

Confort d'été des bâtiments du ministère des Armées en métropole

L'adaptation au changement climatique des bâtiments :
une nécessité pour le confort et la résilience

- 1 Enjeux
- 2 Règlementation
- 3 Performance et confort
- 4 Retours d'expériences
- 5 Conclusion

Fiche n°2

Mars 2016 :
Version originale

Juillet 2023 :
Mise à jour

Ce guide méthodologique a pour objectif de rappeler les enjeux et contraintes relatifs au confort thermique des bâtiments existants en période estivale, sur le territoire métropolitain. Il s'agit en effet de concilier le confort d'été, le respect des exigences réglementaires, la performance énergétique et la résilience des infrastructures.

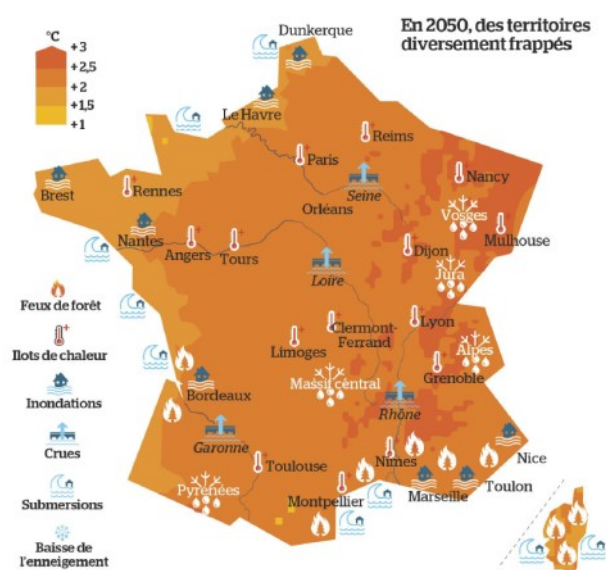
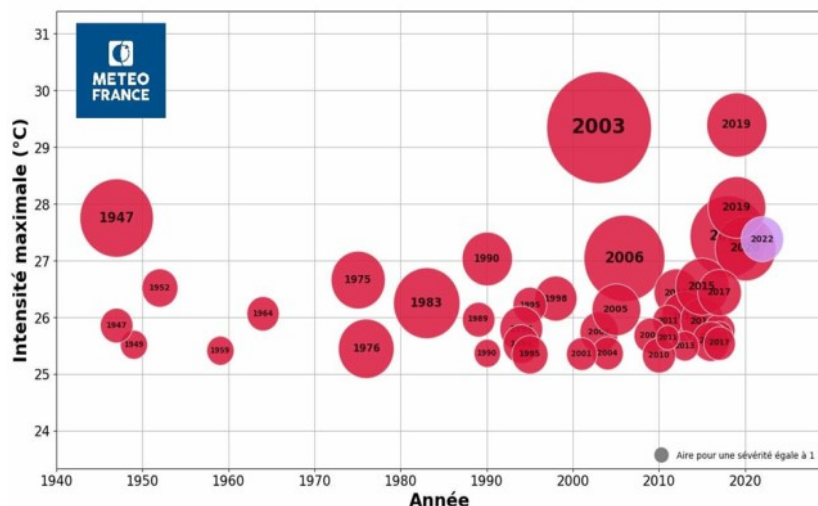
Dans un contexte de réchauffement climatique, les enjeux liés à l'intensification et à la multiplication des vagues de chaleur dans le bâtiment ne peuvent plus être abordés par le seul prisme du confort.

Pour le ministère des Armées, au-delà des aspects sanitaires habituels liés à l'exposition des occupants des bâtiments aux fortes chaleurs, se pose également la question de la résilience des installations techniques confrontées à des pics de chaleur extrême.

Cette fiche, initialement publiée en mars 2016 et mise à jour ici, propose une approche complémentaire aux directives techniques dédiées à la construction ou la rénovation, basée sur les pratiques et usages des occupants et sur une vision globale du confort et de la résilience.

En France, la hausse des températures a atteint 1,7°C depuis 1900 et s'est accélérée ces dernières décennies. Dans les trente prochaines années, Météo France prévoit une nouvelle hausse de la température moyenne entre 0,6 et 1,3°C, ainsi que des vagues de chaleurs et épisodes de canicules plus fréquents, plus

Vagues de chaleur observées en France 1947 à 2022 : 44 épisodes identifiés



A gauche : Vagues de chaleur observées en France entre 1947 et 2022 - Source Météo France, 2022
A droite : Impact du réchauffement climatique à l'horizon 2050—Source ONERC—MTEE via Le Moniteur

Les systèmes de climatisation se multiplient pour assurer le confort d'été face au réchauffement climatique. Ils contribuent notablement à ce réchauffement via leurs consommations

énergétiques, les fuites de fluides frigorigènes, mais également en générant des phénomènes d'îlot de chaleur dans les zones urbanisées (voir partie 2).

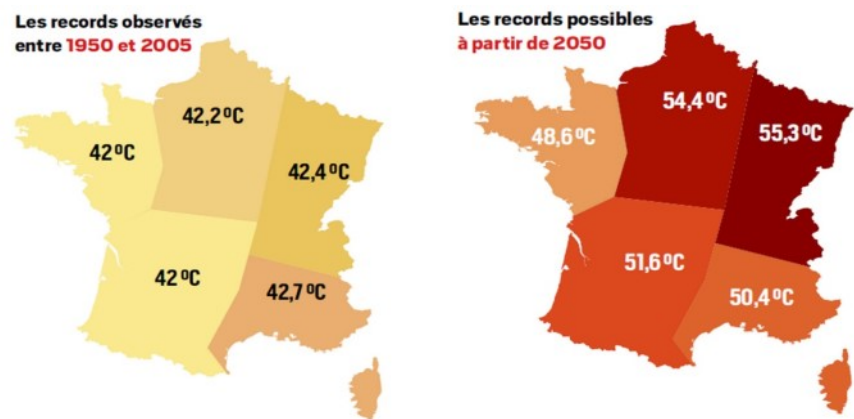
2

En signant les accords de Paris, les pays se sont accordés pour limiter l'augmentation des températures de 2°C en moyenne. Pour cela, il se sont engagés, conformément aux recommandations du GIEC (Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat), à atteindre la neutralité carbone pour la deuxième moitié du 20^{ème} siècle. Cet objectif de décarbonation totale à l'horizon 2050

implique pour la France **une division par 6 des émissions de gaz à effet de serre sur le territoire par rapport à 1990.**

Répondre à cet objectif dans un contexte de réchauffement avéré présente un double challenge dans le secteur du bâtiment, qui devra assurer sa sobriété, son efficacité, et sa décarbonation tout en répondant à des besoins de confort d'été accrus.

