



ParisActionClimat



IMMOBILIER DURABLE

Taskforce # 2

Systemes frigorifiques durables

MAIRIE DE PARIS



Agence
Parisienne
du Climat



Sommaire

Objectifs des Taskforces Immobilier durable 2

Task Force # 2 –

Systèmes frigorifiques durables 3

Participants 4

Les enseignements de la Taskforce 5

La climatisation à Paris 5

Freins relevés 8

Pistes d'actions 10

Pour aller plus loin 13

Le changement climatique à Paris 13

Les systèmes de refroidissement 19

Le réseau de froid urbain de Paris 23

Ressources 25



Objectifs des task forces Immobilier durable

La construction du nouveau **Plan Climat de Paris** repose sur une large concertation des acteurs du territoire, notamment au travers d'ateliers sectoriels. La concertation des acteurs de l'immobilier le 22 février 2017 a fait émerger le besoin d'approfondir des sujets techniques lors de taskforces dédiées, coordonnées par l'Agence Parisienne du Climat, l'OID et la Ville de Paris.

Ces taskforces ont pour objectifs d'identifier les enjeux et les freins des thématiques traitées, de partager les retours d'expériences, d'engager des actions concrètes pour accélérer la transition énergétique et de cibler des pistes d'action en partenariat avec la Ville de Paris. Ces réunions d'une durée de 2h donneront lieu à un rapport de recommandations et d'engagements des acteurs de l'immobilier durable pour le territoire parisien. Il est prévu d'organiser en moyenne trois ateliers par an. Les trois sujets retenus par les acteurs de l'immobilier pour l'année 2017 sont :

- **Certifier et labelliser** les bâtiments de bureaux à Paris ;
- Choisir les systèmes de **refroidissement** les moins énergivores ;
- **Inciter les occupants** à réaliser des économies d'énergie.



Task Force # 2 – Système frigorifiques durables

La part des consommations liées à la climatisation reste encore minoritaire dans le bilan énergétique des bâtiments parisiens. Cependant, l'accroissement constant du parc climatisé dans le secteur tertiaire et notamment dans les bureaux incite à la vigilance sur un phénomène qui va s'accélérer au vu des projections du GIEC. Soutenu par la fréquence accrue des épisodes caniculaires, le recours croissant aux systèmes de froid à Paris se traduit par des consommations énergétiques en hausse. Afin de garantir le confort tout en limitant l'impact énergétique, plusieurs enjeux sont à traiter :

Du fait d'épisodes caniculaires plus fréquents, le recours à la climatisation augmente. Entre 2004 et 2009, les consommations énergétiques liées à la climatisation dans le secteur tertiaire ont augmenté de 16% selon le bilan énergétique 2009 de la Ville de Paris.

Ces besoins seront renforcés par le changement climatique, y compris pour le bâti ancien, aux besoins de froid quasi inexistant dans le climat actuel. Est attendue une augmentation globale des besoins de froid dans le secteur tertiaire, pour toutes les typologies bâties. Les bâtiments neufs ou rénovés thermiquement devraient avoir des besoins plus importants, du fait de leur forte isolation thermique et leur étanchéité à l'air.

Le risque est d'intensifier l'effet d'îlot de chaleur urbain, du fait de l'augmentation de la puissance installée et donc des consommations énergétiques pour la production de froid. L'augmentation du nombre d'installations individuelles peut également être coûteuse en imposant un renforcement du réseau électrique.

Pour la Ville de Paris, les objectifs sont les suivants :

- Limiter la consommation énergétique et les émissions de gaz à effet de serre ;
- Limiter la contribution des systèmes de refroidissement à l'îlot de chaleur urbain ;
- Limiter les impacts paysagers ;
- Assurer le confort thermique.

L'enjeu est donc de mettre en place une stratégie de maîtrise de la climatisation sur le territoire, en :

- Limitant les besoins en climatisation ;
- Encourageant le recours à des systèmes à forte efficacité énergétique.

Task Force # 2

PARTICIPANTS



Pierre Weber



Lucie Delaval

Joanna Khalaf

Stéphane Dubyk



Alain Guisnel



AG2R LA MONDIALE

Gina Le Lan



POSTE IMMO

Marie-Thérèse Durand

Claire Ventejou

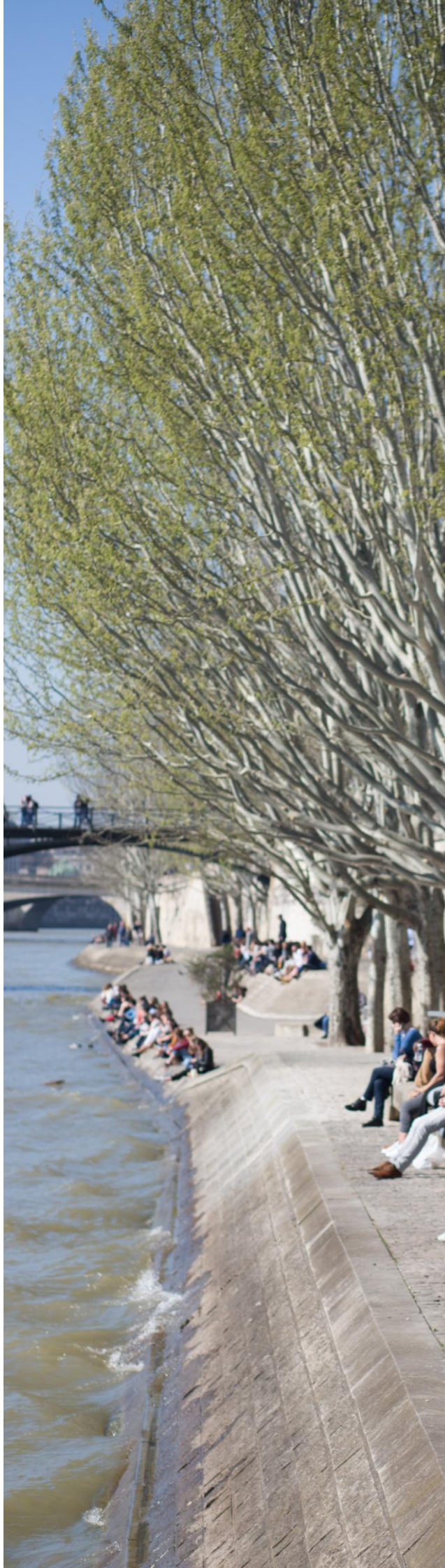


Oriane Cébile



MAIRIE DE PARIS

Sébastien Emery



LA CLIMATISATION À PARIS

En 2010, 44% des surfaces neuves dans le tertiaire en France étaient climatisées ou rafraîchies. Pour le parc tertiaire francilien, le taux d'équipement en système de refroidissement est de 40% selon le CEREN. Ce taux tend vers 100% pour les bâtiments neufs ou réhabilités des secteurs bureaux, commerces et santé.

Le taux d'équipement en système de refroidissement dépend de la typologie des bâtiments. Les bâtiments d'avant-guerre ont des besoins moindres du fait de leur forte inertie. Les retours d'expérience sur le comportement thermique des bâtiments HQE et BBC tendent à montrer une augmentation de la part de la climatisation dans le bilan énergétique des bâtiments de bureaux HQE du fait notamment de la réduction des autres postes.

A Paris¹, 65% des surfaces de bureaux sont rafraîchies ou climatisées. **Les bureaux représentent les deux tiers des consommations d'électricité liées à la climatisation à Paris.** Les modes de production de froid pour les bureaux à Paris incluent :

- Les systèmes de climatisation individuelle (climatiseurs mobiles) caractérisés par une efficacité énergétique médiocre et de fortes émissions de gaz à effet de serre. Ils servent essentiellement de solution d'appoint ponctuel.
- Les systèmes de climatisation décentralisée (mono-splits, multi-splits, armoires de climatisation pour les locaux informatiques) surtout pour le petit tertiaire. Ils bénéficient de caractéristiques renforcées par rapport aux systèmes individuels leur permettant de rafraîchir de manière pérenne de plus grands volumes ou des salles spécialisées (data center). Ils restent très énergivores et renforcent l'îlot de chaleur urbain.
- Les systèmes de climatisation centralisée (systèmes DRV, groupes froids et pompes à chaleur, réseau Climespace), surtout pour les surfaces supérieures à 5 000m². Fonctionnant sur la base d'un système de production et de distribution distinct, ils bénéficient de meilleures performances techniques et environnementales. Ils nécessitent toutefois un investissement initial plus important. A noter que Climespace, gestionnaire du réseau de froid urbain à Paris, propose désormais une offre tarifaire et technique adaptée aux petites surfaces.

