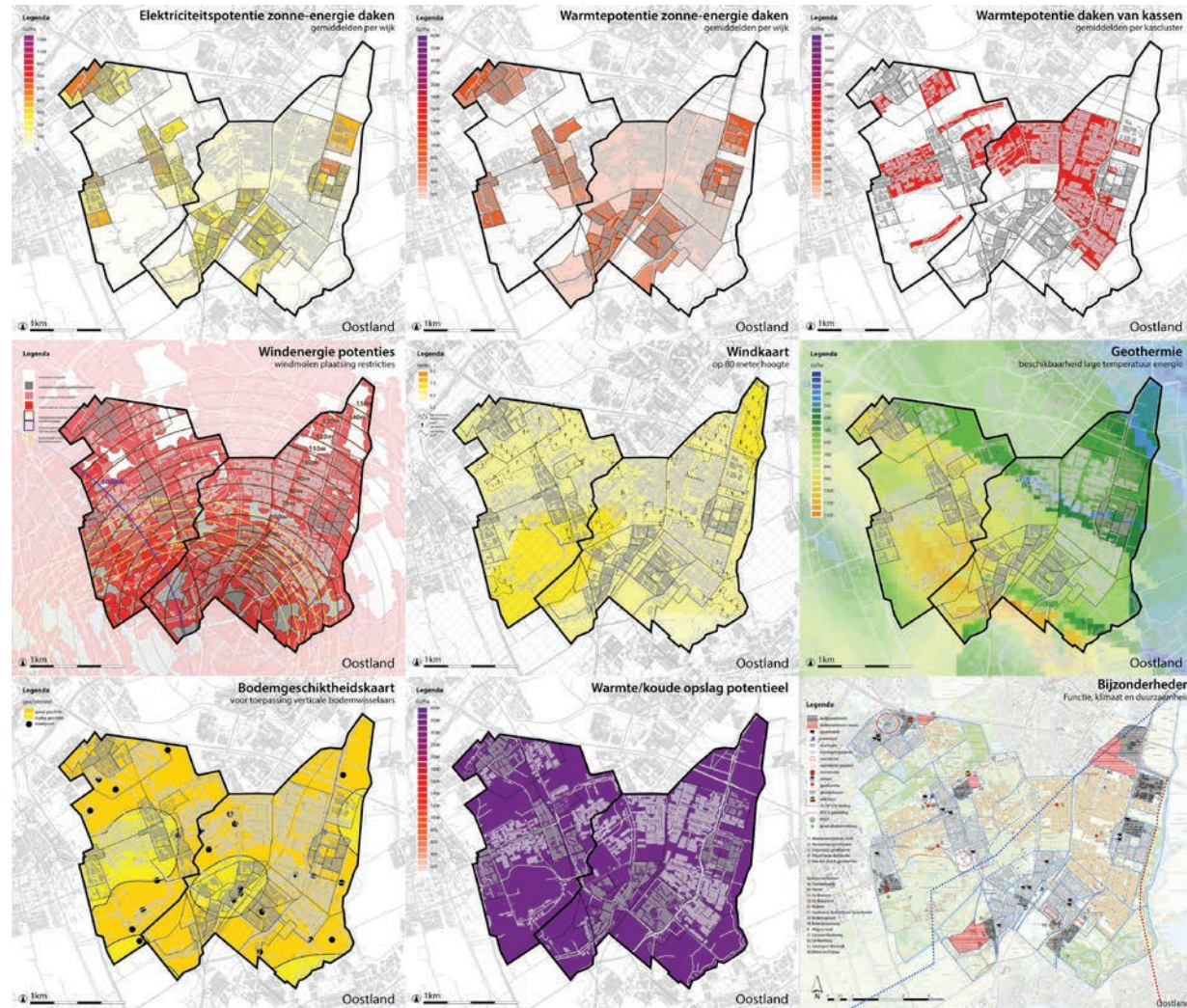


Figure 13 : carte de la demande, de l'offre et de potentiels de stockage souterrain pour la région d'Oostland (Pays-Bas). Source : Broersma et al., 2013.