« En 2050, des pics à 55°C dans l'Est et le Nord », *Le Journal du Dimanche*, Août 2017. Données issues d'une étude du Cerfacs, du CNRS, et de Météo France publiée le 19 juillet 2017.

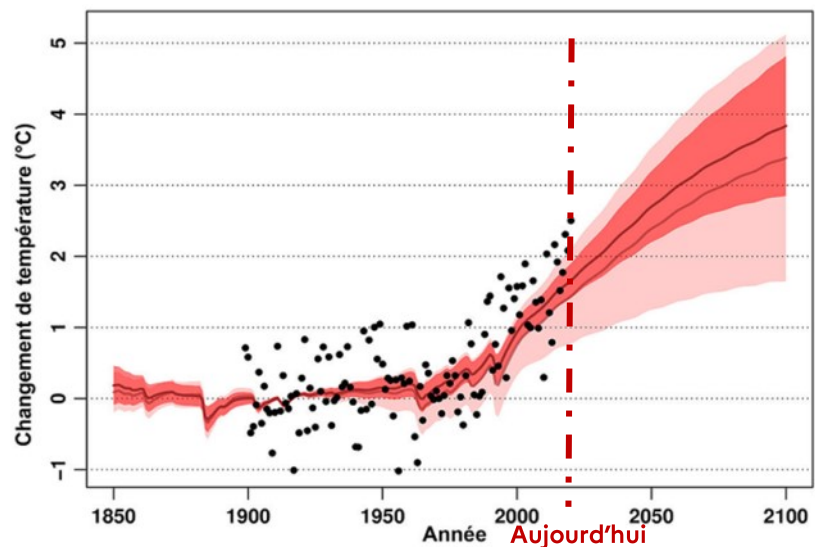


Les dernières projections climatiques du GIEC, basées sur le scénario d'une réduction des émissions de gaz à effet de serre jusqu'à un niveau modéré, montrent que le réchauffement climatique en France pourrait être de +3.8°C d'ici la fin du siècle. Cette

augmentation se traduirait par une augmentation des températures de +3.2°C en hiver et +5.1°C en été, par rapport au début du 21^{ème} siècle.

Le gouvernement a annoncé en mai 2023 se préparer au scénario « +4°C » en 2100.

« D'ici 2100, l'augmentation de Température moyenne serait de 3,8 °C par rapport au début du XXI siècle, et ce dans un scénario d'émissions modérées de gaz à effet de serre. », *Earth syst Dynam*, 13, 1397-1415, Aurélien Ribes et al. 2022.



Quelques chiffres

- ⇒ En 2020, la climatisation de confort en France représente environ 8% des consommations en électricité des bâtiments à usage tertiaire¹.
- ⇒ En 2020, en France métropolitaine, les fluides frigorigènes du secteur tertiaire et résidentiel représentent 3.5 millions de tonnes équivalent CO₂, soit 2% des émissions du secteur du bâtiment.

¹ La climatisation dans le bâtiment, rapport final, novembre 2021, ADEME.



Adapter les bâtiments du MinArm aux enjeux climatiques, un défi qu'il faut anticiper

Répondre aux enjeux climatiques ne se limite pas à diminuer les consommations énergétiques ou à réduire l'empreinte carbone des bâtiments. Il s'agit également **d'adapter** les bâtiments existants et futurs aux multiples risques et enjeux qu'engendrera l'augmentation des températures (santé publique, productivité, ...).

Avec la mise en place de la réglementation environnementale 2020 (RE2020), les **constructions neuves** intègrent mieux la prise en compte du confort d'été des bâtiments.

Pour les **bâtiments existants**, l'adaptation à la hausse des températures estivales et à la multiplication des épisodes caniculaires sans aggraver le bilan énergétique et carbone du bâtiment s'avère être un véritable **défi technique**.

Le patrimoine du Ministère des Armées présente globalement un taux d'équipement en systèmes de rafraîchissement assez faible. L'inconfort

d'été suscite souvent des interventions dans les bâtiments existants qui se limitent à la mise en place de climatisations, dont le déploiement semble s'accélérer significativement.

Ce déploiement au travers d'opérations ponctuelles, sans réflexion globale à l'échelle du bâtiment ou du site, constitue toutefois une stratégie **coûteuse** sur la durée (facture d'énergie, réseau d'électricité, investissements minimes mais multiples, maintenance), **peu performante** du point de vue environnemental et **risquée pour la résilience** des installations techniques.

Dès lors, il paraît essentiel d'aborder la question du confort d'été dans les bâtiments existants de métropole dans **une stratégie globale** d'optimisation des coûts, de réduction des consommations énergétiques et de réduction des émissions en gaz à effet de serre, qui priorisera les **actions et interventions passives** avant toute installation de **système actif**, consommateur d'énergie.

Température intérieure : Température de l'air mesurable au centre d'un local à 1,50m au-dessus du sol.

Température de consigne : Valeur demandée au système de régulation.

Température ressentie : Elle résulte de paramètres physiques et psycho-sociologiques. Différents indicateurs, reposant sur le ressenti des occupants permettent de l'estimer (vote moyen prévisible, pourcentage prévisible d'insatisfaits,...). Ces indicateurs sont ceux retenus par la norme ISO 7730 pour évaluer le confort thermique.

Raфраîchissement : Abaissement non contrôlé du niveau de température intérieure par rapport à la température extérieure, sans système à puissance garantie pour la production de froid. Ex. : ventilation naturelle, VMC simple ou double-flux, sur-ventilation nocturne, puits provençal ou boucle d'eau enterrée...

Climatisation : Système à puissance garantie permettant de créer ou de maintenir dans des conditions déterminées la température, voire l'humidité, dans un local.

Refroidissement : Action obtenue à partir de systèmes de rafraîchissement ou de climatisation.

Confort adaptatif : Modèle de confort thermique qui permet de déterminer les températures de confort dans un environnement en incitant l'utilisateur à participer de manière active à son confort.



Exigences réglementaires : la climatisation en dernier recours

Climatisation et empreinte carbone

Les systèmes de climatisation impactent l'environnement de différentes manières. D'abord, ils représentent des sources significatives de **consommation énergétique** et génèrent des émissions de CO₂.

En zone urbaine, la démultiplication des systèmes de refroidissement actifs a un impact visible sur le climat local. En effet, ils contribuent aux effets d'îlot de chaleur urbain, en évacuant aux abords du bâtiment les calories prélevées à l'intérieur, et en rehaussant significativement la température extérieure.