On observe une forte densité de consommations d'électricité liées à la climatisation dans les 1^{er}, 2^{ème}, 8^{ème} et 9^{ème} arrondissements, qui concentrent 40% des surfaces de bureaux parisiennes ainsi que 34% des surfaces du secteur des cafés, hôtels et restaurants au sein du Quartier Central des Affaires. Une situation susceptible de contribuer à l'augmentation locale de l'îlot de chaleur urbain, en cas de poursuite du développement de la climatisation (cf. projet CLIM²).

¹ Les éléments descriptifs des systèmes de refroidissement à Paris et les pistes d'évolution sont issus de l'étude sur le développement de la climatisation à Paris, réalisée par la Ville de Paris, Elioth et Egis conseil.

Climatisation et Plan Climat

Selon les données 2011, le secteur des bureaux représente les trois quarts de la puissance souscrite auprès de Climespace.

Climespace assure au total 25% des besoins en froid de la ville (données 2013). 38% de ses besoins sont couverts par des équipements énergivores (climatiseurs mobiles + splits) et générateurs de 67% des émissions de gaz à effet de serre.

Logement



Habitat communautaire



Bureaux



Santé



Commerce



Café Hôtel Restaurant



Sport Loisir Culture



Enseignement



- Climespace
- Groupe frigorifique
- Split
- Climatiseur mobile

Retours d'expérience

Karibati a lancé un label sur les produits biosourcés, avec 3 objectifs : conforter le marché avec une marque de qualité attestant de la durabilité des produits ; apporter visibilité et transparence sur les quantités biosourcées incorporées ; promouvoir la filière française des matériaux biosourcés durables ;

Tour Elithis (Dijon), immeuble de bureaux de 5 000m² livré en 2009 : le recours à un bouclier solaire contribue au rafraîchissement du bâtiment en été. L'isolation est assurée par de la ouate de cellulose ;

Le **Bâtiment 2226** est un bâtiment de logements et bureaux situé en Autriche et conçu par l'atelier d'architecture autrichien Baumschlager Eberle. Ce bâtiment livré en 2013 fonctionne entièrement sans chauffage, refroidissement ou ventilation mécanique. « 2226 » fait référence à la température idéale pour un bâtiment, située entre 22 et 26°C.

Pour les architectes, l'accumulation d'équipements technologiques permet de réduire les consommations énergétiques mais engendre un coût de construction plus élevé et nécessite plus de maintenance. Le chauffage est assuré par la seule chaleur résiduelle des utilisateurs, des ordinateurs, de l'éclairage et du rayonnement solaire. La structure de briques creuses de 36 cm d'épaisseur apporte une inertie thermique équivalente à celle d'un bâtiment passif, et assure ainsi une capacité de stockage de chaleur et de rayonnement très performante.

Retours d'expérience

Le choix du mode de refroidissement est étudié au cas par cas. La même stratégie est appliquée pour le neuf et l'existant, selon le niveau de réhabilitation et les opportunités. Sur le plan environnemental, il est rappelé que le critère principal de décision à appliquer est le carbone et non la consommation énergétique seule.

Poste Immo a élaboré une stratégie sur le confort d'été dans les bureaux de poste. Suite à une consultation des utilisateurs et via une expertise du bureau d'études Alto. Les éléments principaux identifiés par la stratégie sont :

- La limitation des apports internes (choisir des éclairages performants, etc.) ;
- La limitation des apports solaires dans le neuf et l'existant (protection solaire extérieure, film solaire, etc.) ;
- L'assurance d'une ventilation suffisante, au-delà de la réglementation ;
- La réintroduction de brasseurs d'air ;
- Le rafraîchissement grâce au système de pompe à chaleur.

Cette stratégie est appliquée en cas de réaménagement, de nouveau bureau de poste ou en exploitation, lors de remontées terrain par les employés. Le maintien dans le temps des solutions proposées se heurte à des problèmes d'entretien des équipements et requiert la sensibilisation des utilisateurs. Différentes solutions techniques ont été étudiées :

- Matériaux à changement de phase pour les revêtements intérieurs : le coût reste pour l'instant un obstacle majeur ;
- Climatisation avec aspersion d'eau dans les centres de tri : cette solution a permis une forte baisse des consommations électriques, et avec un impact modéré sur la consommation d'eau.

Altarea Cogedim ne livre pas d'immeubles de bureaux non-climatisés. Les espaces non climatisés concernent les espaces communs de grande surface ou les mailles. Des réflexions sur le recours à la brumisation sont en cours. La réduction des besoins de froid se fait dans le cadre de recours à des niveaux élevés de certifications environnementales et labels énergétiques. Par exemple, le label BiodiverCity permet une réflexion sur la couleur des surfaces et la limitation des îlots de chaleur. La gestion du débit d'air est complexe : en raison des mesures conservatoires demandées, notamment pour des salles de réunion, les réseaux incluant les centrales de traitement d'air sont surdimensionnés (le taux d'occupation est plus élevé dans les salles de réunion que dans les bureaux). A l'échelle d'un quartier, Altarea Cogedim a lancé une consultation auprès d'opérateurs pour un système centralisé pour le chaud et le froid sur une durée de 25 ans, dans une logique de micro-réseaux.

AG2R LA MONDIALE a récemment livré le **bâtiment SEASON**, certifié HQE Exceptionnel et BREEAM Excellent, situé dans la ZAC Batignolles. Le SEASON est occupé à 80% depuis septembre 2017. En raison de la réglementation applicable à cette zone de la ZAC, le recours à la climatisation n'a pas été possible. Une réflexion a été menée sur l'enveloppe, l'aménagement (orientation des salles de réunion et des espaces de bureaux au Nord), le recours à des dalles thermiques. Le prétraitement de l'air est assuré par dry cooler. Le promoteur accompagne l'utilisateur pendant 1 an pour la prise en main du bâtiment. La stratégie sur le froid a été élaborée à partir du règlement de la ZAC et des référentiels des certifications.

Freins relevés

CONCEPTION ET CONFORT D'ÉTÉ

Les référentiels des certifications environnementales ne sont pas suffisamment contraignants sur la question du confort d'été pour imposer le non-recours aux systèmes actifs de climatisation.

Les systèmes ne sont pas prévus pour les conditions de canicule. Dimensionner les systèmes pour ces conditions de très forte chaleur augmenterait significativement les coûts. Le confort des occupants ne peut dans ce cas pas être assuré et le locataire est donc informé que la régulation du bâtiment ne permettra pas de maintenir une température suffisamment fraîche.

CHOIX DES MATERIAUX

Les matériaux utilisés en construction ont des propriétés optiques et thermiques favorisant la rétention de la chaleur : les surfaces minérales à l'inverse des surfaces végétales ont la particularité de stocker de grandes quantités d'énergie sous forme de chaleur lorsqu'elles sont ensoleillées. En termes **d'impact carbone**, un compromis doit être établi entre l'**impact carbone** des matériaux dans une logique ACV et le gain en termes de **confort d'été** pour le bâtiment. Le **recyclage** des matériaux peut également être rendu plus complexe en cas de recours à certains systèmes constructifs visant un gain de confort d'été accru.

COMPORTEMENT DES USAGERS

Les participants ont souligné que **les utilisateurs demandent généralement de disposer de bureaux à minima rafraîchis, voire climatisés.**

Le recours aux systèmes automatiques ne fonctionne pas toujours car les utilisateurs n'ont pas tous le même ressenti en termes de confort d'été et peuvent souhaiter « garder la main » sur la température, l'éclairage naturel, etc.

