



Le risque de réchauffement climatique constitue une menace pour l'équilibre fragile de notre écosystème et doit donc être limité au niveau mondial. Pour y parvenir, nous devons diminuer les émissions de gaz à effet de serre (principalement de CO₂), qui sont en partie dues à la consommation énergétique des bâtiments. Diverses études estiment dès lors que la plupart des bâtiments auront d'ici 2050 une consommation énergétique nulle, voire seront producteurs d'énergie du fait de la réduction des besoins énergétiques et de l'utilisation massive des énergies renouvelables. Cet article présente différentes solutions qui permettraient de couvrir entièrement les besoins en chaleur grâce aux énergies renouvelables à l'horizon 2050. Nous passerons d'abord en revue la production d'énergie et les réseaux de distribution, puis appliquerons les scénarios envisagés aux bâtiments et aux installations eux-mêmes.

Comment nous chaufferons-nous en 2050 ?

Le 'tout-électrique' au niveau individuel ?

Aujourd'hui, on entend bien souvent par 'habitations à consommation énergétique nulle' des **constructions neuves dans lesquelles on cherche à atteindre un équilibre entre la production d'électricité renouvelable et la consommation électrique**. Ce concept est très bien adapté au cadre juridique et financier actuel et est relativement simple à mettre en œuvre sur le plan technique. **Combiner une bonne isolation, une étanchéité à l'air efficace et une ventilation de qualité permet en effet de réduire la puissance et la consommation énergétique d'un générateur de chaleur**. Une pompe à chaleur d'une puissance électrique de 2 kW (puissance thermique d'environ 8 kW) suffit, par exemple, à fournir une habitation individuelle en chauffage et en eau chaude sanitaire. Les panneaux solaires posés sur la toiture peuvent généralement être dimensionnés de manière à couvrir aussi bien la consommation électrique pour le chauffage que pour les appareils domestiques.

Si ce type de bâtiment a été correctement conçu, les compteurs électriques, qui tournent à l'envers en cas de surplus de production d'électricité, indiquent ainsi une consommation annuelle nulle. Tant que la puissance de crête installée est inférieure à 10 kW, les conditions limites en vigueur pour le raccordement au réseau électrique sont remplies et le réseau peut servir d'espace de stockage. **Toutefois, si cette solution était adoptée massivement au niveau d'un quartier ou de tout le pays, la configuration du 'tout-électrique' pourrait engendrer de nombreux problèmes**, à savoir :

- une surcharge du réseau électrique due à une production maximale des panneaux solaires et à une faible consommation d'électricité pour le chauffage lors des journées ensoleillées au printemps et en été. En revanche, presque tous les générateurs de chaleur électriques du quartier fonctionneraient en même temps durant les froides matinées d'hiver, ce qui augmenterait considérablement la demande (en plus de la consommation ordinaire)

- un déséquilibre à court terme entre la production et la consommation d'énergie renouvelable à l'échelle nationale (durant les périodes de pointe le matin et le soir après le coucher du soleil, ou lorsque d'importants besoins se manifestent durant les nuits sans vent)
- un déséquilibre saisonnier. Dans les habitations à faible consommation énergétique, la majorité des besoins en chauffage se font ressentir en hiver, autrement dit lorsque l'énergie solaire est la plus rare et que les autres appareils électriques continuent à fonctionner. Au printemps et en été, on observe, par contre, un important surplus de production d'énergie solaire.

Les problèmes à court terme (surcharge ou déséquilibre survenant tous les quarts d'heure, toutes les heures ou tous les jours) peuvent être atténués grâce à un réseau électrique intelligent (smart grid) qui décourage l'utilisation d'électricité durant les périodes de pointe et l'encourage lorsque l'énergie renouvelable peut être générée en

Combiner une bonne isolation, une étanchéité à l'air efficace et une ventilation de qualité permet de réduire la puissance et la consommation énergétique d'un générateur de chaleur.



suffisance. **Une autre option consiste à stocker la chaleur dans des réservoirs d'eau ou dans la structure du bâtiment et l'électricité dans une batterie (ou dans des voitures électriques)** (voir également p. 7-9). Bien que ces solutions requièrent souvent d'investir dans les systèmes de stockage et dans la réalisation de logements et de réseaux électriques intelligents, elles permettent de réduire les coûts de production et de distribution de l'énergie. Il n'est néanmoins pas facile de les appliquer à l'ensemble des habitations, d'autant plus s'il s'agit de logements existants mal isolés, aux besoins énergétiques élevés et équipés d'installations de forte puissance.

