



TENDANCES  
CLIMATISATION

# Face au réchauffement, la climatisation s'enferme dans un modèle de marché coûteux pour le climat

TANIA MARTHA THOMAS • Chargée de recherche, Observatoire Climate Chance



PANORAMA DES DONNÉES

## Quand refroidir réchauffe : la demande mondiale de climatiseurs fait peu de cas de l'efficacité énergétique

Les émissions du secteur de la climatisation ont atteint environ une gigatonne d'équivalent CO<sub>2</sub> (GtCO<sub>2</sub>e) en 2019, un niveau trois fois supérieur à celui de 1990<sup>1</sup>. La climatisation et la ventilation constituent le poste d'utilisation finale d'énergie par les bâtiments qui connaît la croissance la plus rapide<sup>1</sup>. En 2016, la consommation mondiale d'énergie finale pour le refroidissement des locaux au sein des bâtiments résidentiels et commerciaux s'élevait à 2 020 TWh, soit 18,5 % de la consommation totale d'électricité des bâtiments, et 8,5 % de la consommation mondiale d'électricité. Cet ensemble inclut l'électricité utilisée pour les climatiseurs, les ventilateurs et les déshumidificateurs, ainsi que le gaz naturel utilisé pour les refroidisseurs, ce dernier ne représentant qu'1 % de la consommation d'énergie des bâtiments en 2016<sup>12</sup>. Le suivi de ces chiffres de 1990 à 2016 (**fig. 1**) montre une tendance en hausse constante, le refroidissement des locaux ayant pris une part croissante dans la consommation finale d'électricité et dans la consommation énergétique globale des bâtiments.

En 2018, 1,76 milliard de climatiseurs étaient en service<sup>3</sup>, et environ deux milliards en 2020. La demande devrait encore augmenter de deux tiers d'ici 2030, le secteur résidentiel représentant la plus grande part de l'augmentation<sup>1</sup>. Sur l'ensemble des climatiseurs utilisés, environ 70 % sont des climatiseurs individuels *mini-split* ou autonomes<sup>9</sup>. Les cli-

matiseurs *mini-split* sont particulièrement populaires sur les marchés en développement en raison de leur faible coût. Une étude de Research and Markets estime que 94,3 millions de climatiseurs individuels ont été vendus en 2020, et anticipe un taux de croissance annuel composé du marché de 5,9 % d'ici 2026<sup>4</sup>. Dans un scénario de statu quo, une autre étude estime que le stock de climatiseurs individuels devrait s'élever à environ 4,5 milliards d'unités d'ici 2050, la Chine et l'Inde possédant les stocks les plus importants et représentant plus de la moitié de l'expansion en nombre, suivis par les États-Unis, l'Indonésie, le Japon et la Corée, l'Union européenne, le Moyen-Orient et le Brésil<sup>5</sup>.

1,09 milliard de personnes dans le monde seraient exposées à un risque de manque d'accès au refroidissement en 2021. Au cours de l'année 2021, 2,34 milliards de personnes aux revenus « moyens inférieurs » auront été en capacité de s'offrir un climatiseur ou un réfrigérateur, mais limitées à des modèles moins efficaces sur le plan énergétique pour des raisons de coût<sup>6</sup>. Au rythme actuel, sans amélioration majeure de l'efficacité énergétique des équipements de refroidissement, la demande d'électricité pour le refroidissement des bâtiments pourrait augmenter de 50 % d'ici à 2030<sup>1</sup>.

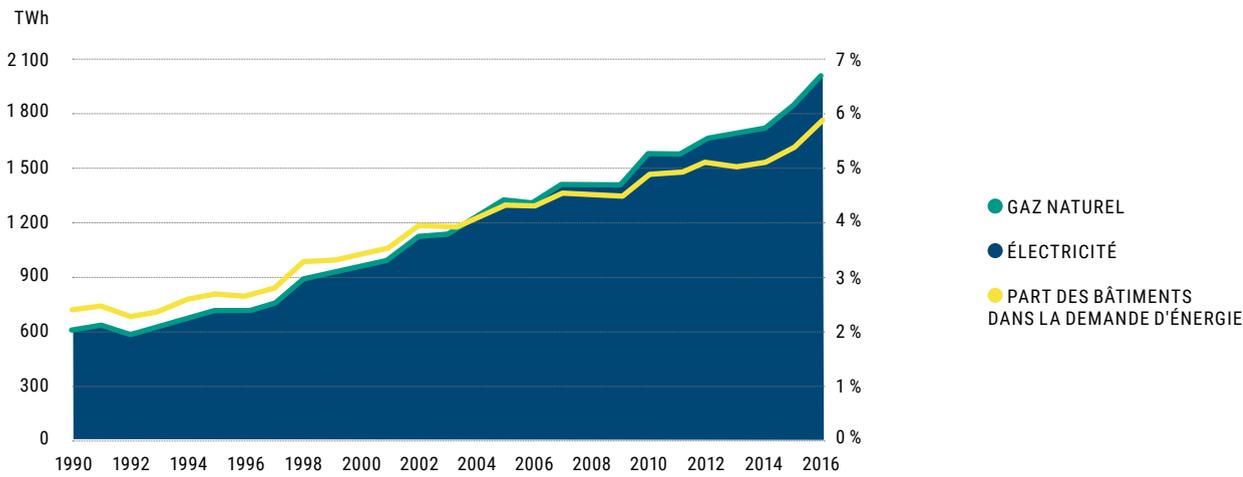
Le continent africain présente un tableau unique. Les taux d'utilisation de la climatisation y sont actuellement faibles, mais devraient augmenter de manière exponentielle dans les années à venir, sous l'effet du réchauffement climatique et de l'augmentation des revenus. Le besoin de refroidissement devient alors une question de survie, de bien-être et de productivité économique<sup>5</sup>. Actuellement, l'Afrique du Sud occupe la plus grande part du marché de la climatisation (40 %), suivie par l'Égypte, et l'augmentation rapide des revenus au