GESTION TECHNIQUE

On observe en tendance un plus grand recours aux systèmes centralisés. La mise en place de systèmes centralisés de refroidissement, moins énergivores, nécessite une **démarche de sensibilisation** des parties prenantes. Une fois le système en place, l'implication de l'exploitant est essentielle pour assurer le confort d'été.

RESEAU DE FROID URBAIN

Le réseau de froid urbain est favorisé lorsqu'il est disponible, en raison des points positifs suivants :

- Moins de problématiques architecturales ;
- Moins de maintenance requise ;
- Gain de surface.

Cependant, le réseau de froid parisien ne couvre pas l'ensemble du territoire et les coûts de raccordement peuvent rapidement devenir prohibitifs dans les secteurs non couverts.

Pistes d'action

COMPORTEMENT DES USAGERS

Les membres de la task force reconnaissent la nécessité de mieux informer et impliquer les usagers en période de canicules sur les pratiques à observer et les dispositions vis-à-vis des installations techniques. Cette formation / sensibilisation des occupants pourrait rentrer dans les missions du futur Eco-gestionnaire prévu par le Plan Climat de Paris.

CONCEPTION ET CONFORT D'ETE

Les membres de la task force reconnaissent la nécessité d'engager une réflexion sur le bioclimatisme lors de tout projet de construction et reconstruction lourde. Il s'agit de trouver un équilibre entre stratégie climatique d'hiver et stratégie climatique d'été pour éviter l'effet « thermos ».

Dans une optique de résilience climatique des bâtiments, une étude d'impact des évolutions climatiques devrait être intégrée à tout projet de construction neuve ou de rénovation. Elle permettrait de mieux prendre en compte les évolutions du contexte microclimatique local, les contraintes de l'existant et la nature des usages hébergés.

Le nouveau Plan Climat de Paris prévoit la réalisation d'un référentiel de construction adapté aux évolutions climatiques et l'ajout d'un volet confort d'été dans toutes les rénovations thermiques de bâtiment soumises à permis de construire.

Le recours à la végétalisation permet de réduire les besoins de rafraîchissement des bureaux. Elle peut se faire en toiture et en façade mais nécessite une certaine densité pour avoir un effet notable sur le bâtiment. Une attention particulière doit alors être portée à l'entretien des plantes.

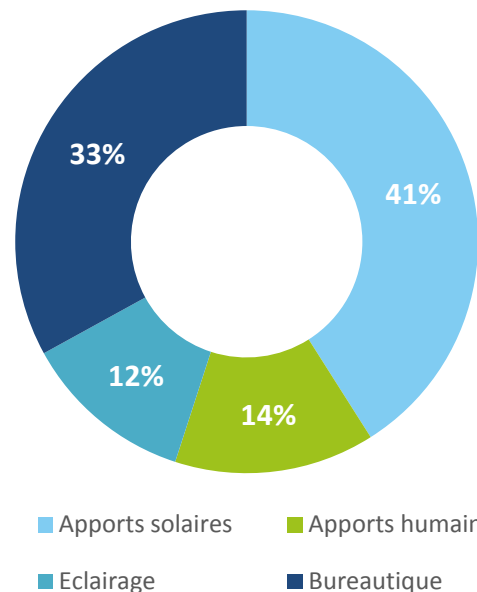
L'aménagement intérieur est à prendre en compte dans le choix des systèmes : les bureaux paysagers permettent le recours à des plafonds rayonnants, moins consommateurs et appuyés sur des systèmes de rafraîchissement ou refroidissement par énergies renouvelables, ce qui n'est pas adapté aux bureaux individuels.

CHOIX DES MATERIAUX

Le recours à des matériaux de construction disposant d'une forte réflectivité / albédo et d'une faible émissivité permet de limiter la rétention de chaleur en journée et de réduire la restitution de la chaleur la nuit, qui favorise l'îlot de chaleur urbain.

APPORTS THERMIQUES INTERNES

Les usages et les activités hébergés dans les bâtiments contribuent largement aux besoins de froid, en particulier dans les bâtiments à fort calfeutrement thermique. Il est nécessaire dès lors de mettre en place des actions pour limiter les apports internes par une meilleure isolation des systèmes de distribution d'eau chaude sanitaire et le recours à des équipements économes (éclairage, bureautique).



Apports thermiques d'un bâtiment de bureaux basse consommation parisien en été

Pistes d'action

PRODUCTION LOCALE ET MUTUALISATION

Afin de répondre à l'engagement de Paris d'augmenter la production locale d'énergie et de favoriser la mutualisation énergétique, les membres de la task force invitent la Ville de Paris à mettre en place des incitations pour une production de froid par des réseaux à très basse température au niveau des quartiers. Le régime basse température permet à la fois de produire de la chaleur l'hiver et du rafraîchissement l'été.

La géothermie basse température permet de produire au niveau d'un bâtiment l'énergie nécessaire à son rafraîchissement. Une meilleure connaissance des disponibilités sur Paris et des solutions techniques associées est aujourd'hui nécessaire. S'agissant des financements, une communication auprès des maîtres d'ouvrage sur les aides financières et sur les dispositifs d'assurance existants (AQUAPAC par exemple) pourrait faciliter la mise en œuvre de telles solutions, dont les coûts d'investissement sont relativement importants.

Le **rafraîchissement adiabatique** représente une alternative peu onéreuse pour les bâtiments ne pouvant être connectés au réseau de froid urbain. Le système se présente sous forme d'une pompe qui fait circuler de l'eau sur des filtres absorbants. Le ventilateur aspire l'air extérieur, chaud et sec, et le fait passer à travers des filtres humides. L'air est refroidi par évaporation de l'eau. Le coût d'investissement est moindre et la consommation électrique est jusque 10 fois moins importante qu'avec des systèmes de climatisation traditionnels.

Pour inciter à la mutualisation au niveau local des demandes de production de froid ou de raccordement par les projets immobiliers, la Ville de Paris pourrait lancer un appel à projets localisés pour tester *in situ* la mutualisation des besoins énergétiques. Un bâtiment climatisé peut évacuer les calories extraites de ses locaux pour devenir producteur de chaleur. Si le potentiel technique est réel, un portage politique fort est nécessaire pour dépasser les contraintes juridiques, contractuelles et financières.

RESEAU DE FROID URBAIN

Les membres de la task force s'engagent à étudier l'opportunité d'un raccordement au réseau de froid urbain de Paris lors des opérations de construction et rénovation lourde.

Pour permettre une plus large diffusion du réseau, les membres de la task force demandent à la Ville de Paris d'étendre le périmètre du réseau de froid urbain à l'ensemble du territoire. Il permet d'apporter une réponse écologiquement satisfaisante au phénomène de surchauffe des surfaces immobilières en période de canicule.

Dans le nouveau Plan Climat de Paris il est prévu de communiquer de manière spécifique afin d'augmenter le nombre de bâtiments raccordés au réseau de froid urbain et de diminuer les systèmes de climatisation individuels.





Le réchauffement climatique et l'évolution du besoin de froid à Paris

PROJECTIONS CLIMATIQUES A L'HORIZON 2100 SUR PARIS

Météo-France constate d'ores et déjà une augmentation des températures à Paris sur le siècle passé. L'année 2016 a été la plus chaude au niveau mondial et les 3 années les plus chaudes à Paris se situent dans la dernière décennie.

Au cours du 20e siècle, le nombre de jours chauds a augmenté tandis que le nombre de jours froids a diminué. Les vagues de chaleur ont aussi été plus nombreuses que par le passé. Au cours du 21e siècle, cette tendance va se poursuivre.

A l'horizon 2071-2100 :

- Les températures minimales devraient augmenter de 1,1 °C à 3,8 °C et les températures maximales de 1,3 °C à 4,3 °C.
- Le nombre de jours de gel par an devrait diminuer et celui des journées estivales augmenter.
- Ainsi, il est certain que le nombre des jours froids diminuera et que celui des jours chauds, voire très chauds, augmentera.