Les difficultés les plus sévères sont cependant liées au déséquilibre saisonnier : la technologie actuelle ne permet pas de stocker l'énergie solaire à long terme (six mois, par exemple) **dans les habitations individuelles.** Même si la géothermie peu profonde permet le stockage de la chaleur (et du froid) sur de longues périodes, une certaine quantité d'électricité reste toujours nécessaire pour faire fonctionner la pompe à chaleur en hiver. Comme vous avez pu le lire dans l'article consacré au stockage thermique (voir p. 7-9), le stockage individuel impliquerait en outre l'installation de systèmes imposants et coûteux. La solution du 'tout-électrique' n'est donc, selon nous, pas vraiment envisageable à l'échelle individuelle.

Des systèmes de stockage électrique collectifs fonctionnant au niveau d'un quartier sont à l'étude, mais ce sont surtout les systèmes de stockage thermique qui se révèlent bien plus compacts et efficaces lorsqu'un plus grand nombre de bâtiments y sont raccordés. Les systèmes de stockage collectif de la chaleur exigent toutefois une approche différente.

Production et distribution collectives

Parmi les sources d'énergie renouvelable disponibles en hiver, on compte la géothermie, mais aussi l'énergie éolienne et la biomasse. En ce qui concerne l'éolien, il est énergétiquement et financièrement plus intéressant de raccorder plusieurs grandes turbines au réseau électrique que de prévoir une petite éolienne pour chaque habitation. **Les réseaux de chaleur collectifs permettent par ailleurs de profiter au maximum des sources de chaleur suivantes :**

- la **géothermie profonde** (pompage de chaleur à température élevée dans les couches profondes du sol); celle-ci nécessite toujours un réseau de distribution de chaleur
- la **géothermie peu profonde**, qui peut également tirer parti d'un réseau de chaleur (à basse température), étant donné qu'une installation collective permet de réduire les coûts et de limiter les pertes de chaleur puisque la