Pour obtenir une évaluation réaliste du potentiel d'une source de chaleur, il est nécessaire d'analyser et de prendre en compte un éventail aussi large que possible de facteurs et de contraintes. La Figure 14 montre neuf cartes relatives au potentiel de la région d'Oostland, aux Pays-Bas. Du coin supérieur gauche au coin inférieur droit, on retrouve : potentiel photovoltaïque des toits ; potentiel thermique solaire des toits ; potentiel thermique solaire des serres ; potentiel d'implantation d'éoliennes (notamment les restrictions de hauteur à cause d'un aéroport au sud) ; vitesse du vent à 60 mètres d'altitude ; potentiel géothermique profond ; adéquation aux GSHP ; et potentiel et particularités en lien avec les systèmes ATES (par exemple : chaleur perdue des supermarchés et des piscines).

ENCADRÉ 4: POTENTIEL DE LA BIOMASSE FORESTIÈRE À FOURMIES

La ville de Fourmies (France) est située dans une région forestière et prévoit donc de construire un réseau de chauffage urbain au bois pour ses bâtiments publics. Les forêts ne sont pas les seules à être considérées comme des sources de biomasse. Les restes de bois industriel et de construction en sont aussi. Afin de déterminer la quantité de bois qui pourrait être fournie localement, un inventaire des différents types d'espaces verts dans le périmètre de la ville a été réalisé à l'aide des bases de données TOPO et SIGNALE.



Figure 14 : Carte de l'utilisation des sols à Fourmies, zones de végétation colorées en vert

Le potentiel du bois en tant que combustible a été estimé entre 19,5 et 32,8 GWh/an. Les étapes suivantes consistent à identifier les propriétaires de chaque parcelle et à étudier la capacité de stockage du bois récolté.

S'agissant du potentiel d'approvisionnement, il est judicieux de considérer également la région environnante. Il est possible qu'une source de chaleur importante se trouve juste en dehors de la ville ou qu'une coopération avec une commune voisine puisse améliorer l'analyse de rentabilité du réseau de chauffage urbain.

Stratégies énergétiques régionales

En 2018, le gouvernement néerlandais a négocié un « Accord sur le climat » national, en étroite collaboration avec les acteurs de la société civile et des secteurs public et privé. Il proposait notamment une approche régionale de la gouvernance, avec un découpage du pays en trente « régions énergétiques » (les Pays-Bas comptant 340 communes) contribuant équitablement à l'objectif national en matière d'énergies renouvelables, c'est-à-dire à la production d'au moins 35 TWh d'énergie éolienne et solaire dans le but de réduire les émissions de CO₂ de 49 % d'ici 2030 (sur la base des niveaux de 1990).

L'Accord sur le climat ainsi que la loi sur le climat de 2019 s'y rapportant pourraient ouvrir la voie à l'élaboration et à la mise en œuvre de « stratégies énergétiques régionales »

(SER), donnant à la gouvernance régionale de la transition énergétique un caractère concret et visible. Outre l'accent mis sur l'énergie solaire et éolienne, les SER concernent également la production de chaleur (dans une certaine mesure). En effet, il s'agit de développer des systèmes de chauffage régionaux qui concernent en particulier les sources de chaleur et les infrastructures non soumises à la compétence des mairies et pour lesquelles une coordination intercommunale est nécessaire (Hoppe, 2021).

La province de Zélande (dans laquelle se trouve Middelbourg) forme l'une de ces régions et a été la première à finaliser et approuver sa SER en 2020. Plus d'informations sont disponibles ici : <https://www.zeeuwsenergieakkoord.nl/>



2.3.5. Choix stratégiques

Cartographier l'offre et la demande est fondamental mais en termes concrets, il ne s'agit que du début du processus. L'élaboration de la stratégie et (à divers degrés) la prise de décisions opérationnelles doit par la suite impliquer les parties prenantes de manière significative (voir le module 1 de ce guide) et tenir compte des facteurs socio-économiques, politiques et autres (voir le module 3). Cette section explore la façon dont ces facteurs plus larges peuvent influencer les choix technologiques et décrit certaines options qui peuvent être envisagées lorsqu'elles sont disponibles.