9 Les mini-split sont des climatiseurs composés d'une seule unité extérieure de compression/condensation et d'une unité intérieure de traitement de l'air, et ne nécessitent pas de conduits de climatisation. Ils sont utilisés pour contrôler la température d'un seul espace clos – comme une pièce individuelle – le plus souvent dans le secteur résidentiel, mais aussi dans le secteur commercial.

**FIGURE 1**

**CONSOMMATION MONDIALE D'ÉNERGIE POUR LE REFROIDISSEMENT DES LOCAUX DANS LES BÂTIMENTS, 1990 - 2016**

Source : AIE, 2018.



Nigeria contribue également à l'expansion du marché. En Afrique de l'Ouest, l'importation d'appareils d'occasion en provenance d'Europe est une tendance majeure, qui offre aux consommateurs des options moins chères, au détriment de l'efficacité énergétique<sup>7</sup>.

La Chine, les États-Unis et le Japon concentraient 60 % des ventes d'équipements de refroidissement en 2019 (ventilateurs, climatiseurs, "chillers"...), tandis que l'installation de climatiseurs progressait de 15 % en Inde et 13 % en Indonésie<sup>1</sup>. Plusieurs facteurs influencent la demande d'équipements de refroidissement, notamment le réchauffement des températures mondiales (mesuré en degrés-jours de refroidissement – CDD<sup>b</sup>), l'augmentation des taux d'urbanisation, la croissance de la population mondiale et l'augmentation des revenus. Une étude d'Enerdata citée dans le Bilan sectoriel 2019 de Climate Chance<sup>8</sup> a montré que la possession d'un climatiseur était plus fortement corrélée au niveau de revenu, exprimé en PIB/habitant, qu'à l'évolution du climat, exprimé en CDD. (fig. 2). Les tendances climatiques passées comparées à la possession de climatiseurs tendent à montrer que dans la plupart des pays, même les plus chauds, la possession de climatiseurs n'est pas vraiment affectée par l'augmentation des CDD. Au ralenti depuis 2010, la possession de climatiseurs aux États-Unis, au Japon et en Corée du Sud semblait s'approcher d'un point de saturation en 2018. Les tendances qui ne pouvaient pas être expliquées par les facteurs climatiques ou de revenu étaient dues à des influences culturelles, comme dans le cas de la Chine, selon les résultats de l'étude<sup>9</sup>.

Les facteurs sociaux et comportementaux jouent en effet un rôle important dans l'influence de la demande d'énergie pour le refroidissement dans le secteur résidentiel. Aux États-Unis, la consommation d'énergie de refroidissement des ménages

est intrinsèquement liée aux facteurs socio-économiques tels que le revenu et la taille du ménage, l'âge des occupants et leur comportement, qui à leur tour affectent la fréquence d'utilisation du climatiseur et le nombre de pièces climatisées<sup>10</sup>. Les facteurs socio-économiques affectent aussi l'âge et l'efficacité énergétique des climatiseurs utilisés. Une étude portant sur sept villes chinoises de différentes régions climatiques a également mis en évidence le rôle du revenu et de la taille des ménages dans l'utilisation des climatiseurs, ainsi que les caractéristiques du logement lui-même, telles que la superficie et l'orientation du bâtiment – conformément aux habitudes résidentielles chinoises, la plupart des bâtiments sont orientés vers le nord ou le sud (plutôt que vers l'est ou l'ouest), les bâtiments orientés vers le sud enregistrant des températures plus élevées<sup>11</sup>. En Arabie Saoudite, où plus de 96 % des propriétés étudiées étaient climatisées, le rôle du confort thermique (ou de sa perception) et de la sensibilisation à l'existence de modèles économes en énergie ou durables affecte également l'utilisation et la demande de climatiseurs<sup>12</sup>.

