



# BeeBryte

Energy Intelligence & Automation

10 min



# L'avenir de la climatisation

Entre boom économique, urgence climatique et efficacité énergétique



# L'avenir de la climatisation

Depuis son invention en 1902 aux États-Unis par un certain Willis Carrier, la climatisation a connu un développement important dans la deuxième moitié du 20<sup>ème</sup> siècle, et une forte accélération ces dernières années.



La climatisation est partout : véhicules, maisons, bâtiments tertiaires... elle améliore le confort et augmente la productivité de millions d'habitants, accompagnant le développement de nombreux pays. Les chiffres donnent le vertige : aujourd'hui, 10 climatiseurs sont vendus chaque seconde dans le monde, et il y aura quelques 6 milliards de climatiseurs installés sur notre planète d'ici 2050.

Avec cette croissance soutenue, 12% des émissions de dioxyde de carbone seraient dus à la réfrigération et aux climatiseurs d'ici 2030 selon l'Environmental Protection Agency<sup>1</sup>.

Le constat est clair : le recours de plus en plus massif à la climatisation constitue un des défis énergétiques majeurs des décennies à venir. Et pour cause ! Nous venons d'enregistrer dans les derniers mois des records absolus de chaleur : que ce soit dans le Gard, en France, en Juin 2019, ou le mercure a dépassé les 45°C, ou encore en Inde au début de l'année 2019 où les habitants suffoquaient sous des températures de plus de 50°C.

Dans ce contexte de réchauffement climatique global, le développement de la climatisation a deux conséquences néfastes.

Tout d'abord le refroidissement d'une enceinte climatisée se fait par extraction / échange de chaleur avec l'extérieur. Ainsi, le développement de la climatisation dans les villes contribue... à leur réchauffement, entretenant un cercle vicieux qui amplifie localement les effets du réchauffement.

En sus, les climatisations sont énergivores et les plus gros utilisateurs de climatisation sont malheureusement les pays où l'électricité est encore en général produite à partir de sources fossiles très émettrices de CO<sub>2</sub> comme en Chine ou au Moyen Orient.

Nous proposons dans cet article de revenir sur les principes de la production de froid, afin de mieux comprendre l'impact énergétique du boom de cette industrie et de chercher des solutions pour limiter son impact environnemental.

## Le cycle thermodynamique

Revenons aux bases du fonctionnement d'une machine frigorifique : un fluide frigorigène tourne en boucle fermée et subit de façon cyclique 4 transformations : (1) compression, (2) condensation, (3) détente, (4) évaporation, puis nouvelle compression, etc.

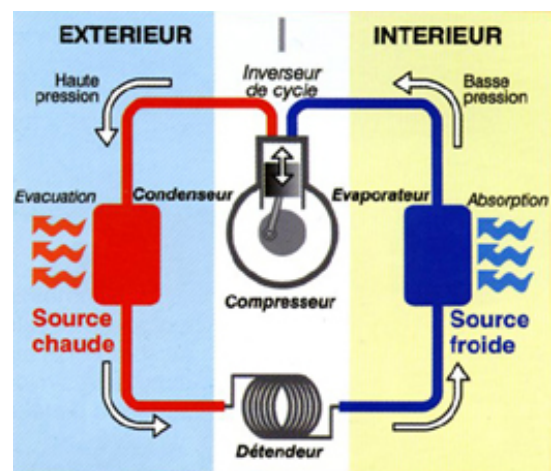


Figure 1 : Le principe de la climatisation

<sup>1</sup> Rapport de l'Environmental Protection Agency « Global Mitigation of Non-CO2 Greenhouse Gases : 2010-2030 », Mars 2014



# L'avenir de la climatisation

Nous appelons l'enchaînement de ces 4 transformations le cycle thermodynamique. Le principe est simple : afin de refroidir un système, il faut lui retirer de la chaleur. Comme « rien ne se crée, rien ne se perd, tout se transforme », lorsqu'on retire de la chaleur à un endroit, nous devons la rejeter à un autre endroit. Et pour restituer la chaleur à l'endroit voulu, il faut la transporter : c'est le rôle du fluide frigorigène. Nous appelons en thermodynamique l'élément qui absorbe la chaleur un « évaporateur ». L'élément permettant de restituer les calories retirées au système est quant à lui appelé un « condenseur ». Ces termes peuvent sembler contre-intuitifs de prime abord, mais le thermicien résonne par rapport au fluide et les différentes transformations que celui-ci va subir durant le cycle thermodynamique.

## 1<sup>ère</sup> TRANSFORMATION : L'ÉVAPORATION

L'évaporation du fluide est l'étape permettant de refroidir le système considéré (le contenu de votre réfrigérateur par exemple). Lors de cette étape, le fluide est mis dans des conditions favorables à son évaporation suite à une détente. La vaporisation du fluide s'accompagne d'une importante absorption de chaleur (transformation liquide → gaz) au niveau de l'évaporateur, prélevée sur son environnement qui se refroidit.