Évolution du climat à Paris (valeurs moyennes annuelles)

Indicateurs	Climat actuel (normales climatiques 1981-2010)	Écart prévus (projections climatiques pour la période 2071-2100)
Températures minimales	8,9 °C	+1,1 à 3,8 °C
Températures maximales	16 °C	+1,3 à 4,3 °C
Jours de gel	25 jours/an	-8 à -23 jours/an
Journées estivales (temp. max. > 25°C)	49 jours/an	+10 à +60 jours/an
Cumul de précipitations	637 mm/an	-26 à +176 mm/an
Jours de pluie (≥ 1 mm)	111 jours/an	-18 à +11 jours/an

© Météo-France

Source : Brochure APC / Météo-France, "Le Changement Climatique à Paris", 2015

La canicule de 2003 a représenté la vague de chaleur la plus importante depuis 1947. Or d'ici à la fin du 21^e siècle, **un été sur deux pourrait être aussi chaud que celui de 2003**. Les vagues de chaleur seront plus nombreuses, plus longues et plus intenses que celles que l'on connaît aujourd'hui, et ce même si une politique de baisse des émissions de gaz à effet de serre est menée. En l'absence d'action, ces vagues de chaleur seront encore plus fréquentes et intenses.

POUR ALLER PLUS LOIN

Le réchauffement climatique et l'évolution du besoin de froid à Paris

Paris est très vulnérable aux vagues de chaleur en raison du **phénomène d'îlot de chaleur urbain** (ICU). Ce phénomène est caractérisé par une température plus élevée au centre des agglomérations que dans les territoires ruraux avoisinants. L'ICU s'explique notamment par la capacité d'absorption de chaleur des matériaux minéraux caractéristiques des villes. Si ce phénomène s'observe toute l'année, il est particulièrement marqué en période de canicule, où la différence de températures entre le centre de Paris et les territoires ruraux alentours peut aller jusqu'à 10°C.

A Paris, le nombre de journées d'alerte canicule au 21^e siècle pourrait être compris entre 10 à 25 versus 1 seul jour/an en moyenne actuellement.

EVOLUTION DE LA CLIMATISATION

Comme indiqué précédemment, les évolutions climatiques projetées pour Paris à moyen terme (2030) et à long terme (2080) prévoient une augmentation de la température moyenne, du nombre de jours « chauds » (température supérieure à 25°C) et de l'occurrence des épisodes caniculaires.

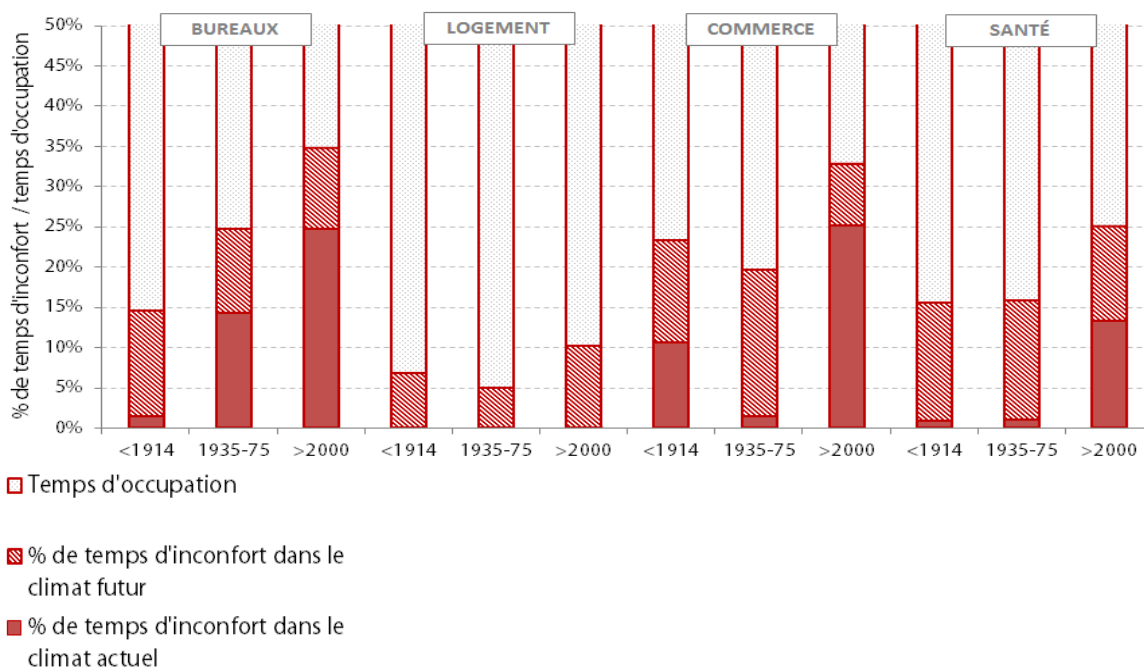
Les études menées dans le cadre du projet RESILIS², ont montré une augmentation des besoins en froid de l'ordre de 250% à Paris, à l'échéance 2100, sur la base du scénario A2 du GIEC (Groupe Intercontinental d'Experts sur le Climat).

Dans le climat actuel, on observe des situations d'inconfort déjà fréquentes pour les locaux à fort apports internes comme les bureaux ou les commerces, peu ou pas ventilés naturellement. Il s'agit principalement de bâtiments construits entre 1935 et 1975 sans ouvrants de façade. Cette situation se retrouve dans les bâtiments récents qui présentent une isolation thermique renforcée empêchant l'évacuation des apports thermiques internes vers l'extérieur.

D'ici à 2100, on s'attend à une augmentation massive des situations d'inconfort estival et de demi-saison dans les locaux non climatisés, avec une fréquence d'occurrence qui dépasse 5% du temps d'occupation. Il en résulte une hausse généralisée des besoins en froid d'ici à 2100. Ces besoins resteront cependant inférieurs aux besoins de chaleur à l'échelle du parc. Pour autant, on constate une évolution radicale du profil de consommation des bâtiments les plus récents (construits ou réhabilités après 2000), avec des besoins de froid qui égalent voire dépassent les besoins de chaleur. En comparaison les bâtiments existants, les bâtiments neufs présentent des besoins de rafraîchissement plus important, c'est l'effet « thermos ».

² RESILIS - Améliorer la résilience de la ville au changement climatique, Ville de Paris + Egis + Sogreah + EIVP + CEMAGREF + Météo-France (2010-2012).

Le réchauffement climatique et l'évolution du besoin de froid à Paris



IMPACT SUR L'ICU

Le projet CLIM² a permis l'étude des effets des systèmes de rafraîchissement et de climatisation sur le climat de Paris, en distinguant les installations sources de rejets « secs » qui rejettent de l'air chaud dans la rue, et les systèmes sources de rejets « humides » qui rejettent la chaleur sous forme de vapeur d'eau dans l'air ou directement dans l'eau.

Les résultats montrent que les rejets du parc actuel de systèmes de refroidissement (secs et humides) provoquent une augmentation faible et locale de la température nocturne dans les rues, de l'ordre de 0,25 à 1°C, par rapport à un cas de référence sans climatisation.

Si l'ensemble des rejets est sous forme sèche, cette augmentation de température nocturne est alors de l'ordre de 0,5 à 2°C, plus étalée et modifiant légèrement la structure et l'amplitude de l'îlot de chaleur urbain nocturne.

Dans une situation future où la puissance globale de climatisation est doublée et l'ensemble des rejets sous forme sèche, l'intensité et l'emprise spatiale des impacts augmentent fortement, même en journée : l'augmentation de la température nocturne est de l'ordre de 0,5°C à 3°C, l'îlot de chaleur étant nettement plus étalé et plus intense.

En outre, les résultats indiquent un effet de rétroaction négative : les rejets « secs » des équipements de climatisation, contribuent à l'augmentation de la température dans les rues et au renforcement de l'îlot de chaleur, qui accroît en conséquence le besoin en climatisation.