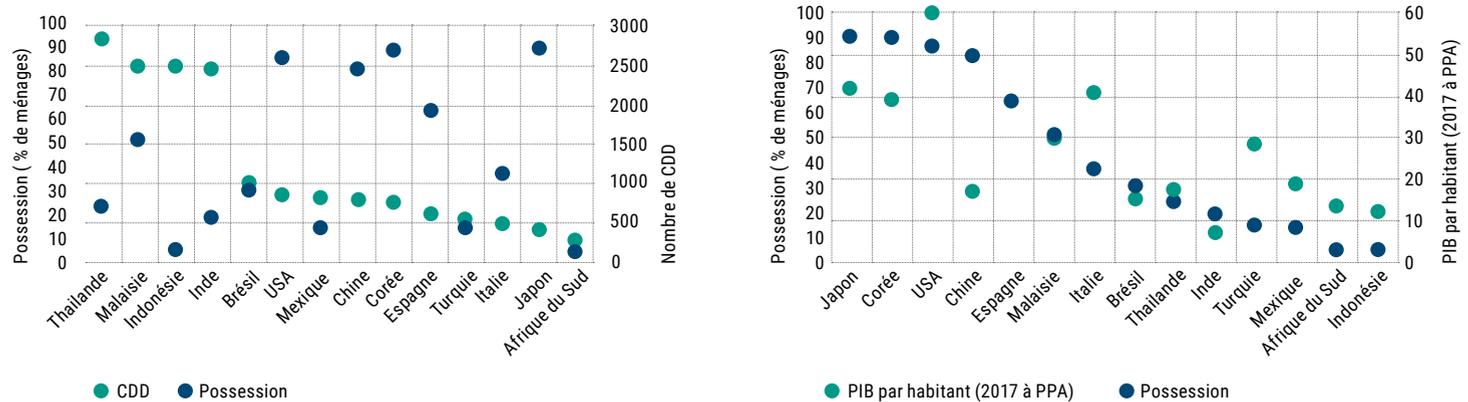
En même temps, l'efficacité énergétique des équipements de refroidissement des locaux, notamment des climatiseurs, a progressé. Les taux d'efficacité énergétique saisonnière – SEER (**encadré "Pour mieux comprendre"**) – des climatiseurs résidentiels et commerciaux ont augmenté respectivement de 50 % et 57 % entre 1990 et 2016<sup>6</sup>. Alors que des appareils très efficaces, qui pourraient réduire de moitié la demande d'énergie de refroidissement s'ils étaient largement déployés, sont disponibles sur le marché, les appareils typiques vendus n'affichent une efficacité que 10 à 60 % supérieure au minimum disponible<sup>1</sup>.

<sup>b</sup> Les degrés-jours de refroidissement – ou CDD – et les degrés-jours de chauffage – ou HDD – sont une mesure de la chaleur ou du froid de la température extérieure (mesurée en degrés) et de sa durée (mesurée en jours). Il s'agit de la différence entre la température moyenne de la journée et une température de référence de 18 °C. Elle est utile pour calculer les besoins en énergie de chauffage ou de refroidissement des bâtiments ; une augmentation des CDD signifie donc une augmentation du nombre de jours chauds, donc du besoin de refroidissement.