Climatisations individuelles sur un immeuble - Crédit photo : Flickr- Tinou Bao

Cet impact sera plus ou moins important selon le type de système utilisé. Il sera moindre dans le cas de système centralisé mais plus significatif dans le cas de systèmes de climatisation individuels qui génèrent une densité de rejet calorifique plus importante et plus démultipliée.

²Le PRG est un indicateur qui vise à regrouper sous une seule valeur l'effet additionné de toutes les substances contribuant à l'accroissement de l'effet de serre.

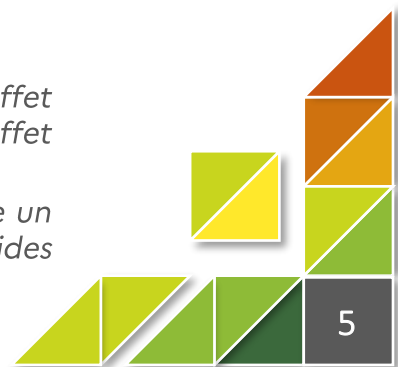
³le taux de fuite était estimé à 30% du volume de fluide, dans une étude un peu ancienne de 1997 Zéro fuite – Limitation des émissions de fluides frigorigènes, D. Clodic, Pyc Éditions, 1997

Par ailleurs, les **fluides frigorigènes** chargés dans les équipements contribuent fortement à l'émission de gaz à effet de serre

En effet, si les fluides frigorigènes à la base du fonctionnement des machines thermodynamiques sont désormais inoffensifs pour la couche d'ozone (depuis l'interdiction en 2004 au niveau européen du gaz réfrigérant R22 - chlorodifluorométhane), les gaz fluorés utilisés dans la majorité des équipements (HFC – hydrofluorocarbures) sont des GES au pouvoir de réchauffement jusqu'à **2 000** fois plus élevé que celui du CO₂.

Ces gaz à haut pouvoir de réchauffement global (PRG²) s'échappent dans l'atmosphère lors de la production et de la mise en service des équipements, à l'occasion d'opérations de maintenance (vidange) ou lors de fuites³, et en fin de vie de l'équipement si les gaz ne sont pas recyclés ou détruits.

En raison de l'impact des systèmes de climatisation sur les émissions de gaz à effet de serre, la réglementation européenne et française encadre la maintenance et contrôle des équipements mais également et surtout, impose le recours à des fluides à plus faible impact environnemental.





Installer et utiliser un système de climatisation : un cadre réglementaire contraignant

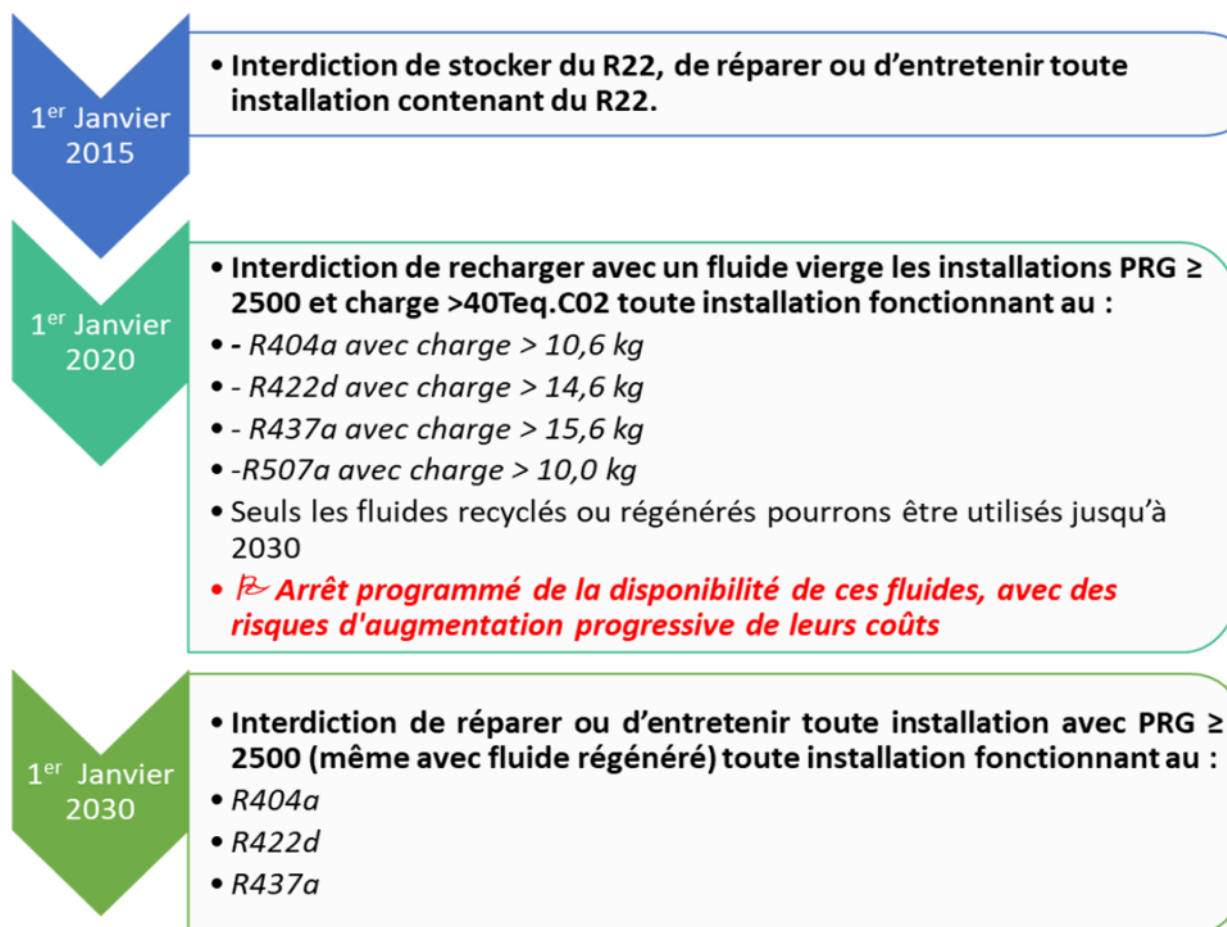
Des exigences sur l'usage des fluides frigorigènes et l'exploitation-maintenance des équipements

La réglementation française⁴, qui découle des exigences européennes, encadre strictement la mise sur le marché, les contrôles périodiques et la maintenance des systèmes recourant aux fluides frigorigènes.