La première question, pour prendre des décisions relatives à une stratégie, est la suivante :

« Quel est votre objectif ? »

Pour cela, vous devez vous informer sur la situation actuelle et future (voir la section 2.3.2), sur les possibilités d'optimisation (section 2.3.3) et sur les types d'énergies renouvelables présents dans la zone et la région avoisinante (section 2.3.4).

Une fois ces éléments connus, il devient beaucoup plus facile d'identifier les meilleurs parcours pour atteindre vos objectifs, les décisions à prendre, et les territoires et moments opportuns pour agir. Votre carte du potentiel énergétique devient alors une carte des zones thermiques, qui permet de prendre des décisions fondamentales relatives au système en tenant compte non seulement des facteurs techniques mais aussi socio-économiques, de gouvernance et autres.

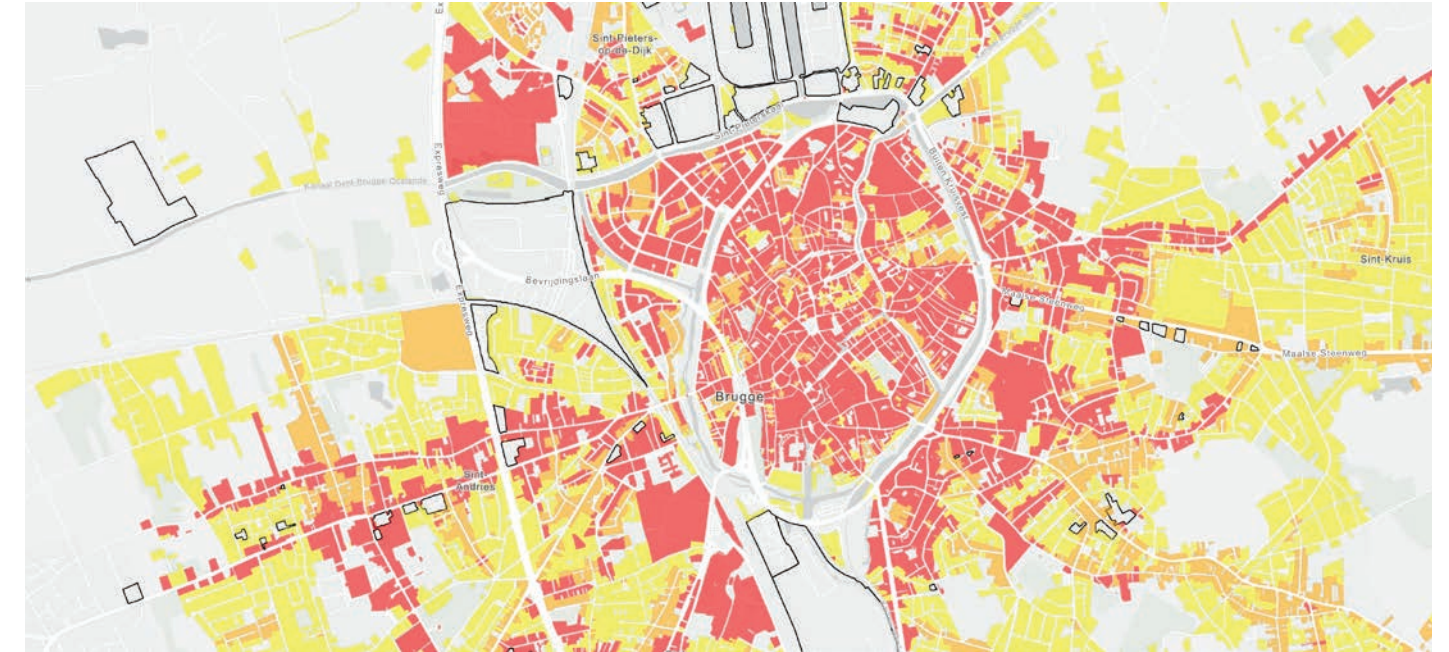




Les efforts de la Municipalité peuvent accélérer la décarbonation de la chaleur à l'échelle communale.