**FIGURE 2**

**CLIMAT (DEGRÉS-JOURS DE REFROIDISSEMENT), PIB PAR HABITANT ET PART DES PROPRIÉTAIRES DE CLIMATISEUR PAR PAYS**

Source : [Enerdata](#), 2019



**POUR MIEUX COMPRENDRE**

**MESURES DE L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE DES CLIMATISEURS**

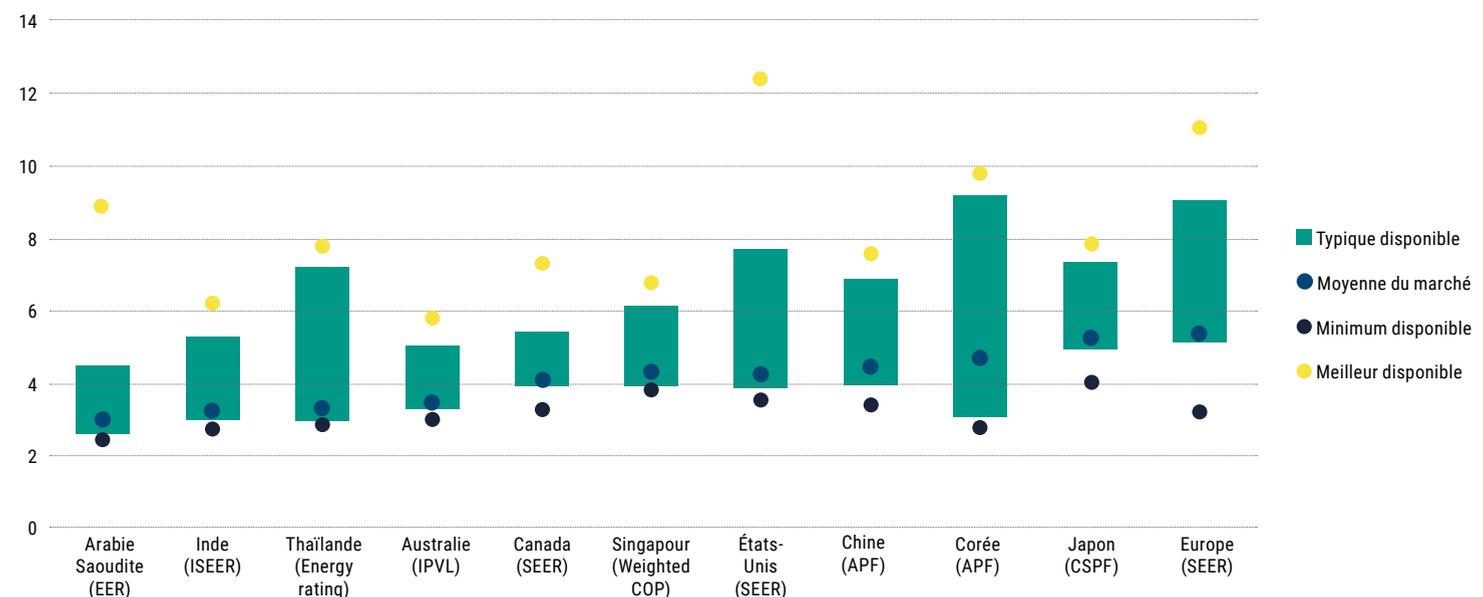
Les climatiseurs éliminent la chaleur d'un espace donné plutôt que de la transformer sous une autre forme. Ainsi, l'efficacité énergétique d'un climatiseur est généralement mesurée comme un rapport entre la quantité de chaleur qu'il retire d'un espace et la quantité d'énergie qu'il consomme. Les conventions varient d'un pays à l'autre, le système métrique différant en fonction des unités utilisées dans chaque pays et également en fonction de l'objectif de la mesure. L'une des mesures les plus couramment utilisées est le ratio d'efficacité énergétique ou EER, qui compare l'énergie de refroidissement de sortie à l'énergie d'entrée. Par exemple, aux États-Unis, l'EER est calculé comme le nombre d'unités thermiques britanniques (Btu) par heure retirées pour chaque watt d'énergie consommée, avec une température extérieure de 95 °F (35 °C), une température intérieure de 80 °F (27 °C) et une humidité relative de 50 %<sup>2,13</sup>. Le ratio d'efficacité énergétique saisonnière ou SEER mesure l'efficacité de la climatisation sur une saison entière, en maintenant généralement la température intérieure constante mais en faisant varier la température extérieure sur une période donnée. Ces mesures sont souvent adaptées au climat du pays ou de la région (voir la **figure 2** pour des exemples de mesures régionales différentes), et ne sont pas souvent interconvertibles. Des conditions de test différentes peuvent également signifier que les climatiseurs peuvent avoir des EER et des SEER différents.

**FIGURE 3**

**EFFICACITÉ DES CLIMATISEURS DISPONIBLES SUR CERTAINS MARCHÉS, PAR SYSTÈME RÉGIONAL DE MESURE**

Source : [AIE](#), 2020

Taux de rendement (W/W)



La **figure 3** montre la gamme d'efficacité des climatiseurs les plus couramment disponibles dans les pays sélectionnés, ainsi que la moyenne du marché et les valeurs minimales et maximales disponibles par marché. Dans la plupart des cas, la moyenne du marché n'est pas beaucoup plus élevée que le minimum, alors que des alternatives plus efficaces existent et restent disponibles. L'obstacle le plus important à l'adoption d'unités plus efficaces a été identifié comme étant la « sensibilité des consommateurs aux coûts initiaux » et le manque de sensibilisation aux avantages des climatiseurs plus efficaces<sup>1</sup>.

Outre les émissions résultant de leur consommation d'énergie, les unités de climatisation peuvent également avoir un impact sur le changement climatique en raison des fuites de liquides réfrigérants. En effet, les réfrigérants les plus couramment utilisés sont composés d'hydrofluorocarbures (HFC), dont le potentiel de réchauffement global<sup>c</sup> peut être de plusieurs centaines à plusieurs milliers de fois supérieur à celui du CO<sub>2</sub><sup>14</sup>. L'amendement de Kigali au protocole de Montréal, adopté en 2016 par les Nations unies, vise à réduire progressivement l'utilisation des HFC afin d'atténuer le réchauffement climatique qu'ils provoquent, en diminuant leur production et leur consommation<sup>15</sup>. Une réduction progressive en trois étapes a été convenue, divisant les parties au protocole en trois catégories. Ainsi, les pays développés ont une date de gel de l'utilisation de HFC plus précoce, avant de devoir la réduire de 85 % avant 2036 par rapport à leur niveau de référence. Les pays en développement sont divisés en deux groupes, tous deux ayant un calendrier de réduction progressive plus long, des dates de suspension plus tardives et des délais supplémentaires pour les réductions de 80 à 85 % par rapport à leur niveau de référence. Le deuxième groupe de pays en développement est constitué de pays où les températures ambiantes sont élevées et où la demande de refroidissement est plus forte. C'est dans ce groupe que le calendrier est le plus long (Bahreïn, Inde, République islamique d'Iran, Irak, Koweït, Oman, Pakistan, Qatar, Arabie saoudite et Émirats arabes unis)<sup>16</sup>.