Les détenteurs d'équipements doivent notamment procéder régulièrement à un contrôle d'étanchéité par un opérateur accrédité. La fréquence de ces contrôles

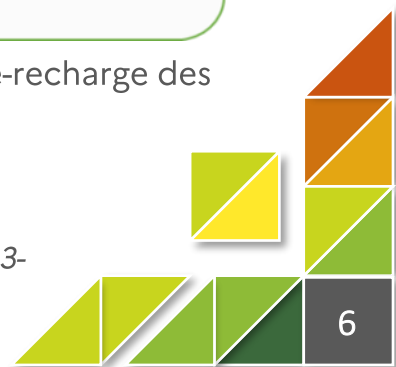
dépend de la mise en place, ou pas, d'un dispositif de détection des fuites.

La réglementation européenne et nationale vise la suppression progressive de l'usage des fluides frigorigènes par ordre de priorité de leur pouvoir de réchauffement global (PRG). Cela se traduira par l'impossibilité progressive de remplacer les fluides dans les systèmes existants, au fil de leur disparition dans les systèmes mis sur le marché.



Dates clés des restrictions réglementaires liées à la maintenance-recharge des systèmes de climatisation

⁴Décret 2015-1790 du 28/12/2015, arrêté du 29 février 2016, articles R. 543-75 à R. 543-123 du code de l'environnement.





Des exigences restreignant l'usage lié aux besoins de confort

Dans un contexte international particulier marqué par l'accélération du dérèglement climatique, des tensions sur l'approvisionnement en énergie et la volatilité des prix de l'énergie, les directives gouvernementales exigent des services de l'Etat un engagement fort et une exemplarité sans faille. Le plan Sobriété 2022-2024 vise ainsi une réduction de 10% de la consommation d'énergie en 2 ans, via des efforts principalement tournés vers les éco gestes et l'adaptation du confort d'hiver

et d'été au juste besoin. Les exigences liées au rafraîchissement viennent rappeler l'importance de l'application stricte des textes existants.

Par ailleurs, le ministère est engagé depuis 2020 dans une politique d'achat durable prenant en compte la performance énergétique et environnementale dans la conception, l'installation et l'achat d'équipements, y compris les systèmes de refroidissement⁵.

Selon les études menées par l'ADEME⁶, augmenter la consignes de température dans un local climatisé de 22°C à 27°C permet de diviser par deux la consommation énergétique de climatisation. De même, mettre en route la climatisation à partir de 30°C extérieur au lieu de 27°C permet de diminuer fortement la durée d'utilisation et de diviser par 3 la consommation énergétique.

Si le code de l'énergie demande à ce que les systèmes de refroidissement de confort soient maintenus en fonctionnement uniquement lorsque la température intérieure des locaux dépasse 26°C, la **Directive n°501637/DCSID du 10/04/2014 est plus restrictive et établit que :**

- la mise en route de ces systèmes est interdite si la température intérieure est inférieure ou égale à 27°C ;
- l'utilisation du système de refroidis-

sement ne doit pas produire une différence de température intérieure / extérieure supérieure à 5°C ;

- le système de refroidissement doit être arrêté lorsque le local est inoccupé.

Le **Code du travail** évoque des températures adaptées à l'usage, sans précision de températures limites (art. R4213-7, R4213-8, R4222-1, R4223-14, R4228-28).

Les contrôles

Bien que le parc du MinArm soit relativement peu équipé en climatisation « de confort », l'USID peut vérifier les températures intérieures des locaux refroidis, au titre de la vérification de la qualité des prestations dues, et par la même vérifier le respect de la réglementation.

⁵ note n°0001D20017483/ARM/SGA du 21 Septembre 2020





La climatisation dans les bâtiments existants conditionnée à des prérequis

Pour les **bâtiments existants de moins de 1000 m²**, faisant l'objet de travaux « légers » les exigences liées à l'installation d'un système de refroidissement sont décrites dans l'arrêté du 22 mars 2017 modifiant l'arrêté du 3 mai 2007 relatif aux caractéristiques thermiques et à la performance énergétique des bâtiments existants.

L'installation ou le remplacement d'un système de refroidissement dans un local dont les baies ne sont pas orientées au nord est ainsi conditionnée :

- ♦ à l'existence de **protections solaires** aux caractéristiques dépendant de la typologie du local. **Les baies vitrées** (sauf celles orientées au nord) des pièces concernées **doivent être munies de protections solaires mobiles**. Le facteur solaire de la baie protégée doit être inférieur ou égal à 0,35 ou bien de classe 2,3 ou 4 au sens de la NF EN 14501. La réglementation considère que les protections extérieures telles que les volets, les volets roulants, les stores à lame ou en

toile opaque (...) satisfont à ses exigences.

- ♦ à des critères de performance énergétique des climatiseurs. Le règlement européen Ecoconception définit les rendements minimums exigés pour les climatiseurs inférieurs à 12 kWh. Pour les équipements de puissance supérieure ou égale à 12kW, la réglementation impose au coefficient d'efficacité frigorifique EER une valeur minimale.
- ♦ à la mise en place d'un dispositif de suivi des consommations de refroidissement et de la température, lorsque la surface refroidie est supérieure à 400 m².

Dans le cas de la rénovation d'un **bâtiment existant de plus de 1000 m²** construit après 1948 et pour lequel les coûts des travaux sont supérieurs à 25% du coût de la construction, l'arrêté du 13 juin 2008 (RT-globale) impose également certaines exigences de performance pour les équipements.

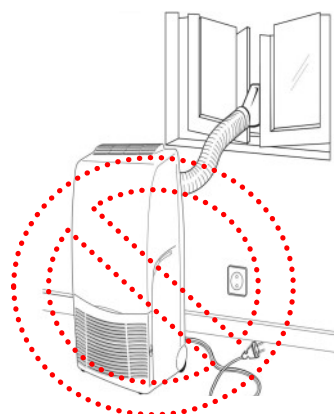
Cas particuliers :

Pour les établissements de santé qui comportent des structures d'hébergement, le Code de la santé publique impose au moins une pièce équipée d'un système fixe de rafraîchissement de l'air.

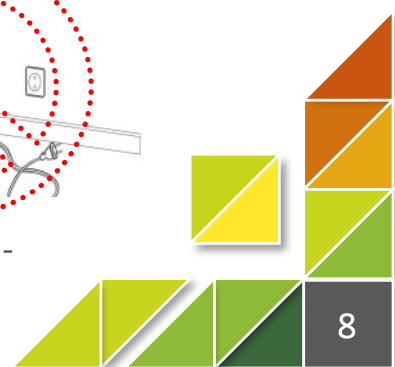
Cas des systèmes de climatisation mobiles :

Ces systèmes n'entrent pas dans le cadre du périmètre de responsabilité du SID. Toutefois, l'USID, dans sa mission d'assistance au commandement, doit alerter le commandement sur l'inefficacité de ce type de système tant du point de vue énergétique,

économique, que pour le confort. Les interventions citées dans la partie suivante constituent des alternatives à conseiller et favoriser pour lutter contre l'inconfort thermique d'été.