POUR ALLER PLUS LOIN

Le réchauffement climatique et l'évolution du besoin de froid à Paris

CONFORT THERMIQUE ET CONDITIONS DE TRAVAIL

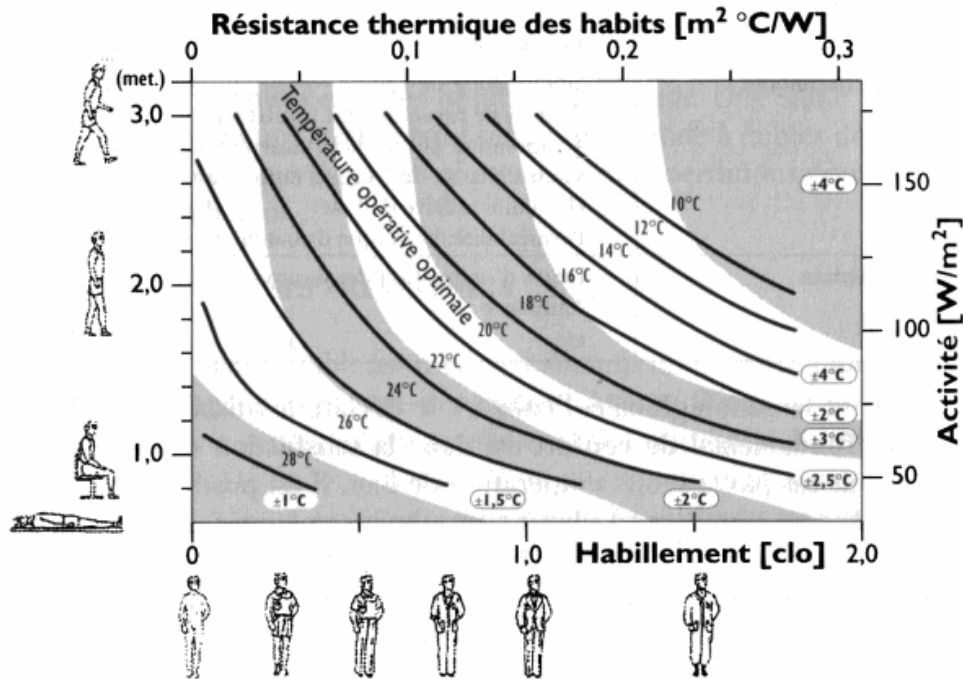
Le confort thermique dépend non seulement de la température de l'environnement (air, parois), de l'humidité, des mouvements d'air, mais également de la sensibilité (aspect psycho-sociologique), de l'habillement, du métabolisme, de l'activité de chaque personne. Il donne lieu à une appréciation subjective.

Le confort thermique correspond à un état d'équilibre thermique entre le corps humain et les conditions d'ambiance : au-delà d'un certain niveau de déséquilibre, l'individu va ressentir de l'inconfort, notamment parce qu'il va devoir réagir pour réduire ce déséquilibre. En effet, la température corporelle de l'homme doit demeurer constante (homéothermie), quel que soit son environnement thermique. Les mécanismes de régulation permettant ce maintien peuvent être débordés, notamment en période caniculaire.

En dehors de situations climatiques exceptionnelles, sur le lieu de travail, le confort thermique impacte le bien-être du travailleur et sa productivité.

Aucune indication de température n'est donnée dans le Code du travail. Par contre, le décret N°2006-363 du 19/03/2007 stipule que « dans les locaux dans lesquels est installé un système de refroidissement, celui-ci ne doit être mis ou maintenu en fonctionnement que lorsque la température intérieure des locaux dépasse 26 °C ».

La norme ISO 7730 donne une définition du confort selon les indices du PMV (Predicted Mean Vote) et du PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied), fonction essentiellement des conditions climatiques, de l'habillement et de l'activité de l'individu concerné.



Température ambiante optimale en fonction de l'activité et de l'habillement (norme EN ISO 7730)

Les systèmes de refroidissement

Il existe une grande diversité de systèmes de climatisation que l'on peut répartir en trois catégories en fonction des modes de production de froid et de la surface à climatiser :

- Les systèmes de climatisation individuelle ;
- Les systèmes de climatisation décentralisée ;
- Les systèmes de climatisation centralisée.

LES SYSTEMES DE CLIMATISATION INDIVIDUELLE

Il s'agit d'appareils conçus pour rafraîchir un local unique. Ils peuvent être réversibles et servir à la production de chaleur et de froid. Ces systèmes sont dits à détente directe c'est-à-dire que le froid est directement produit dans l'appareil sans l'intermédiaire d'un circuit d'eau glacé. Ils peuvent être monoblocs ou bi-blocs à condensation par air ou par eau.

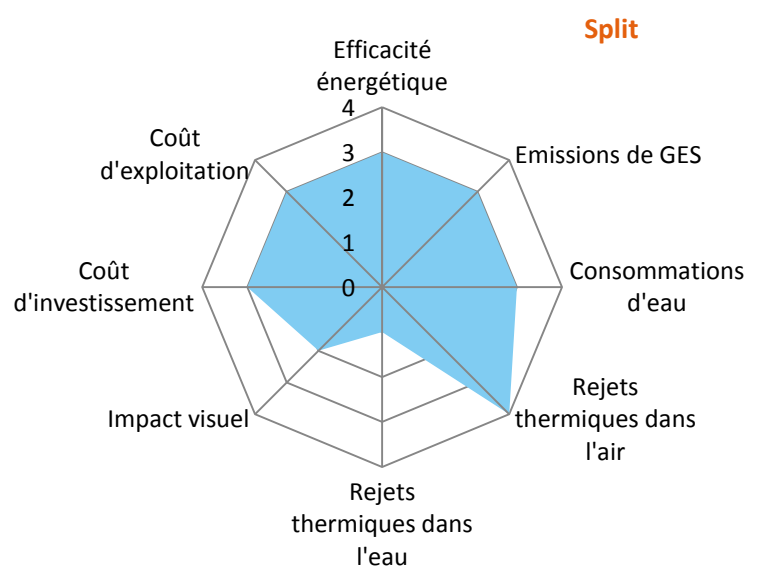
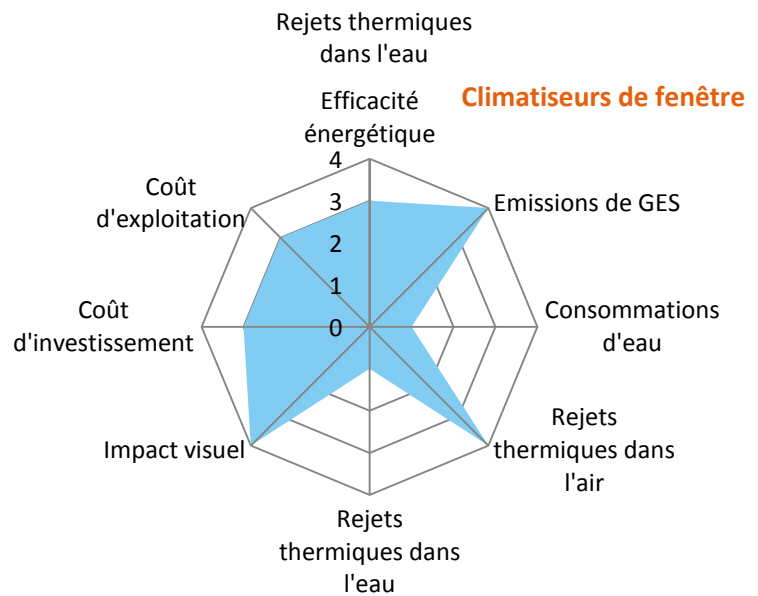
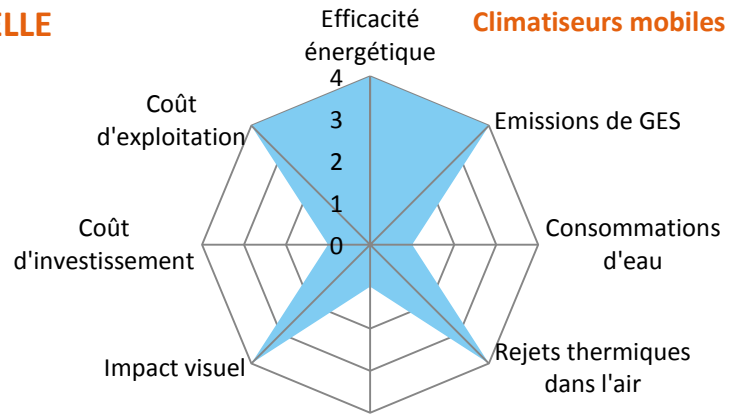
On retrouve dans cette catégorie les climatiseurs mobiles, les climatiseurs de fenêtre et les splits ou condensateurs à air. La climatisation individuelle est utilisée dans le petit et le moyen tertiaire.