## 2<sup>ème</sup> TRANSFORMATION : LA COMPRESSION

C'est la seule étape du cycle consommatrice d'énergie : lors de cette transformation, du travail est fourni au fluide (donc de l'énergie) grâce au compresseur, lui-même alimenté en électricité. La compression amène le fluide dans des conditions favorables à sa condensation.

## 3<sup>ème</sup> TRANSFORMATION : LA CONDENSATION

Lors de cette transformation, et à l'inverse de l'évaporation, le fluide relâche une importante

quantité de chaleur au niveau du condenseur (transformation gaz → liquide) relâchée dans son environnement qui est ainsi réchauffé.

## 4<sup>ème</sup> TRANSFORMATION : LA DÉTENTE

Dans le détendeur, la pression du fluide chute brusquement l'amenant dans des conditions propices à une nouvelle évaporation. Le fluide est prêt à récupérer à nouveau de la chaleur du système à climatiser, la boucle est bouclée !

Pour être tout à fait exact, la consommation électrique d'une climatisation comprend aussi l'alimentation d'auxiliaires tels que des pompes, ou encore des ventilateurs qui sont en général ajoutés au niveau de l'évaporateur et du condenseur pour accélérer l'échange thermique avec leur environnement (respectivement l'intérieur et l'extérieur), et au passage vous fournir ce débit d'air agréable qui vous rafraîchit le visage.

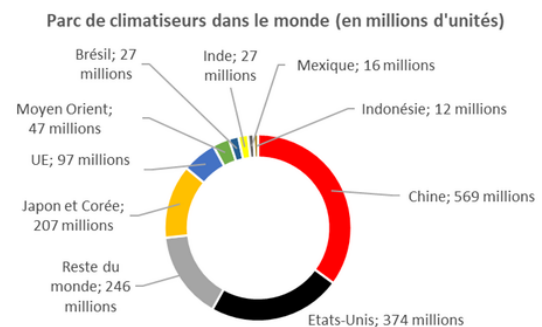


Figure 2 : Parc de climatiseurs dans le monde<sup>2</sup>



# L'avenir de la climatisation

## LE BOOM ECONOMIQUE... ET ENERGETIQUE

La climatisation est aujourd'hui responsable de plus de 10% de la consommation énergétique mondiale<sup>2</sup>. Nous observons depuis quelques dizaines d'années que l'écart entre les pays dont les ménages sont majoritairement équipés de climatiseurs (comme la Corée du Sud, le Japon et les Etats-Unis avec 90% des ménages équipés) et les autres pays, se réduit. Avec des taux de croissance annuelle d'équipement jusqu'à 70% pour la Chine.

Globalement, le nombre de climatiseurs dans le monde a augmenté de 40% et presque doublé en Asie depuis 2010.

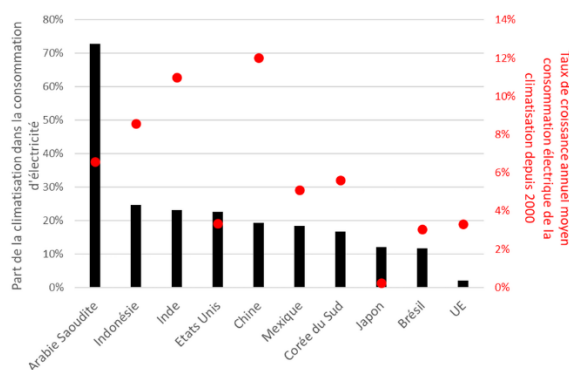


Figure 3 : Part de la climatisation dans la consommation d'électricité (barres) et taux de croissance annuel moyen de la consommation électrique de la climatisation depuis 2000<sup>2</sup>

Au-delà de la climatisation domestique, la production de froid dans les secteurs tertiaire et industriel ont un impact significatif, compensant le nombre moindre de sites par la taille parfois gigantesque des installations.

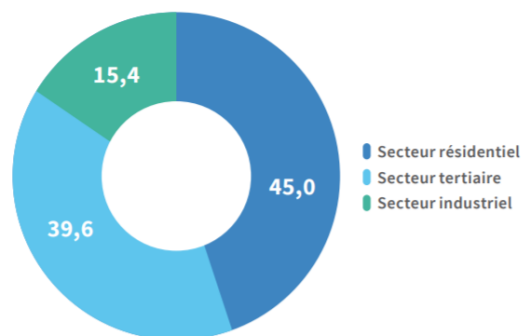


Figure 4 : Répartition de la consommation en froid sur les différents secteurs au niveau mondial<sup>3</sup>

Au niveau mondial, ce graphe nous montre que la consommation cumulée en froid des secteurs tertiaire et industriels représente 55% de la consommation de froid mondiale.<sup>3</sup>

Selon la même étude, l'IIF a mis en évidence que la production de froid est responsable de 17,2% de la consommation mondiale d'électricité. Ce qui fait que le froid industriel et tertiaire pèse pour 9,5% de la consommation mondiale !