⁶ « La climatisation de confort dans les bâtiments résidentiels et tertiaire » - Etat des lieux 2020 – ADEME.



La climatisation dans les projets de bâtiments neufs

Dans le cas de la construction d'un bâtiment neuf, la réglementation environnementale RE2020 intègre la problématique du confort d'été en imposant à la fois des exigences de résultats et des exigences de moyens :

- ♦ Côté exigences de résultats, elle prend en compte le besoin bioclimatique (Bbio), les degrés-heure (DH) qui correspondent au nombre d'heures d'inconfort estival et les consommations d'énergie primaire (CEP).
- ♦ Côté exigences de moyens, la RE2020 impose des facteurs solaires maximaux à respecter pour l'ensemble des baies d'un bâtiment. Ils dépendent de la zone climatique, de l'exposition au bruit des baies et de leur orientation, ainsi que de la destination des pièces, en particulier s'il s'agit de locaux destinés au sommeil.

Pour évaluer le confort d'été, la RE2020

définit deux seuils que la température intérieure ne doit pas dépasser :

- La nuit, le seuil est de 26 °C
- Le jour, le seuil de confort adaptatif se situe entre 26°C et 28°C

Au-delà de ces seuils, chaque degré est considéré comme inconfortable pour l'occupant. Les DH sont la somme des degrés ressentis inconfortables de chaque heure de l'année. Si ce compteur ne dépasse pas 350 °C.h, la RE2020 juge le bâtiment acceptable pour les 50 prochaines années, même en période caniculaire, sans système de refroidissement complémentaire.

Entre 350°C.h et un seuil maximum pour lequel le bâtiment n'est pas conforme, le bâtiment respecte l'exigence réglementaire mais pourra être inconfortable en période caniculaire. Un forfait de consommation énergétique liée au refroidissement est donc ajouté aux consommations d'énergie du projet, le législateur anticipant la pose ultérieure de climatisation.



Le calcul des degrés-heures (DH) est réalisé à partir d'un scénario météo conventionnel issu des fichiers Météo-France (2000 à 2018). Il intègre des vagues de chaleur de durée et d'intensité similaire à la canicule de 2003. Néanmoins, ce calcul ne prépare pas les bâtiments à faire face à des épisodes caniculaires répétés et de fortes intensité envisagés par les projections du GIEC les plus récentes.

- ♦ Pour assurer la résilience et l'adaptation au changement climatique des bâtiments construits aujourd'hui, il apparaît essentiel de concevoir, dès aujourd'hui, des bâtiments avec un indicateur DH le plus bas possible.
- ♦ Pour aller plus loin, une simulation thermique dynamique (STD), complémentaire aux calculs RE2020, et prenant en compte les scénarios climatiques plus réalistes du GIEC peut être demandée pour la conception d'un nouveau bâtiment. L'appui du Bureau Expertise ou d'un AMO peut être souhaitable pour le contrôle des résultats proposés par la maîtrise d'œuvre.



En résumé

Les systèmes de climatisation sont à réserver :

- aux locaux accueillant des process avec des contraintes techniques de maintien de la température ;
- là où la conception ne permet pas d'atteindre les exigences réglementaires de confort d'été, étant entendu que toutes les solutions alternatives ont été exploitées (protection solaire, dispositifs de rafraîchissement incluant les ventilateurs, la ventilation naturelle, etc.).

Les systèmes de refroidissement dits « de confort » font l'objet d'importantes limitations d'usage. La prescription de systèmes de refroidissement (conditionnée aux exigences précitées) doit prévoir **l'intégration automatique des limitations d'usage réglementaires**. Ces équipements devront être associés à un système de pilotage et de régulation ne permettant pas d'enclencher la climatisation en dessous de 27°C, et prévoyant des extinctions automatiques lors des périodes d'inoccupation des locaux. Les consignes de températures et les limitations d'usages devront être intégrées dans le marché de maintenance des installations.

3

Concilier performance énergétique et confort d'été

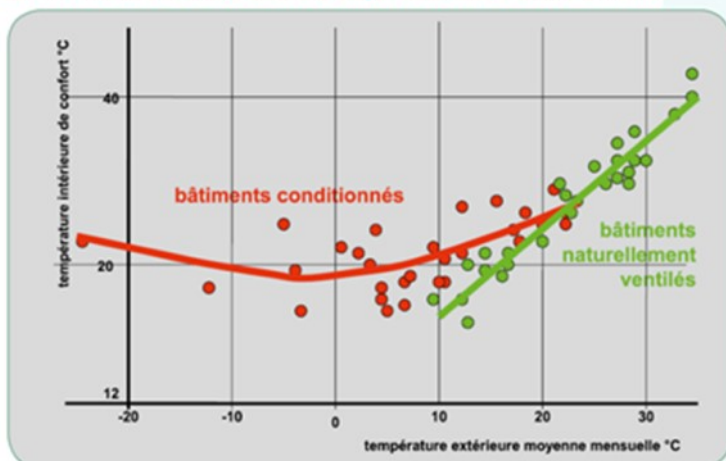
Si les effets négatifs des systèmes de climatisation sur le climat ont déjà été évoqués plus haut, d'autres éléments constituent des arguments forts à destination des occupants :

- Ils génèrent un choc thermique à la sortie du local climatisé, favorisé par une différence de température intérieur/extérieur trop importante.

Le métabolisme peine à s'habituer aux différences de température fréquentes ;

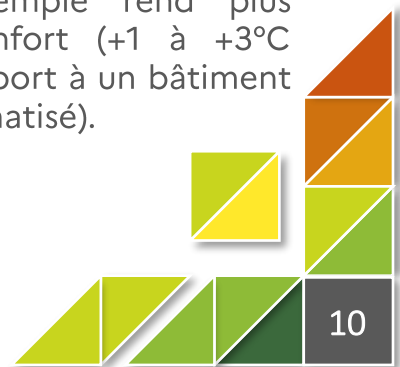
- Ils peuvent favoriser les maux de gorge ;
- Les études montrent que la plage de température de confort est bien plus importante dans les locaux naturellement ventilés que dans les locaux climatisés. Les usagers peuvent en effet plus facilement mettre en œuvre un processus comportemental, physiologique et psychologique d'adaptation à l'ambiance thermique dans des bâtiments non climatisés (notion de confort adaptatif). Par ailleurs la capacité à agir sur son confort individuel en ouvrant/fermant les fenêtres par exemple rend plus tolérant à l'inconfort (+1 à +3°C supportés par rapport à un bâtiment hermétique et climatisé).