Les **climatiseurs mobiles** s'utilisent de manière provisoire. Le condenseur est refroidi par l'air pris dans le local ou à l'extérieur. L'air est ensuite rejeté à l'extérieur par une gaine placée dans l'ouverture d'un ouvrant.

Les **climatiseurs de fenêtre** fonctionnent sur le même principe mais sont installés de manière pérenne au niveau de la façade.

Ces deux systèmes présentent des niveaux de consommation énergétiques importants et sont peu performants. Ils génèrent d'important rejet de chaleur dans l'environnement contribuant à l'effet d'îlot de chaleur urbain.

Le **split** est quant à lui composé de deux appareils : une unité de condensation placée à l'extérieur et une unité d'évaporation placée à l'intérieur du bâtiment. Dans le cas d'un système multi-split, il est possible de traiter plusieurs pièces à partir d'un seul condenseur. Plus économe en énergie, le split reste un système peu performant qui participe à l'effet d'îlot de chaleur urbain.



Les systèmes de refroidissement

LES SYSTEMES DE CLIMATISATION DECENTRALISEE

Ces systèmes se composent d'unités de production divisionnaires installés dans chaque zone du bâtiment à climatiser. On distingue dans cette catégorie les armoires de climatisation, rooftop et split ou pompe à chaleur air/air.

Ces systèmes se caractérisent par des puissances frigorifiques plus importantes que les climatiseurs individuels et permettent un refroidissement plus important et/ou de traiter des surfaces plus importantes.

Les **armoires de climatisation** servent particulièrement à rafraîchir les serveurs informatiques. Elles s'installent directement dans la salle à climatiser où elles aspirent l'air, le traitent et le renvoient en partie supérieure.

L'unité de toiture « **rooftop** » permet de traiter des locaux de grands volumes. Le condenseur et le système d'évaporation sont intégrés à l'appareil implanté en toiture et relié par une gaine à un diffuseur d'air dans le local à traiter.

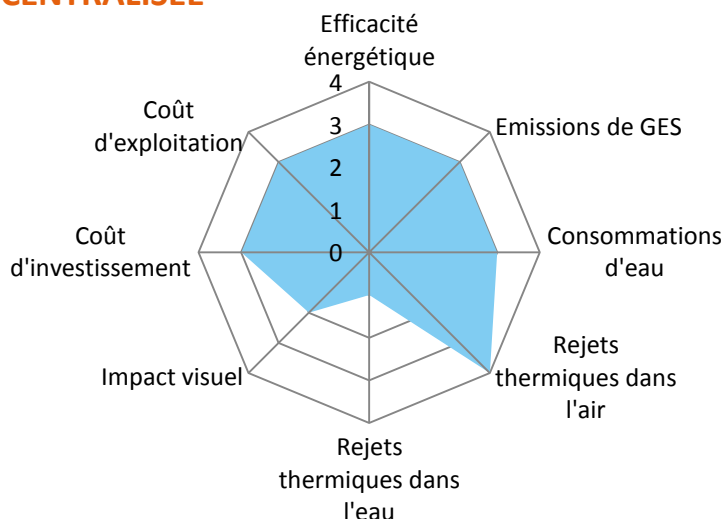
LES SYSTEMES DE CLIMATISATION CENTRALISEE

Ces systèmes se caractérisent par une partie production et une partie distribution permettant de couvrir plusieurs locaux voire plusieurs bâtiments connectés entre eux. On distingue dans cette catégorie les systèmes à débit réfrigérant variable (DRV), les groupes d'eau glacée, les pompes à chaleur eau/eau sur nappe ou cours d'eau et les réseaux de froid.

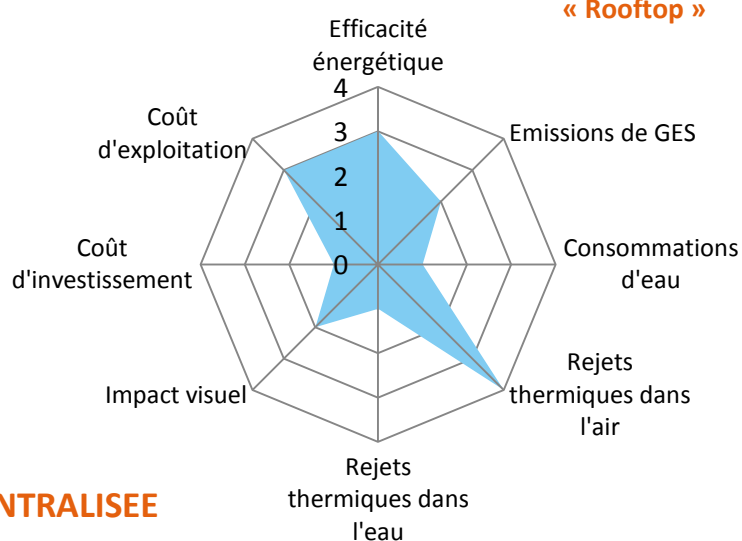
Les **systèmes à débit réfrigérant variable** sont constitués d'une unité extérieure, le condenseur, relié par un circuit de distribution à des unités d'évaporation sans les locaux à traiter. Ces systèmes peuvent être utilisés pour la production de chaleur et de refroidissement avec une consommation d'énergie réduite, puisque la chaleur extraite est valorisée e par ailleurs.

Les **groupes d'eau glacée** permettent le rafraîchissement de locaux par la circulation d'un réseau d'eau glacé dans le bâtiment. On distingue les groupes d'eau glacé avec condensation à air (refroidissement par contact avec l'air extérieur), condensation à eau ou *dry-cooler* (refroidissement par un circuit d'eau) et les tours aéroréfrigérantes (refroidissement par vaporisation et contact avec l'air). Les *dry-cooler* peuvent être de type sec ou adiabatique, dans ce cas l'air est chargé en humidité pour en abaisser la température et améliorer l'échange thermique. Il existe trois types de tours aéroréfrigérantes : ouverte avec un contact direct entre l'air et l'eau à refroidir, fermée sans contact direct de l'eau avec l'air extérieur, et hybride combinant refroidissements sec et humide.

Armoire de climatisation



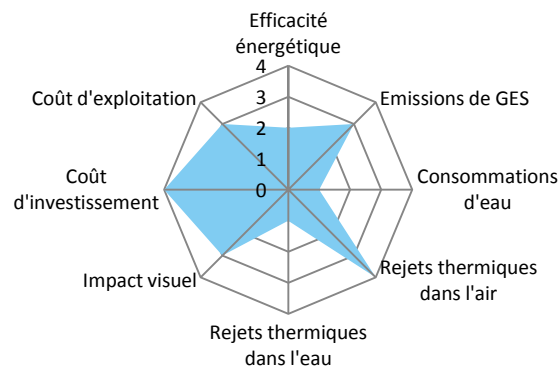
« Rooftop »



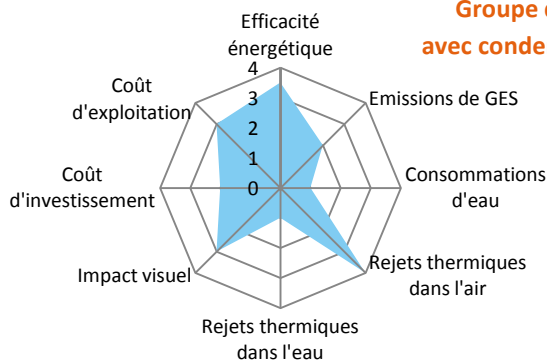
Les **pompes à chaleur géothermiques** sur nappe ou aquifère (cours d'eau) sont l'un des systèmes les plus performants qui permet de récupérer des frigidités depuis le milieu extérieur. Le coefficient d'efficacité frigorifique ou EER présente en effet des valeurs supérieures à 4.