Ainsi, la demande de climatiseurs est davantage motivée par des facteurs socio-économiques, climatiques et culturels que par l'efficacité énergétique des équipements. Devant l'échec des choix individuels à privilégier des solutions de climatisation bas carbone, certaines villes tentent d'apporter des alternatives collectives et de freiner l'explosion de la demande.



## Les villes tentent de refroidir la fièvre des climatiseurs

Plusieurs actions sont entreprises dans le monde, à la fois pour garantir l'accès au refroidissement et pour accroître la durabilité des solutions de refroidissement. La plupart des États ont déjà établi des normes minimales de performance énergétique (NMPE) pour les climatiseurs, qui servent de conditions de qualification pour vendre des unités de climatisation sur le marché. Cependant, il existe toujours un manque d'harmonisation entre les différentes normes nationales. Plusieurs pays comme Cuba, la Chine, l'Inde, le Panama, le Rwanda et Trinité-et-Tobago ont publié des plans d'action nationaux en matière de refroidissement, tandis que les plans d'action de nombreux autres pays sont en cours d'élaboration, après avoir été retardés par la pandémie de Covid-19<sup>17</sup>. Ces plans d'action visent à identifier les groupes de population vulnérables, garantir l'efficacité énergétique, et développer des mécanismes financiers pour promouvoir le refroidissement durable.

### La 5<sup>e</sup> génération de réseaux de chaleur fait entrer le froid dans l'ère de la circularité

Au niveau local, outre les exigences des codes du bâtiment ou de l'énergie, une solution qui gagne du terrain est le refroidissement urbain, et les systèmes énergétiques urbains adaptés à la fois au chauffage et au refroidissement. Les réseaux urbains ont commencé par le chauffage, alimenté par la vapeur générée par le charbon, dès les années 1880. Ces réseaux de chauffage urbain de première génération (1GDH) ont évolué au fil du temps, la deuxième génération passant à l'utilisation d'eau surchauffée et nécessitant donc moins d'énergie, jusqu'à la troisième génération, popularisée à partir des années 1980, qui utilise de l'eau à des températures d'alimentation plus basses pour fournir du chauffage, ce qui permet d'inclure une plus grande variété de sources de chaleur résiduelle telles que la chaleur résiduelle industrielle<sup>18, 19</sup>.

Les développements les plus récents ont amené une quatrième génération de chauffage urbain (4GDH) puis une cinquième génération de chauffage et de refroidissement (5GDHC). Par rapport aux générations précédentes, la 4GDH incorpore davantage d'énergie renouvelable et de chaleur recyclée, en maintenant les niveaux de température d'approvisionnement aussi proches que possible des niveaux de demande, et en utilisant plus largement le stockage thermique et les pompes à chaleur<sup>19</sup>. Développés et mis en œuvre presque simultanément à la 4GDH, les réseaux de cinquième génération utilisent l'équilibre énergétique et l'interaction entre les bâtiments pour fournir à la fois du chauffage et de la climatisation<sup>20</sup>.

<sup>c</sup> Le potentiel de réchauffement planétaire (PRP) d'un gaz est la quantité de chaleur absorbée par celui-ci, présentée comme un multiple de la chaleur absorbée par une quantité équivalente de dioxyde de carbone. Ce sont ces chiffres qui permettent de calculer les émissions en équivalent dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>e).

Jusqu'à présent, les réseaux 5GDHC ont surtout été expérimentées à petite échelle en Europe (cf. cas d'étude Heerlen). Ces réseaux décentralisés et axés sur la demande sont proches de la température du sol et utilisent l'échange direct de flux de chaud et de froid ainsi que le stockage thermique pour maintenir la température souhaitée dans les bâtiments<sup>21</sup>. Leur circuit fermé permet d'éviter les pertes d'énergie, et utilise des sources d'énergie de faible qualité (à forte entropie) comme la géothermie à faible profondeur, les flux de déchets industriels, les déchets de conversion, les déchets des processus de refroidissement, les eaux usées, etc<sup>22</sup>. Selon une étude portant sur 40 réseaux 5GDHC en phase initiale sélectionnés en Europe, la majorité se situe actuellement en Allemagne et en Suisse. Plus des deux tiers de ces systèmes sont régénératifs, c'est-à-dire que l'énergie peut retourner dans le réseau et la plupart d'entre eux utilisent l'énergie thermique du sol et de l'eau<sup>23</sup>.