Corrélation entre la température de confort et la température extérieure



Source : ASHRAE

Températures de confort ressenties par les utilisateurs dans les bâtiments climatisés (« conditionnés ») et dans les bâtiments naturellement ventilés - Extrait Guide ICEB





Améliorer le confort d'été

Trop chaud, trop froid : l'inconfort thermique constitue le motif n°1 de plaintes des utilisateurs à l'égard de leur bâtiment. Or, assurer le confort thermique en été présente quelques difficultés :

- d'une part parce que la température de l'air intérieur n'est pas un indicateur adéquat de ce confort. En effet, comme cela a déjà été évoqué dans la fiche n°1 relative aux températures d'hiver, la perception du confort par les usagers relève de composantes tant techniques que physiologiques et socio-psychologiques, à prendre en compte pour mieux comprendre les

éventuelles insatisfactions, mais sur lesquelles le gestionnaire n'a pas toujours la main ;

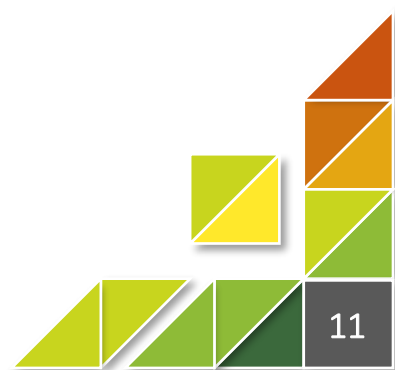
- d'autre part en raison de l'importance des usages des occupants dans l'atteinte de ce confort d'été. La lutte contre les surchauffes estivales passe en effet par les usages et induit une certaine « montée en compétence » des occupants, avec l'accompagnement des gestionnaires.

La stratégie à adopter en été en matière de pratiques et usages en été s'appuie donc sur différents leviers :



Cette partie propose pour chacun de ces leviers un éclairage sur l'impact des usages sur le confort d'été, des propositions de conseils à diffuser aux usagers, une liste indicative de freins récurrents à la mise en œuvre des bonnes pratiques, et des éléments chiffrés de gains potentiels (chiffres indicatifs issus de différentes expérimentations - Sources : Givoni « L'homme, l'architecture et le climat » ; ARENE – PACA ; CAUE Drôme ; « Rafrâchir les villes des solutions variées », ADEME, CEREMA).

Il s'agit en effet de diffuser des informations simples et claires en ayant conscience des éventuels blocages – qu'il soient liés à des enjeux de sûreté, opérationnels, ou d'ordre psychologiques –, pour laisser finalement l'utilisateur maître de ses décisions et arbitrages.





Se protéger des apports solaires

Si les apports solaires sont recherchés en hiver comme contributeurs gratuits au chauffage d'un bâtiment, ils deviennent en été une cause majeure d'inconfort selon la région, la taille et l'orientation des surfaces vitrées.

Dans le cas d'un local refroidi, l'absence de protection solaire engendre une surconsommation énergétique. C'est pourquoi la réglementation impose qu'en cas d'installation ou de remplacement d'un système de climatisation, les baies vitrées (sauf celles orientées au nord) des pièces concernées soient munies de protections solaires mobiles.

Pour se protéger du rayonnement solaire plusieurs dispositifs fixes ou mobiles existent : volets roulants, battants, persiennes, stores bannes verticaux, brise-soleil orientables, casquettes...

Le choix d'un vitrage et de sa protection solaire est donc une opération qui doit prendre en compte plusieurs critères :

- ♦ la porosité à l'air extérieur pour l'accès à la ventilation naturelle,
- ♦ la récupération des apports solaires en hiver
- ♦ la transparence à la lumière naturelle dans la plupart des locaux
- ♦ la prise en compte des contraintes architecturales (façades protégées) l'orientation des baies vitrées
- ♦ pérennité et facilité d'utilisation

Des études comportementales ont démontré qu'un peu moins de la moitié des utilisateurs ne manipulaient pas les protections solaires. Il est donc essentiel de sensibiliser aux bonnes pratiques.

A noter : les occultations intérieures absorbent le rayonnement solaire, et renvoient la majeure partie de cette chaleur vers l'intérieur. Elles ne contribuent que très peu à la lutte contre les surchauffes.



Conseils à diffuser aux usagers :

- ♦ Activer les protections solaires dès que le soleil éclaire les fenêtres, sans attendre l'inconfort,
- ♦ Fermer complètement les volets en cas d'absence.

Les freins aux bonnes pratiques :

- ♦ Pas de dispositif de protection solaire,
- ♦ Manque de vigilance due à la concentration sur les tâches de travail,
- ♦ Recherche de confort visuel : vues sur l'extérieur, besoins en lumière naturelle,
- ♦ Manipulation difficile des protections, commande peu accessible,
- ♦ Recherche de courant d'air.

Les gains potentiels :

Une bonne gestion des protections solaires permet de gagner -4 à -5°C sur la température intérieure.



Installer des protections solaires

Il est impératif de **bien choisir sa protection solaire en fonction de l'orientation de sa façade**. Le principe est de se protéger du soleil l'été, sans pour autant se priver des apports thermiques du soleil d'hiver.

Sur les façades orientées au sud, des protections fixes et horizontales (casquettes,...) éliminent complètement le rayonnement direct estival sans pour autant porter une ombre indésirable en hiver.

Sur les façades Est et Ouest, les protections solaires verticales mobiles sont préférables.

Seules les protections solaires extérieures sont utiles dans la lutte contre la surchauffe.



Médiathèque de Bron : double peau en treillage métallique, crédit photo : Ville de Bron



*Rénovation et transformation d'un bâtiment de 24 logements et de ses locaux annexes par la **DID de Saint-Denis**. Les brise-soleils en bois assurent une protection solaire et jouent un rôle anti-intrusion pour une ventilation nocturne assurée.*

Les protections solaires extérieures doivent être choisies en fonction de la structure architecturale des façades et des contraintes extérieures. Par exemple, on évitera les stores enroulables extérieurs dans les zones soumises à des vents importants. S'il n'est pas possible d'installer des protections extérieures, on cherchera alors à agir sur le facteur solaire des vitrages.



Exemples de système de lanterneaux et de voutes qui permettent la suppression de l'effet serre en été tout en laissant entrer la chaleur en hiver grâce à une orientation optimisée – Crédit photo : Adexsi

Dissiper la chaleur intérieure

Le bâtiment accumule de la chaleur avec un certain décalage de phase lié à son inertie. Lorsque la température extérieure est inférieure à la température intérieure (notamment la nuit et tôt le matin), il est utile de rechercher une circulation d'air afin de dissiper la chaleur intérieure en faisant entrer l'air extérieur plus frais.