chaleur et le froid sont stockés sur de plus longues périodes

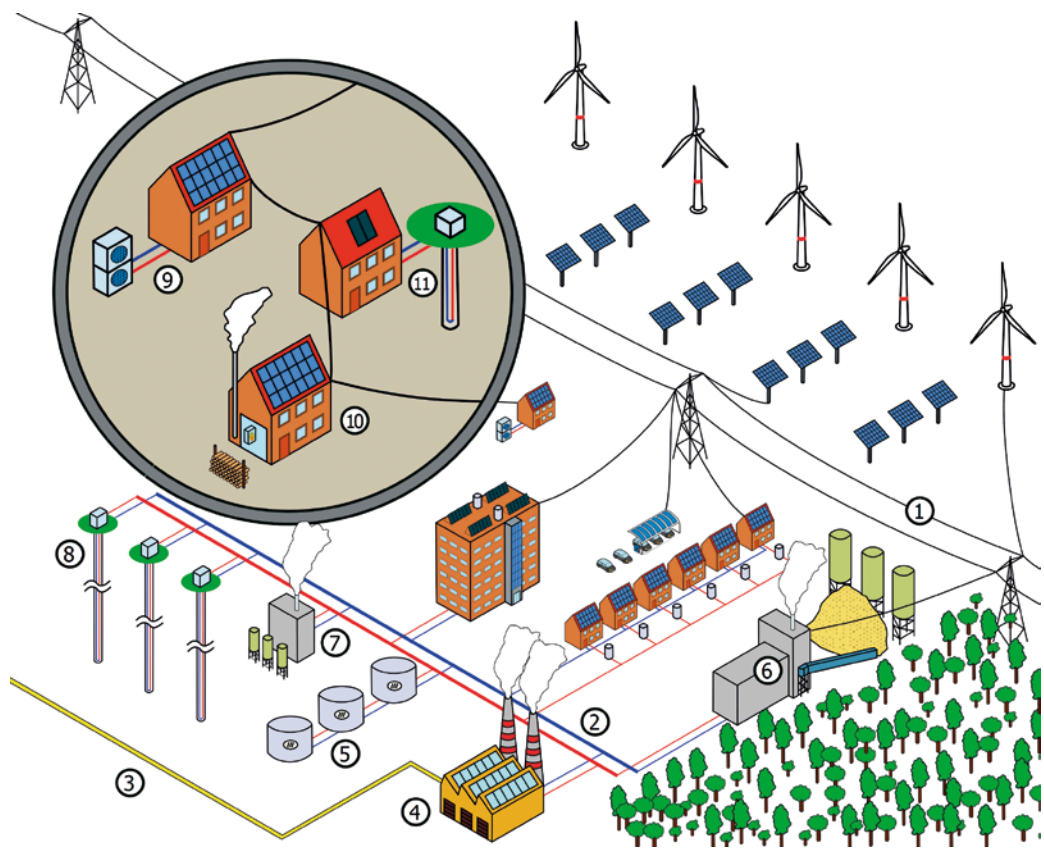
- le **gaz** qui n'est pas extrait du sol, mais généré par des processus biologiques (gaz vert) ou produit de manière synthétique en cas de surplus d'énergie renouvelable (gaz de synthèse, par exemple); ce type d'énergie est précieux dans la mesure où il permet de générer de la chaleur à très haute température. Il est préférable d'utiliser cette chaleur de qualité supérieure en priorité pour des processus industriels ou pour produire de l'électricité. La chaleur de moindre qualité qui s'en dégage (chaleur résiduelle à basse température) peut être distribuée via un réseau aux habitations requérant ce type de chaleur
- le même raisonnement s'applique à la **biomasse** : le bois ou d'autres fractions résiduelles combustibles peuvent parfaitement être employés dans des poêles ou des chaudières, mais une installation collective permettra d'utiliser au mieux le potentiel énergétique du combustible et de réduire les émissions de particules fines.

Un réseau de chaleur offre donc avant tout une certaine flexibilité ainsi que la possibilité de combiner diverses sources d'énergie renouvelable et d'améliorer ainsi la rentabilité.

La figure ci-dessous illustre les principales sources d'énergie renouvelable et

Concept et distribution de la chaleur.

1. Réseau d'électricité
2. Réseau de chaleur
3. Réseau de gaz
4. Récupération de la chaleur résiduelle de l'industrie
5. Réserve collective de chaleur
6. Unité de cogénération
7. Chaudière à biomasse
8. Forages géothermiques profonds
9. Pompe à chaleur air/eau
10. Chauffage direct par biomasse
11. Forage géothermique peu profond





les principaux processus de transformation énergétique pouvant intervenir au niveau individuel (au sein du bâtiment) et au niveau collectif par interaction entre les réseaux d'électricité, de chaleur et de gaz.

Si le réseau de gaz ne devait plus desservir que des entreprises et des systèmes collectifs décentralisés (cogénération, par exemple), sa taille pourrait progressivement être réduite. En revanche, les réseaux de chaleur devront être fortement développés, en particulier dans les villes et les communes où la demande de chaleur est la plus concentrée et où il est possible de mettre en place un réseau compact. Dans ce cas, il devra s'agir, de préférence, de réseaux de chaleur à basse température, car les pertes lors de la distribution y sont moins importantes. Les réseaux basse température permettent en outre une meilleure valorisation de la chaleur résiduelle ou de la géothermie peu profonde (avec ou sans possibilités de stockage). Enfin, s'il y a un risque de surchauffe, les surplus de chaleur peuvent être réinjectés dans le réseau.

Bien que le schéma de la page précédente illustre les différentes possibilités, il n'existe pas de solution toute faite. Le mode de production, de stockage et de distribution de l'énergie choisi différera d'un bâtiment à l'autre. A l'avenir, une plus grande flexibilité des installations sera nécessaire de façon à pouvoir choisir parmi diverses solutions. Le recours aux outils informatiques dotés de systèmes de commande intelligents (voir p. 26-27) pourrait s'avérer intéressant à cet égard, car il permettrait d'opter à chaque instant pour la solution optimale, en tenant compte d'une possible variabilité des tarifs de consommation et de redistribution. Ces derniers pourraient en effet varier à tout moment en fonction de la demande et de la disponibilité de l'énergie (renouvelable).