Alors que le chauffage urbain existe déjà et continue de gagner en popularité, les réseaux de refroidissement urbain gagnent de plus en plus de terrain. L'initiative « *District Energy in Cities* » (Énergie de quartier dans les villes), par exemple, coordonnée par le Programme des Nations unies pour l'environnement et SEforAll, travaille avec 45 partenaires dont des entreprises, organisations internationales et nationales, associations industrielles, réseaux de villes et institutions universitaires pour soutenir les transformations de marché vers un chauffage et un refroidissement alimentés en énergies renouvelables et efficaces sur le plan énergétique dans les villes. En 2020, l'initiative s'était déployée dans 36 villes à travers le monde, dont Carthagène, Marrakech, Belgrade, Pune, Coimbatore, Oulan-Bator ou encore Astrakhan, pour aboutir à une baisse d'émissions estimée à 290 000 tCO<sub>2</sub>/an<sup>24</sup>.

Aux États-Unis, la ville de Denver encourage le remplacement des anciens systèmes de chauffage au gaz naturel par des systèmes de chauffage et de climatisation électriques, tels que des pompes à chaleur, notamment dans les 30 % de résidences qui appartiennent à la catégorie des faibles revenus et qui n'ont pas accès à la climatisation. Le plan de la ville propose sept options d'électrification totale ou partielle. Xcel Energy, un fournisseur d'électricité américain, offre des remises partielles voire totales (sous condition) sur des équipements. Le passage du gaz à l'électricité n'aurait pas d'impact sur les prix pour les consommateurs, selon une étude du Bureau de l'action climatique, de la durabilité et de la résilience de Denver<sup>25</sup>. De nombreuses autres villes américaines ont également pris des mesures en ce sens depuis 2019, en particulier pour le chauffage (cf. tendance **Électrification**).

Les réseaux de refroidissement urbain ont également été utilisés par des villes comme Paris qui, par l'intermédiaire de la compagnie d'énergie Engie, exploite l'eau de la Seine pour refroidir les hôpitaux, les hôtels, les musées et les grands magasins. Le réseau parisien offre également un exemple de stockage de froid la nuit, pour être déchargé aux heures de pointe, ce qui permet d'économiser environ 200 kgCO<sub>2</sub> par jour<sup>26</sup>.

Le marché des systèmes de refroidissement urbain au Moyen-Orient se développe rapidement et vaudra 15 milliards de

dollars en 2027, dominé par le Qatar, l'Arabie Saoudite et les EAU, et dirigé par des acteurs éminents comme Tabreed, Empower, Emicool, DC PRO Engineering, Marafeq Qatar et Ramboll Group A/S<sup>27</sup>. Empower détient plus de 70 % de parts de marché dans les Émirats arabes unis, tandis qu'Engie, grâce à sa participation de 40 % dans Tabreed, étend son marché à toute la région, et même à l'Égypte, à l'Inde et à la Turquie<sup>28</sup>. Dans les pays du Conseil de coopération du Golfe, le refroidissement urbain et les refroidisseurs d'air ou d'eau autonomes représentent 15 à 25 % de la capacité de refroidissement installée, grâce à un développement immobilier plus récent et à la nécessité de réduire la demande d'énergie de refroidissement. En outre, 10 % du parc immobilier de la région pourrait être modernisé et connecté à des réseaux de refroidissement urbain<sup>29</sup>. Le refroidissement urbain gagne également du terrain dans d'autres régions d'Asie, en Chine, au Japon et, plus récemment, dans les pays d'Asie du Sud-Est. Singapour a ainsi récemment investi dans des systèmes de refroidissement urbain, notamment dans les quartiers financiers, ou plus récemment dans le quartier résidentiel de Tampines<sup>30</sup>.

#### La conception passive et les peintures ultra-réfléchissantes offrent des alternatives à la climatisation

L'utilisation optimale des principes de conception passive et de la ventilation naturelle pour remplacer les systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation automatisés est une autre solution clé<sup>31</sup>. L'utilisation de la ventilation naturelle peut réduire la consommation d'énergie des bâtiments de 10 à 30 %<sup>32</sup>, en utilisant les principes de la pression de l'air pour réguler le flux des courants d'air frais et chaud dans un bâtiment. Par exemple, le stade national de Tokyo pour les Jeux olympiques 2020 est construit en grande partie en bois et conçu pour maximiser la circulation de l'air depuis l'extérieur, ce qui a contribué à faire baisser la température<sup>33</sup>. Plusieurs sites intérieurs des JO ont utilisé la climatisation « *green air tech* », qui pousse l'air en spirale vers les parties basses du bâtiment et nécessite 40 % d'énergie en moins<sup>34</sup>.

Les maisons passives sont des bâtiments conçus pour capter et réguler la chaleur reçue naturellement et consomment donc jusqu'à 90 % d'énergie de moins que les maisons conventionnelles<sup>35</sup>. Elles possèdent également une enveloppe de bâtiment conçue pour une meilleure isolation, ainsi que des fenêtres et des conduits placés de manière stratégique. La *Passive House Database* recense 5 174 bâtiments certifiés comme maisons passives, déjà achevés ou en phase de construction<sup>36</sup>. Ces bâtiments se concentrent en grande partie en Europe, devant l'Amérique du Nord, l'Asie de l'Est, l'Australie et la Nouvelle-Zélande<sup>37</sup>.