Cette dissipation peut se faire par la manipulation des ouvrants (portes, fenêtres) mais également de manière mécanique (VMC simple ou double flux). Quand la ventilation est activée spécifiquement pour évacuer cette

chaleur intérieure, on parle de surventilation ou free-cooling.

A noter : lorsque le système de ventilation double-flux est utilisé pour assurer une surventilation, il faut utiliser le by-pass de l'échangeur.



Conseils à diffuser aux usagers :

- ♦ Ouvrir les fenêtres lorsque (et seulement si) la température extérieure est inférieure à la température intérieure ;
- ♦ Utiliser des brasseurs d'air, qui n'abaissent pas la température mais améliorent notablement le ressenti. Les ventilateurs de plafond sont à privilégier si la hauteur sous plafond le permet, pour éviter un effet courant d'air trop directionnel ;
- ♦ Selon les consignes locales, ouverture des fenêtres et portes intérieures la nuit.

Les freins aux bonnes pratiques :

- L'ouverture des fenêtres et des portes intérieures la nuit peut être difficile à concilier avec les enjeux de sûreté ;
- L'ouverture des fenêtres (jour ou nuit) peut générer différents inconforts : nuisances olfactives, acoustiques, envol de papiers, perte d'intimité, de confidentialité ;
- La fermeture des fenêtres en période chaude peut se heurter à différents points de blocage : inconfort olfactif, recherche d'un courant d'air immédiat, difficulté à déterminer le moment où il est nécessaire de fermer la fenêtre, recherche de lien avec les bruits extérieurs (« se sentir dehors ») ;
- La ventilation nocturne n'est efficace que lorsque les températures extérieures descendent suffisamment pendant la nuit.

Les gains potentiels :

Ventilateur : un mouvement d'air dont la vitesse est supérieure à 1m/s procure un ressenti de diminution de 4°C environ sur la peau

Ventilation nocturne : -1 à -5°C (efficace surtout dans les bâtiments à forte inertie).

Minimiser les apports internes

La densité d'occupation des locaux et les appareils électriques (électroménager, éclairage, bureautique) en fonctionnement représentent des apports de chaleur interne qui peuvent, principalement

dans les bâtiments à forte inertie, représenter des sources de chaleur significative.



Conseils à diffuser aux usagers :

- couper tous les équipements non nécessaires : éteindre son PC et l'écran pendant la pause déjeuner, les réunions, éviter l'éclairage artificiel, ...

Les freins aux bonnes pratiques :

- un temps d'allumage des équipements bureautique jugé trop long ;
- une protection solaire qui nécessite l'emploi de l'éclairage artificiel.

Les gains potentiels :

Difficiles à quantifier selon les performances énergétiques des équipements, assez modérés pour un poste de travail informatique dans un bureau individuel, mais significatifs dans un open space, une salle de réunion.

Adaptation organisationnelle

Le confort d'été peut également passer par des mesures organisationnelles.

Ainsi, la proximité d'une paroi chaude produit un rayonnement vers le corps, avec une sensation de chaleur. D'une manière générale, chaque local présente des zones plus fraîches dont il peut être utile de s'approcher.

Une redistribution des locaux de travail au sein du bâtiment (avec des regroupements dans les secteurs plus frais) peut également être envisagée.

Parallèlement, une adaptation des horaires permet une occupation des locaux durant les périodes plus fraîches de la journée.

Une adaptation de l'habillement peut aussi contribuer à améliorer le confort d'été, même si c'est une composante relativement codifiée. Les marges de manœuvre des occupants sont légèrement plus importantes dans les locaux d'hébergement, tout en restant modestes.

Conseils à diffuser aux usagers :

- Se positionner loin des parois chaudes ;
- Les autres adaptations organisationnelles relèvent du commandement : favoriser le télétravail dans les espaces frais l'été, modification des horaires de travail, souplesse des codes vestimentaires en été, changement de bureaux...

Les freins aux bonnes pratiques :

- Des configurations de locaux qui ne permettent pas un positionnement optimal ;
- Des nécessités de service qui empêchent la mise en place d'adaptations organisationnelles.

Les gains potentiels :

Non chiffrés

Les interventions sur les infrastructures

Des interventions complémentaires peuvent être envisagées et faire l'objet d'une inscription au PEEEL :

Au niveau du bâtiment :

- Installations de protections solaires passives (brise-soleil ou stores extérieurs) ou de boucliers thermiques en façade et en toiture.



IEM de Montpellier, crédit photo : atelierphilip-pemadec



Construction par la DID de Cayenne d'une crèche multi accueil pour les Forces armées en Guyane à Cayenne. L'architecture du bâtiment prend en compte le climat guyanais chaud et humide.

- Choix d'isolant à forte inertie thermique et à déphasage élevée. Le déphasage thermique d'un isolant correspond au temps que va mettre la chaleur pour pénétrer dans un bâtiment. Un isolant avec un court déphasage favorisera les échanges thermiques et contribuera à la surchauffe plus rapide du bâtiment. En effet, pendant la journée, la température extérieure augmente progressivement, un matériaux avec un faible déphasage, comme la laine de verre, transmettra rapidement la chaleur dans l'enceinte du bâtiment. Un bon déphaseur retarde la transmission de la chaleur, jusqu'à la nuit, plus fraîche. La plupart des isolants biosourcés sont particulièrement efficaces pour le confort d'été en raison de leur densité. **Le tableau suivant présente des temps de déphasage pour la pose de 20 cm⁷ :**

Isolants	Déphasage (en heure)
Fibre de bois panneaux - biosourcés	15
Ouate de cellulose panneaux - biosourcés	12
Ouate de cellulose insufflée - biosourcés	10
Laine de chanvre vrac - biosourcé	8,5
Laine de bois vrac - biosourcé	7
Laine de roche rouleaux	6
Laine de verre rouleaux	4
Polystyrène expansé	4

⁷ Données extraites de La Maison de Ecologie n°49; Habitat Naturel HS n°10 ; L'isolation thermique Ecologique de JP. Olivia et S. Courgey