Plans des zones thermiques à Bruges

La ville de Bruges (Belgique) a étudié son parc immobilier et les sources de chaleur à sa disposition et a présenté en 2021 son plan des zones thermiques (disponible en ligne sur le site <https://www.brugge.be/warmtekaart2050>).



Solution proposée

Individuelle **Selon contexte** **Collective** **Zones commerciales et industrielles**

Figure 15 plan des zones thermiques de Bruges : solutions proposées par quartier. Source : <https://www.brugge.be/warmtekaart2050>

Les facteurs inclus suivent en grande partie les étapes décrites dans la section 2.3. On retrouve : la demande en chaleur actuelle (densité linéaire de la demande) ; la demande en chaleur anticipée ; les politiques de rénovation (contexte socio-démographique) ; la stratégie de rénovation à long terme (objectifs nationaux) ; d'autres facteurs socio-économiques (tels que l'âge, le niveau de revenus, le régime de propriété des bâtiments ou leur statut de monument) ; et l'effet de rebond (lorsqu'une hausse de l'efficacité pousse les personnes à consommer plus d'énergie au lieu des économies escomptées).

Un même quartier ne doit pas nécessairement disposer d'un seul et unique système énergétique. Certains quartiers ont un parc immobilier diversifié (par exemple, des groupes de bâtiments datant d'avant 1945 entourés de complexes d'appartements des années 1960 et de quelques bâtiments des années 1990). Dans d'autres, ce sont les régimes qui diffèrent, avec des habitations occupées par leurs propriétaires (y compris des associations de copropriété dans les immeubles résidentiels), des logements sociaux détenus par des organismes et des logements appartenant à des propriétaires privés, ce qui peut rendre difficile l'adoption d'une seule solution de chauffage et nécessiter l'utilisation de plusieurs stratégies (adaptées aux différents types de régimes). Il peut donc être judicieux d'examiner les groupes de bâtiments similaires dans la zone afin d'identifier ceux qui pourraient partager un système énergétique et de repérer les bâtiments isolés qui devront disposer d'un système individuel.

La température est un facteur important (voir section 2.3.1). Dans les bâtiments mal isolés, les radiateurs doivent parfois être alimentés en chaleur à haute température pour assurer le confort. Toutefois, cela ne signifie pas que la source de cette chaleur doit être à haute température. Une source à basse ou moyenne température peut être chauffée localement à l'aide d'une pompe à chaleur adaptée (ou d'une chaudière d'appoint au gaz utilisée comme mesure transitoire).

En outre, il est possible de refaire l'isolation des bâtiments et de remplacer les radiateurs. Ainsi, les bâtiments pourront non seulement être chauffés avec des températures inférieures, mais ces mesures permettront également de réduire considérablement la demande (et donc la facture de chauffage). Considérant que tous les bâtiments ne peuvent pas être rénovés simultanément, des solutions transitoires peuvent être envisagées :

- Équiper les bâtiments d'une pompe à chaleur et d'une chaudière (à gaz) d'appoint : la chaudière ne se déclenche que pendant la courte période de l'année où la pompe à chaleur ne peut pas répondre à la totalité des besoins. Une fois l'habitation suffisamment isolée, elle peut être mise hors service.

- Développer un réseau de chauffage urbain à basse température, complété si nécessaire par des pompes à chaleur qui augmentent la température pour certains bâtiments spécifiques.

- Concevoir un réseau de chauffage urbain capable de prendre en charge les flux à basse température, c'est-à-dire une haute température au début qui peut être réduite lorsque a) des sources à plus basse température sont raccordées et b) les bâtiments sont adaptés.