En effet : centres commerciaux, plateformes logistiques, agroalimentaire, etc.... L'usage du froid est partout, la demande croissante, tirant la consommation électrique vers le haut avec les effets pervers que nous avons vus sur le réchauffement climatique.

### Comment réduire l'impact énergétique et environnemental de l'utilisation de la climatisation ?

Avant toute chose, l'efficacité énergétique des climatiseurs varie considérablement d'un pays à l'autre : de par leur qualité, leur âge ou leur technologie, les équipements fonctionnant au Japon et dans l'Union européenne sont en moyenne 25 % plus efficaces que ceux en opération aux États-Unis ou en Chine.

<sup>2</sup> Source : The Conversation, « Boom de la climatisation : des pistes pour éviter la surchauffe planétaire », 2019

<sup>3</sup> Source : Institut International du Froid (IIF), novembre 2015, «Le rôle du froid dans l'économie mondiale»



# L'avenir de la climatisation

Globalement, plusieurs pistes d'atténuation des effets de la climatisation sont suivies avec des disparités géographiques et réglementaires : standard et qualité de construction, matériaux utilisés, changement de norme pour l'amélioration des fluides frigorigènes utilisés dans l'industrie, etc...

Nous retrouvons aussi des recommandations pour l'adoption de comportements vertueux des utilisateurs afin de réduire les consommations. En France, l'ADEME conseille une température de 26 °C au plus bas et moins de 5 à 7 °C de différence entre intérieur et extérieur. Quand on sait qu'1°C de différence peut augmenter la consommation électrique entre 12% à 18%, ces recommandations sont la première source d'économie d'énergie.

Dès lors, on comprend l'importance, en milieu industriel ou commercial, d'une régulation adaptée au plus près du besoin et des contraintes, avec un effet de levier directement lié au niveau des factures énergétiques de ce segment.

C'est là qu'entre en scène l'intelligence artificielle, dont les progrès fulgurants ces dernières années ont ouvert la voie à de nouvelles optimisations en régulant de manière prédictive les systèmes de production de froid (climatisation, groupes froids, etc.)

## L'efficacité énergétique intelligente

Le recours aux dernières techniques d'intelligence artificielle permet de repousser les limites de l'efficacité énergétique des systèmes de production de froid. En analysant les profils de consommation de ces équipements énergivores et, passée une période d'apprentissage de leur comportement énergétique, des algorithmes permettent aujourd'hui de piloter en temps réel un système de climatisation - domestique ou industrielle - au plus près de son efficacité maximale, en anticipant les variations climatiques et en exploitant les évolutions de

prix de l'énergie dans le respect des contraintes opérationnelles du site.

Grâce à cette faculté de prédiction / modélisation / adaptation, les équipements consommateurs n'agissent plus de manière réactive comme le fait une régulation classique, mais de manière anticipative. Ainsi, en prenant l'exemple d'un groupe de production de froid (une « climatisation industrielle »), un démarrage anticipé des compresseurs avant une période prévue de forte demande, permet de pré-refroidir le système et lisser le fonctionnement du groupe à un taux de charge correspondant à son meilleur rendement (généralement entre 50% et 75% de la charge maximale), au lieu de démarrer uniquement lorsque la demande apparaît, et à pleine charge, pour tenir la température de consigne... avec un rendement sous-optimal!

## La loi d'eau dynamique, par BeeBryte

Le principe de la loi d'eau dynamique, à la différence d'une régulation classique, est de réguler en temps réel les consignes de température en sortie de compresseur et en sortie de détendeur. En d'autres termes : nos prédictions de consommation nous permettent de modifier les consignes au niveau du compresseur pour consommer la juste énergie nécessaire.

Ne pas refroidir plus qu'il ne faut permet de minimiser les transferts thermiques entre le système et l'environnement extérieur. Conséquence directe : moins d'énergie perdue, le coefficient de performance du cycle augmente, avec de belles économies à la clé !

## Quelques mots sur BeeBryte

BeeBryte tire parti du formidable potentiel de l'intelligence artificielle pour rendre les bâtiments commerciaux et industriels plus



# L'avenir de la climatisation

---

économiques en énergie et plus intelligents, afin de réduire leur facture électrique et leur empreinte carbone.

Notre logiciel SaaS contrôle automatiquement les ressources flexibles côté demande (e.g. équipements de chauffage-climatisation et systèmes de stockage / batteries) afin de modifier avantageusement le profil de consommation de nos clients et leur permettre d'économiser jusqu'à 40% sur leurs coûts énergétiques.

Notre technologie combine une méthodologie d'optimisation en temps réel brevetée en 2016, des modèles auto-apprenants et des analyses prédictives pour offrir des services énergétiques dynamiques totalement intégrés à l'Internet des Objets.

[www.twitter.com/BeeBryteGroup](https://www.twitter.com/BeeBryteGroup)

[www.linkedin.com/company/beebyte](https://www.linkedin.com/company/beebyte)

[www.beebyte.com](https://www.beebyte.com)