2050 commence aujourd'hui

Il est évidemment impossible de prévoir comment la chaleur sera distribuée dans un bâtiment spécifique en 2050. **Toutes les solutions reposant sur l'utilisation de sources d'énergie renouvelable**

Tout doit être mis en œuvre au plus vite pour que les projets de construction et de rénovation d'aujourd'hui soient compatibles avec les solutions de demain.

impliquent de d'abord mettre en œuvre diverses mesures d'économie d'énergie dans l'ensemble du parc immobilier. Le logement existant doit également faire l'objet autant que possible d'une série de mesures d'isolation, d'étanchéité à l'air, de ventilation économique, de gestion intelligente de l'eau chaude, ... Ceci en vue de réduire les besoins en chauffage, mais également la puissance de chauffe et les investissements requis pour la production et le stockage de l'énergie renouvelable.

Les économies d'énergie ne doivent cependant pas se faire au détriment de la flexibilité. Il importe également de veiller à ce qu'une réduction drastique des besoins de chauffage en hiver n'entraîne pas d'importants besoins de refroidissement en été. N'oublions pas non plus que la réduction des besoins en chauffage augmente la part de l'eau chaude sanitaire dans la consommation du bâtiment. Même si l'on parvient à réduire fortement les besoins énergétiques en appliquant certaines des mesures d'économie précitées et en les associant à des systèmes solaires thermiques (chauffe-eau solaire), d'autres sources d'énergie n'en demeureront pas moins nécessaires (voir p. 13-15). Les systèmes tels que les boucles combinées (voir p. 10-12) peuvent facilement se raccorder à un réseau de chaleur, mais, pour le moment, ils requièrent encore de la chaleur à haute température (plus de 60 °C).

De manière générale, il est recommandé de maintenir le système à une température la plus basse possible, de façon à optimiser les performances de la pompe à chaleur qui y serait éventuellement associée et à pouvoir raccorder le bâtiment directement au réseau basse température. Ceci est possible avec des appareils dimensionnés pour les basses températures, mais également avec les systèmes de chauffage par le sol, les murs et les plafonds, voire même avec les éléments en béton thermoactifs. Une limitation de la puissance maximale

nécessaire pour le chauffage permet d'utiliser ces systèmes ou de diminuer encore davantage la température de régime. Le CSTC mène actuellement une étude visant à déterminer un régime à basse température permettant de maîtriser le développement de légionelles (voir p. 13-15). Lorsque des températures élevées doivent être maintenues en permanence, les pompes à chaleur auxiliaires peuvent s'avérer intéressantes. Celles-ci utilisent de la chaleur à basse température (40 °C, par exemple) et la redistribuent à 60 °C.

Qu'il s'agisse de constructions neuves ou à rénover, l'objectif des (trente) prochaines années ne sera pas de chauffer l'ensemble des bâtiments grâce aux énergies renouvelables, mais bien de se préparer pour 2050 en diminuant les besoins de chauffage et de refroidissement, en privilégiant les systèmes d'émission à basse température et en prévoyant éventuellement le raccordement des bâtiments à un réseau de chaleur. Une chaudière installée en 2020 aura en effet déjà été remplacée depuis longtemps d'ici 2050, alors que la durée de vie du bâtiment et du système d'émission se prolongera bien au-delà de 2050.

En conclusion, le développement des réseaux de chaleur requerra du temps, des investissements et une vision sur plusieurs décennies. **Tout doit néanmoins être mis en œuvre au plus vite pour que les projets de construction et de rénovation d'aujourd'hui soient compatibles avec les solutions de demain.** Comme vous avez pu le lire dans l'article consacré à l'intégration des techniques (voir p. 24-25), l'installateur devra, lui aussi, fortement s'adapter. L'avenir commence aujourd'hui !

*J. Van der Veken, ir., et X. Kuborn, ir.,
chefs de projet, et P. Van den Bossche, ing.,
chef de laboratoire,
laboratoire Chauffage et ventilation, CSTC*