La taille du système doit absolument être prise en compte. En effet, opter pour des installations individuelles ou, au contraire, des réseaux de chauffage est un choix en partie technique et en partie économique. L'aspect technique concerne d'une part les sources d'approvisionnement disponibles et les quantités qu'elles peuvent produire, et d'autre part, les besoins actuels et futurs (après rénovation) des bâtiments. Le choix économique, lui, est généralement déterminé par la densité de la demande. Si la demande en chaleur est importante dans une zone, un réseau la fournira à moindre coût par rapport à une série de systèmes individuels. En revanche, si elle ne compte que quelques bâtiments bien isolés, il peut être plus facile de les équiper de systèmes individuels (par exemple, une pompe à chaleur de type GSHP ou ASHP ou une chaudière à bois). La Figure 16 propose une représentation des systèmes de chauffage durables.

Systemes de chauffage durable

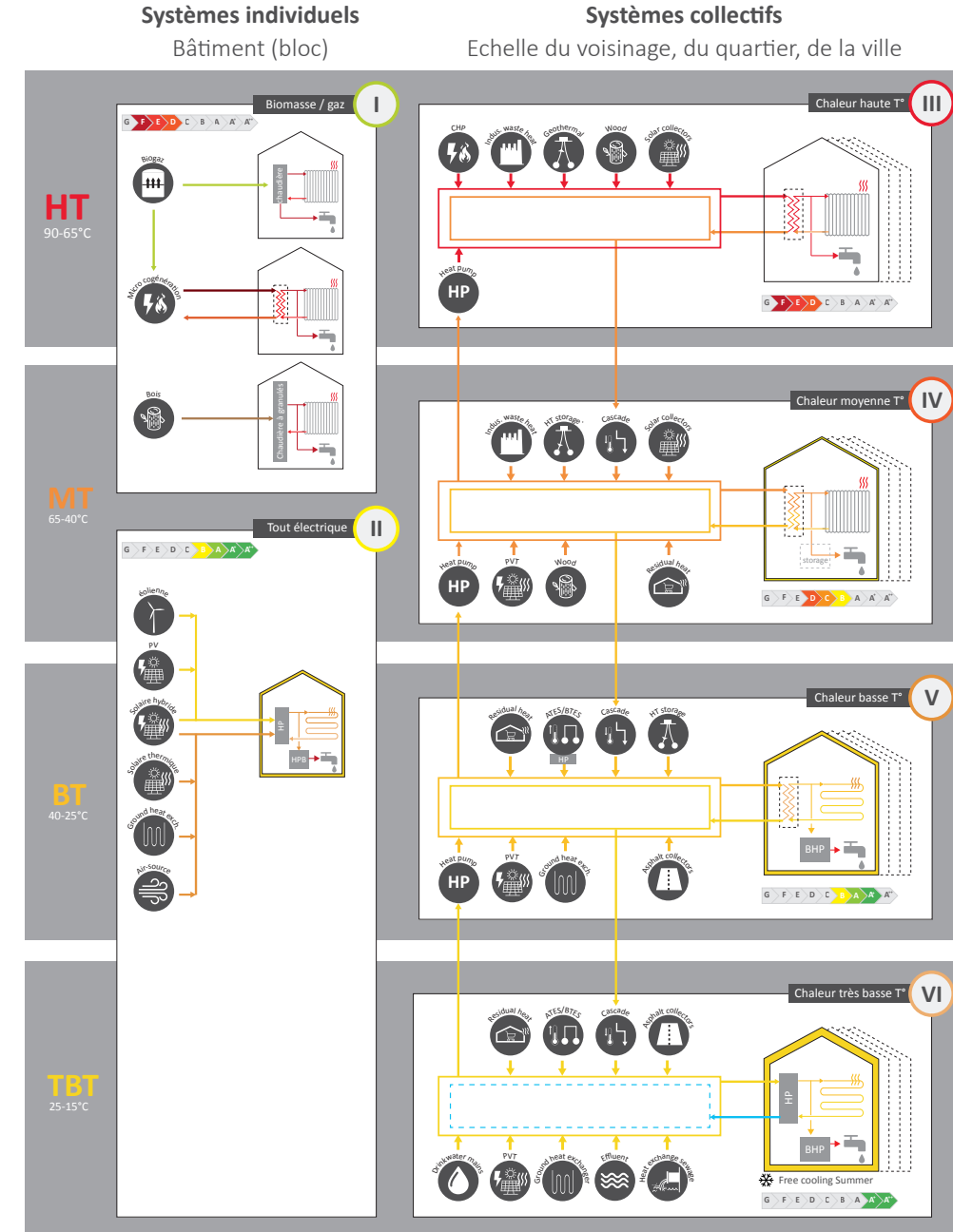


Figure 16 : Schéma des systèmes de chaleur durables par City-zen (City-zen 2019)

2.3.6. Mesure de l'impact

Ces plans et ces choix doivent avoir un impact et pour l'apprécier, il est nécessaire de disposer d'une « base de référence ». La consommation d'énergie doit donc être mesurée avant la mise en œuvre des actions pour pouvoir effectuer une comparaison avec la situation d'arrivée et voir dans quelle mesure elle s'est améliorée.

La section 2.3.2 décrit cette étape plus en détail. Les points importants sont les suivants :

- **Quelles** sont les sources de chauffage utilisées (pour une pompe à chaleur, cela inclut la source de chaleur environnante et l'électricité nécessaire à son fonctionnement) ?
- **Quelle quantité d'énergie** est utilisée à partir de chacune d'elles (ou quelle part d'une source d'énergie, par exemple l'électricité, est utilisée pour le chauffage) ?