Les **réseaux de froid urbain** combinent des centrales de production de froid et un réseau de distribution alimentant les bâtiments reliés disposant de sous-stations. Le réseau de froid peut être associé à des unités de stockage ou piscines à glace qui permettent d'écarter les consommations d'électricité.

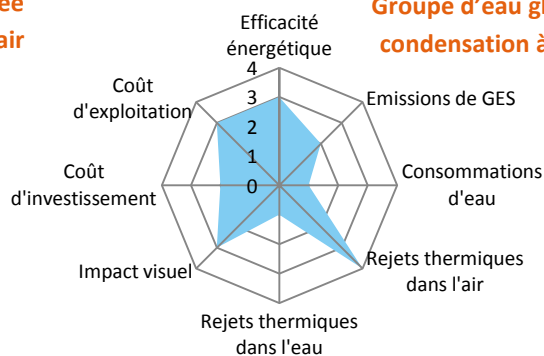
Système à débit variable



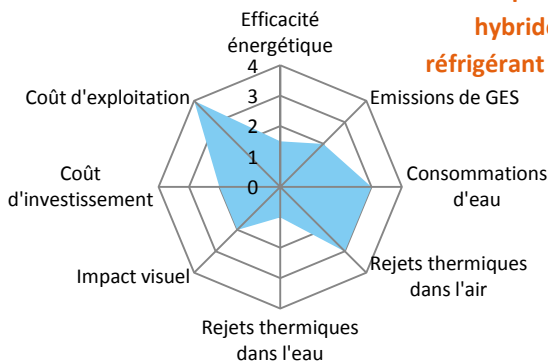
Groupe d'eau glacée avec condensation à air



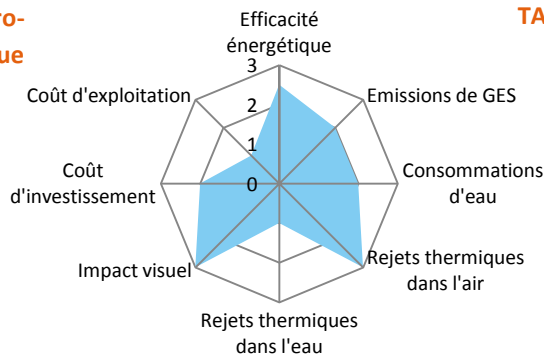
Groupe d'eau glacée avec condensation à eau (dry-cooler)



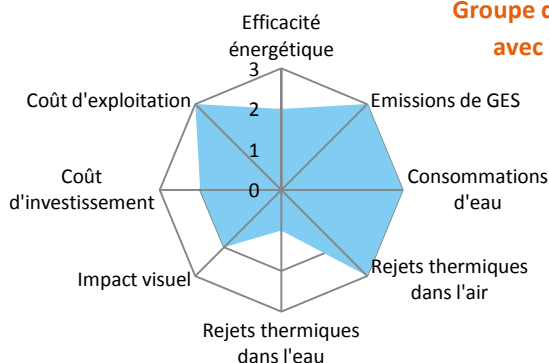
Groupe d'eau glacée hybride avec aéro-réfrigérant adiabatique



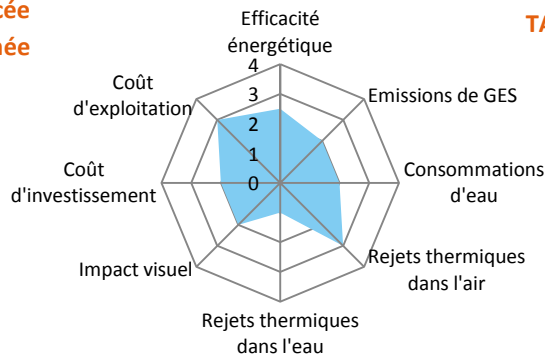
Groupe d'eau glacée avec TAR ouverte



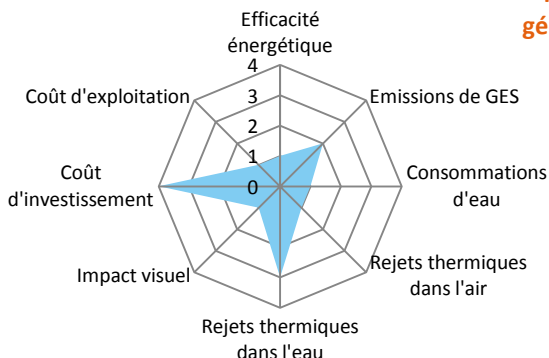
Groupe d'eau glacée avec TAR fermée



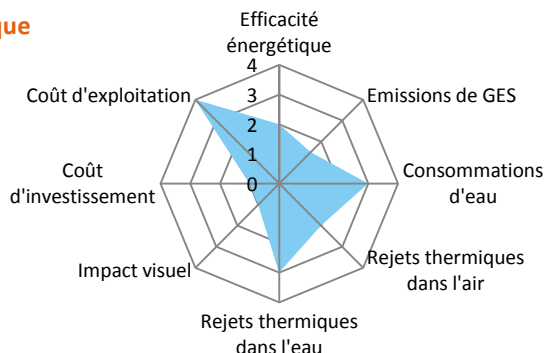
Groupe d'eau glacée avec TAR hybride



Pompe à chaleur géothermique



Réseau de froid urbain



Le réseau de froid urbain à Paris

Le réseau de froid urbain de la Ville de Paris est délégué à CLIMESPACE pour la production, le transport, le stockage et la distribution d'énergie frigorifique dans la capitale.

Disposant d'une capacité installée de 260 MW, le réseau de froid urbain compte 9 sites de production représentant un parc de 61 groupes frigorifiques. Seules quatre de ces centrales sont équipées de tour aéroréfrigérantes ouvertes. En complément, 3 sites de stockage permettent de conserver près de 140 MWh d'énergie disponible.

Long de 70 km, il a délivré en 2016 415 GWh de froid à 644 abonnés dans Paris.

EFFICACITE ENERGETIQUE

Une étude menée en partenariat avec l'ADEME a mis en évidence que les solutions autonomes de refroidissement affichaient en moyenne un coefficient de performance moyen de 1,97. De son côté, le réseau de froid urbain atteint un coefficient de performance de 3,68 en moyenne annuelle pour l'année 2016. L'efficacité du réseau de froid urbain parisien est donc supérieure de 87% à l'efficacité moyenne du parc des solutions autonomes parisiennes.