La grande majorité des maisons passives identifiées sont des maisons unifamiliales et d'autres petits bâtiments de faible hauteur<sup>38</sup>, bien que des applications plus importantes aient été réalisées. Le plus grand complexe de maisons passives au monde est en cours de construction à Gaobeidian, en Chine, qui comprendra 30 immeubles de grande hauteur et abritera environ 7 000 personnes<sup>39</sup>. La ville de Bruxelles est un autre exemple de bâtiments passifs, exigeant que toutes les nouvelles constructions après 2015 soient passives, et



encourageant également la construction de 243 bâtiments « exemplaires » à faible consommation d'énergie, ou BatEx<sup>40</sup>.

La peinture réfléchissante et les surfaces « vertes » (surfaces avec de la végétation), en particulier les toits, ont été identifiées dans le Bilan sectoriel 2020<sup>41</sup> comme des exigences désormais fréquentes pour les nouvelles constructions. Il a été démontré que la plantation de végétation dans les villes permet d'abaisser les températures de près de 45 °F (-25°C)<sup>42</sup>, tandis que la peinture réfléchissante « ultra-blanche » a été identifiée comme reflétant la lumière excessive du soleil et aidant à refroidir les bâtiments. Cette idée n'est pas nouvelle : on trouve traditionnellement des bâtiments peints en blanc dans diverses régions au climat plus chaud. Le sulfate de calcium contenu dans la peinture blanche est responsable de la réflexion du rayonnement solaire, et de nouvelles études ont identifié le sulfate de baryum comme étant encore plus efficace. L'extraction du minerai de baryum et la production de sulfate de baryum sont néanmoins des procédés énergivores à forte empreinte carbone<sup>43</sup>.

Le *Million Cool Roofs Challenge* est une initiative créée à cette fin. En remplaçant un toit sombre par un toit blanc, la température de l'étage supérieur peut être réduite de 2 à 3 degrés. En augmentant la réflectance solaire du toit de 10-20 % à 60 %, la consommation annuelle nette d'énergie d'un bâtiment climatisé d'un seul étage peut être réduite de 20 %<sup>44</sup>. Le défi, lancé par le Kigali Cooling Efficiency Programme (programme d'efficacité de refroidissement de Kigali), SEforAll, l'Alliance mondiale des villes fraîches et la fondation Nesta, a offert 2 millions de dollars de subventions, entre août 2019 et août 2021, à des propositions de toiture fraîche et à réflexion solaire dans les pays touchés par le stress thermique et le faible accès au refroidissement. Les finalistes du défi qui l'ont mis en œuvre dans le bidonville de Kerail au Bangladesh ont vu les nouveaux toits réduire les températures intérieures d'environ 7 °C. Des résultats similaires ont été obtenus en adoptant des toits simples et réfléchissants à Jakarta, en Indonésie<sup>6</sup>.



## GRANDS ENSEIGNEMENTS

**Le refroidissement des bâtiments est déjà confronté à une double problématique : d'une part, garantir l'accès au refroidissement face à l'augmentation des températures et donc de la demande et, d'autre part, la nécessité de garantir l'efficacité énergétique et de réduire les émissions. Si l'innovation technologique progresse, la mise sur le marché de ces équipements et la demande des consommateurs n'est pas encore au niveau. Dans le même temps, le rôle des facteurs sociaux et comportementaux dans l'utilisation et l'achat de climatiseurs reste un grand angle mort des politiques. Les réseaux de froid urbain, bien qu'ils ne soient pas encore aussi répandus que les réseaux de chaleur urbains, sont en train de prendre une ampleur remarquable dans les pays du Golfe, dont le marché en expansion est très attractif pour les investissements des géants de l'énergie du monde entier. Le refroidissement des locaux qui tire avantage de la conception et du design des bâtiments est en plein essor, comme le montre la croissance des maisons passives, des surfaces super réfléchissantes et des toits verts et frais.**