- **Quelle est la quantité de CO₂** produite par unité de chaleur (si l'électricité d'une pompe à chaleur provient du réseau national plutôt que d'une source renouvelable, il y aura des émissions de CO₂) ?

Il existe parfois des statistiques nationales sur l'empreinte carbone des ménages que vous pouvez utiliser comme point de départ. Toutefois, ces chiffres peuvent inclure des données très globales (tenant compte de la consommation d'électricité pour l'éclairage et le fonctionnement des appareils mais également de l'alimentation ou des émissions des véhicules familiaux). Vous devez donc vous assurer qu'ils portent spécifiquement sur le système de chauffage.

Cette étape doit ensuite être répétée pour la nouvelle situation. Vous pourrez alors comparer la quantité de CO₂ économisée. Gardez à l'esprit que même si les sources de chaleur perdue permettent de réduire les émissions de CO₂ (cf. section 2.1), elles ne doivent pas être considérées comme durables si la source de chaleur originale ne l'est pas ! Cela vaut également pour l'hydrogène (qui peut être produit avec l'électricité « grise » du réseau) et la consommation électrique des pompes à chaleur (même si l'énergie environnante utilisée est évidemment renouvelable).



Partenaires 



Bailleurs de fonds 



Auteurs:

Michiel Fremouw (TU Delft),
Calum Harvey-Scholes (University of Exeter).

Contributeurs:

Lies Debbaut (Bruges),
Marie Henneron (Fourmies),
Winnie Versol (Middelburg).

Réviseurs:

Peter Connor (University of Exeter),
Thomas Hoppe (TU Delft).

Relecteurs:

Xavier Buisine,
Romain Gitton-Rivière (CD2E).

Published 2022
<https://shiffproject.eu>



Project Management: Ronan Doyle

Ce document est un résultat du projet européen SHIFFT qui est co-financé par l'Union Européenne sous le numéro de projet 2S06-009. SHIFFT a également reçu un co-financement de la province de Zuid-Holland sous la référence PZH-2019-683226948 DOS-2019-0000596, du Ministère néerlandais des affaires économiques et de la politique climatique sous la référence INTER2Z015, ainsi que de la province d'Anvers.