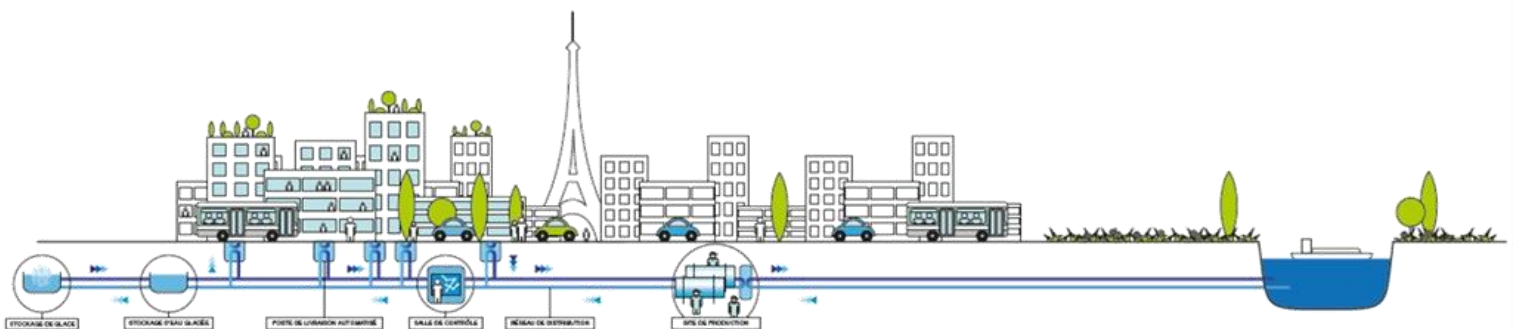
ENERGIE RENOUVELABLE

74% de l'énergie frigorifique distribuée par le réseau provient des centrales à eau de Seine, qui utilisent en hiver la Seine comme source d'énergie en mode *free-cooling* dans trois centrales (Canada, Tokyo et Bercy).

La totalité de l'électricité consommée pour le fonctionnement des machines est d'origine renouvelable.

GAZ A EFFET DE SERRE

Le rafraîchissement par le réseau a permis d'éviter le rejet de 20 00 tonnes de CO2 au cours de l'année 2016. La gestion maîtrisée des fuites de fluides frigorigènes est un atout du réseau de froid urbain. Pour 2016, le taux de fuite s'élevait à 1,19% en masse contre une moyenne de 6 à 10% sur les installations frigorifiques autonomes suivant les résultats d'une étude de l'ADEME publiée en 2013.



Le réseau de froid urbain à Paris

PROBLEMATIQUE RESEAU

Le réseau bénéficie d'une politique de maintenance opérationnelle élevée avec un taux de fuite d'eau annuel réduit à 92,4 m³ entre 2012 et 2016.

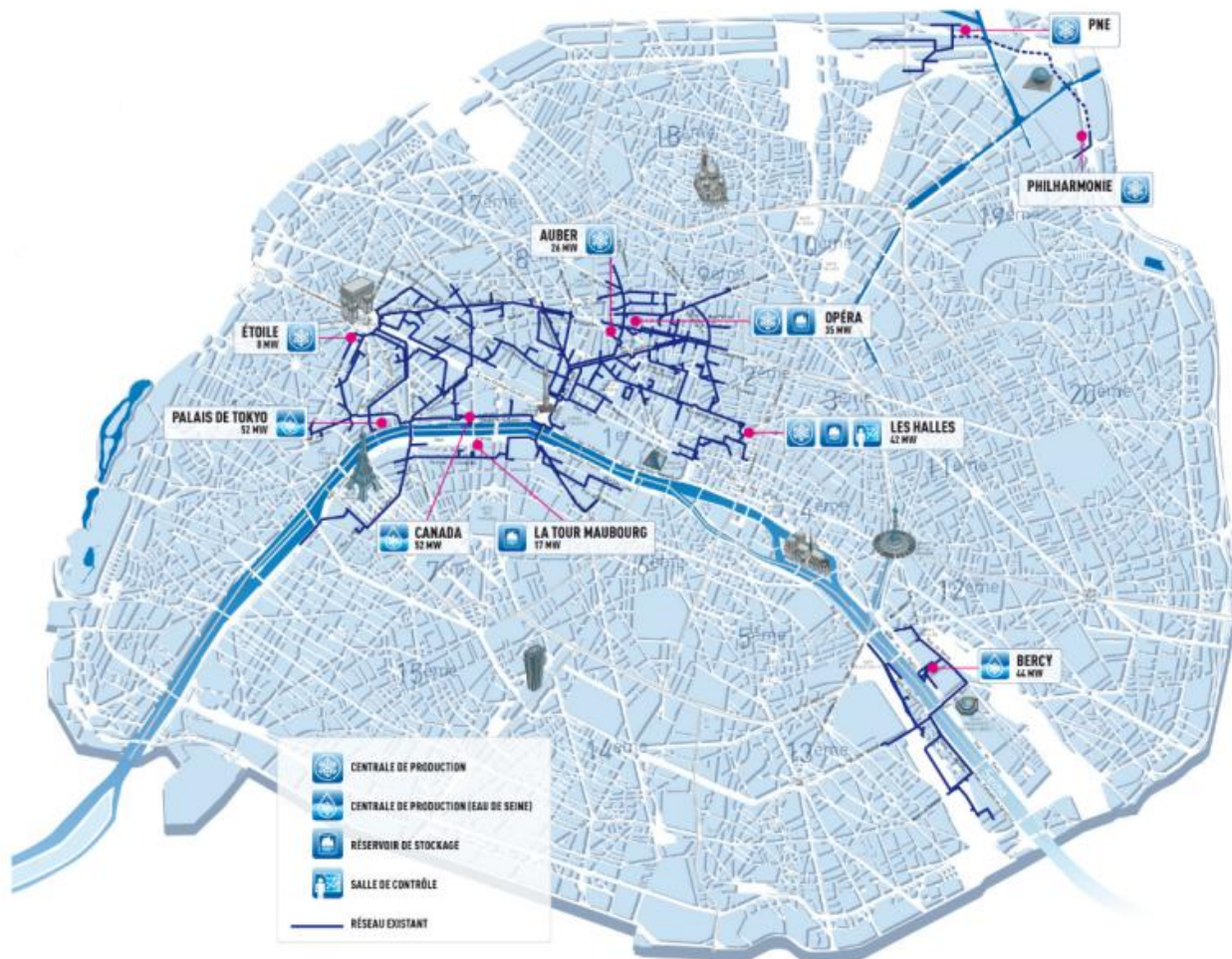
Le réseau présente deux modes de fonctionnement. Le passage de l'un à l'autre assure un ajustement du coefficient de performance du système de production/ distribution :

- Le mode maillé permet de sécuriser la livraison en mettant en commun l'ensemble de la production ;
- Le mode démaillé permet d'ajuster la consommation électrique nécessaire à la distribution hydraulique.

INNOVATION ET DEVELOPPEMENT

Porté par des innovations technologiques, le réseau évolue pour satisfaire aux attentes du plus grand nombre des clients parisiens. Il propose désormais des solutions pour les clients de petites puissances avec des sous-stations adaptés.

Plusieurs projets de développement existent avec notamment la création d'une quatrième centrale de production sur Eau de Seine dans le sud-ouest parisien avec une mise en service prévue d'ici à 2020.



POUR ALLER PLUS LOIN

Ressources

- APC et Météo-France, 2015, *Le changement climatique à Paris*
- http://www.apc-paris.com/system/files/file_fields/2015/07/03/plaquetteccaparis-pagesdoublesjuillet2015_0.pdf
- APC et Météo-France, Ville de Paris, 2014, *Comment adapter le territoire parisien aux futures canicules*
- http://www.apc-paris.com/system/files/file_fields/2015/07/28/brochurevf_0.pdf
- APC et Météo-France, Ville de Paris, 2013, *L'îlot de chaleur urbain à Paris*,
http://www.apc-paris.com/system/files/file_fields/2015/07/28/icu-part1-web-2014.pdf
- APUR 2017, *Recensement et dynamiques du parc de bureaux à Paris et dans la Métropole du Grand Paris*,
http://www.apur.org/sites/default/files/documents/recensement_dynamique_parc_bureaux_paris_mgp.pdf.
- Climespace 2017, *Le rafraîchissement au cœur de la ville*
<http://www.climespace.fr/publication/download/les-chiffres-cles>
- Egis Conseil Bâtiments et Elioth 2013, *Étude sur le développement de la climatisation à Paris*.
- Météo France CNAM Climespace, 2010, *Projet Clim*
- Plan Climat Énergie de Paris, <https://www.paris.fr/municipalite/action-municipale/paris-pour-le-climat-2148>.
- Ville de Paris Egis Sogreah EIVP CEMAGREF Météo-France (2010-2012) *RESILIS - Améliorer la résilience de la ville au changement climatique*





ici,
demain!
ensemble pour le climat