## BIBLIOGRAPHIE

RETOUR PAGE PRÉCÉDENTE

- 1 AIE. (2020). [Cooling](#). Agence internationale de l'énergie.
- 2 AIE. (2018). [The Future of Cooling : Opportunities for energy-efficient air-conditioning](#). Agence internationale de l'énergie.
- 3 AIE. (2019). [Estimated air conditioner stock in selected regions, 2010-2018](#).
- 4 Research And Markets. (2021). [Air Conditioning Systems - Global Market Trajectory & Analytics](#).
- 5 Campbell, I., Kalanki, A., & Sachar, S. (2018). [Solving the Global Cooling Challenge : How to Counter the Climate Threat from Room Air Conditioners](#). Rocky Mountain Institute.
- 6 SEforAll. (2021). [Chilling Prospects : Tracking Sustainable Cooling for All 2021](#).
- 7 Goldstein Market Intelligence. (2020). [Africa Air Conditioner Industry Analysis : By Product Type \(Split, Rooftop, Chillers, VRF\), By End-User \(Residential & Commercial\), By Region \(Nigeria, Egypt, South Africa, & Others\) With COVID-19 Impact](#).
- 8 Observatoire mondial de l'action climat non-étatique. (2019). [Bilan mondial de l'action climat par secteur](#). *Climate Chance*
- 9 Enerdata. (2019). [The Future of Air-Conditioning](#)
- 10 Yun, G. Y. & Steemers, K. (2011). [Behavioural, physical and socio-economic factors in household cooling energy consumption](#). *Applied Energy*, 88(6). pp. 2191-2200.
- 11 Wu, J. et al. (2017). [Residential air-conditioner usage in China and efficiency standardization](#). *Energy*, 119. pp. 1036-1046.
- 12 Aldossary, N.A., Rezgui, Y. & Kwan, A. (2015). [An investigation into factors influencing domestic energy consumption in an energy subsidized developing economy](#). *Habitat International*, 47. pp 41-51.
- 13 CTCN. (n.d.). [Efficient air conditioning systems](#).
- 14 UNFCCC. (n.d.). [Global Warming Potentials \(IPCC Second Assessment Report\)](#).
- 15 UNEP. (n.d.) [The Kigali Amendment to the Montreal Protocol : HFC Phase-down](#).
- 16 European FluoroCarbons Technical Committee. (n.d.) [Regulations affecting HFCs](#).
- 17 SEforAll. (05/05/2021). [National Cooling Action Plans](#).
- 18 Thorsen, J.E., Lund, H., & Mathiesen, B.V. (2018). [Progression of District Heating – 1st to 4th generation](#). *Aalborg Universitet*.
- 19 Lund, H. et al. (2021). [Perspectives on fourth and fifth generation district heating](#). *Energy*, 227.
- 20 Buffa, S. et al. (2020). [Fifth-Generation District Heating and Cooling Substations : Demand Response with Artificial Neural Network-Based Model Predictive Control](#). *Energies*.
- 21 Boesten, S., et al. (09/2019). [5th generation district heating and cooling systems as a solution for renewable urban thermal energy supply](#). *Advances in Geosciences*, 49, 2019. pp.129-136.
- 22 D2Grids. (04/02/2021). [The 5 principles of 5th generation district heating and cooling](#). *Construction 21*.
- 23 Buffa, S. et al. (04/2019). [5th generation district heating and cooling systems : A review of existing cases in Europe](#). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 104. pp.504-522.
- 24 UNEP. (04/02/2021). [District Energy in Cities Initiative](#).
- 25 Prentzel, O. (16/06/2021). [About 30 % of Denver's homes lack air conditioning. Here's the city's environmentally friendly solution](#). *Colorado Sun*.
- 26 Di Cecca, A., Benassis, F., & Poeuf, P. (n.d.) [Energy Storage : The Parisian District Cooling System](#). *UNEP-European Energy Centre*.
- 27 Global Market Insights. (11/04/2021). [District Cooling Market in Middle East to hit \\$15 Bn by 2027](#).
- 28 Mechanical Electrical & Plumbing. (2019). [Market Focus : district cooling in the Middle East](#).
- 29 Strategy&. (2019). [Cooling our world : How to increase district cooling adoption through proven regulation](#).
- 30 Ng, M. (20/08/2021). [Cool new way to help transform Tampines into eco-town by 2025](#). *The Straits Times*.
- 31 ArchDaily. (23/06/2021). [Back to Basics : Natural Ventilation and its Use in Different Contexts](#).
- 32 Walker, A. (2016). [Natural Ventilation](#). *Whole Building Design Guide*.
- 33 Sidhu, J. (16/08/2021). [What cities can learn from the cooling systems at the Tokyo Olympics](#). *World Economic Forum*.
- 34 Oliver, H. (23/08/2021). [Tokyo is showing other cities how to cool the eff down](#). *TimeOut*.
- 35 McCord, M. (26/01/2021). [What exactly is a passive house – and could it be the future of sustainable housing?](#). *World Economic Forum*.
- 36 [Passive House Database](#). (n.d.)
- 37 [PHI Database](#).
- 38 Wilson, J. (2018). [When Passive House goes big](#). *BuildingGreen*.
- 39 International Passive House Association. (2019). [23rd International Passive House Conference in Gaobeidian, China](#).
- 40 Building Innovations Database. (n.d.) [Brussels Exemplary Buildings Program + Passive House Law of 2011](#).
- 41 Observatoire de l'action climat non-étatique. (2020). [Bilan mondial de l'action climat par secteur](#). *Climate Chance*
- 42 Hotz, R.L. (04/06/2021). [To offset climate change, scientists tout city trees and ultra-white paint](#). *The Wall Street Journal*.
- 43 Parnell, A. (07/06/2021). [Cooling buildings by nearly 5°C possible thanks to new whiter-than-white paint](#). *The Conversation*.
- 44 Cool Roofs Challenge. (2020). [Purpose of the Challenge](#).