- L'isolation et l'inertie thermique d'un bâtiment permettent d'améliorer le confort thermique d'été et d'hiver et de diminuer les besoins en énergie du bâtiment. L'isolation thermique permet aux parois intérieures d'être ni trop froides en hiver ni trop chaudes en été, de limiter la pénétration de la chaleur en été et la perte de calories l'hiver. L'inertie thermique permet de lisser les variations de température dans le temps et de conserver la fraîcheur à l'intérieur du bâtiment en été, pourvu que des moyens de rafraîchissement du bâtiment soient mis en place. L'inertie fonctionne en été comme un gros réservoir stockant l'énergie pendant la journée, ce qui évite l'augmentation trop forte des températures intérieures. En matière de confort d'été, le choix de l'isolant vaut surtout par son inertie thermique et l'impact de celle-ci sur le déphasage des flux de chaleur.
- Choix des matériaux intérieurs, et notamment l'effusivité des parois (c'est-à-dire la capacité à échanger de l'énergie thermique). Typiquement, du carrelage ou du parquet bois ne contribuent pas de la même manière au confort thermique ressenti (il faut concilier alors enjeux d'hiver et d'été) ;
- Choix de couleurs claires pour les façades, les stores, les volets, pour réfléchir le rayonnement solaire. Pour les toitures, les peintures blanches réfléchissantes anti-chaud permettent de lutter efficacement contre l'absorption de la chaleur de manière passive. Cette protection réfléchissante renvoie 95% du rayonnement solaire. Une étude du CEREMA montre qu'elle est plus pertinente sur les toitures présentant très peu d'inertie (toitures de hangar,...).



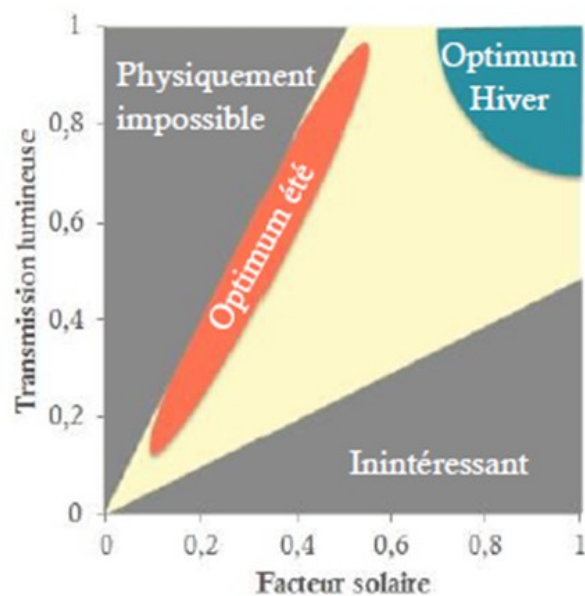
Exemple de cool roof : 18000 m² sur les bâtiments du géant Casino de Valence Sud, réduction de la température de surface de 15° C à 41°C selon le fabricant – Crédit photo : Cool Roof France



Exemple - Commandement de l'espace (CDE) - Toulouse : Au cœur d'un espace végétal généreux, l'architecture bioclimatique du CDE répond aux exigences de la conduite d'opération (PCO Toulouse, appuyé pour les enjeux environnementaux par le CRPE) . Les quelques toitures qui ne seront pas végétalisées seront recouvertes d'un revêtement clair pour limiter l'effet d'îlot de chaleur. La couleur des revêtements des voiries non végétalisées sera choisie en partie dans des tons clairs mais non éblouissants. Les façades posséderont un coefficient de réflexion important limitant l'absorption de la chaleur.

- Système de renouvellement d'air suffisamment dimensionné et régulièrement entretenu ;
- Systèmes techniques de rafraîchissement à faible consommation énergétique : brasseurs d'air, puit provençal couplé à un système de ventilation, le géocooling, les systèmes de rafraîchissement adiabatique directs et indirects (voir fiche retex à paraître), la sur-ventilation nocturne...

- Choix de vitrages offrant le meilleur compromis entre isolation thermique (coefficient de transmission thermique), confort acoustique, apports lumineux (coefficient de transmission lumineuse) et apports thermiques (facteur solaire).



*Compromis caractéristiques vitrages –
Source Energie Plus*

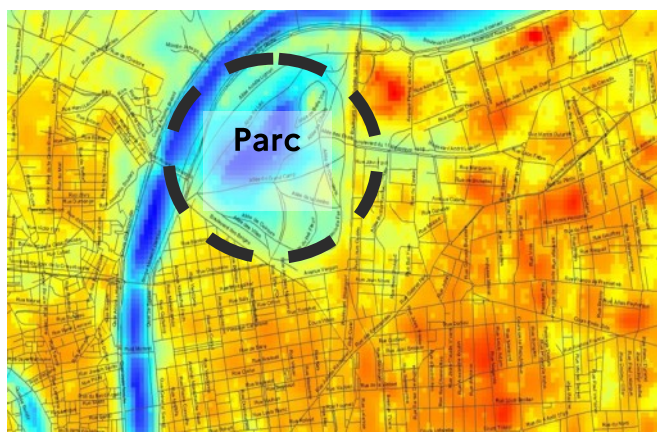
Point de vigilance

La sur-ventilation nocturne nécessite des ouvertures vers l'extérieur importantes qui peuvent augmenter le risque d'intrusion dans le bâtiment. Le choix de cette solution doit être mis en relation avec les prescriptions de sécurité défense liées au site.

Au niveau des espaces extérieurs

- Végétalisation pour rechercher des masques solaires, des phénomènes d'évapotranspiration qui produisent de la fraîcheur. Les études ont démontré qu'une végétalisation importante aux abords des bâtiments dans un périmètre de 3 mètres se révèle être d'une efficacité significative pour gagner quelques degrés. En effet, la végétalisation agit

directement par l'ombrage créé mais aussi indirectement par le rafraîchissement qu'induit l'évapotranspiration des plantes. En effet, les fines gouttes d'eau se trouvant à la surface des feuilles nécessitent l'énergie (la chaleur) de l'air ambiant pour se transformer en vapeur d'eau, ce qui climatise naturellement l'air. La végétalisation contribue également à l'enjeu de désimperméabilisation des sols, et s'inscrit plus globalement dans la stratégie zéro artificialisation nette portée par la loi Climat et Résilience.



Température de surface de la Métropole de Lyon (Juillet 2015) - Ilot de Fraîcheur générée par la végétation d'un parc urbain.



Exemple - Commandement de l'espace (CDE) - Toulouse (ESID Lyon) : les aménagements autour du site ont été pensés pour répondre à des enjeux de perméabilité des sols et de confort d'été. Dans l'optique de réduire les phénomènes d'îlot de chaleur, 80% des toitures seront végétalisées. Les végétaux choisis seront adaptés au climat local et supportent la sécheresse. Des noues paysagères permettront la rétention et l'infiltration d'une partie des eaux pluviales. Pour limiter l'imperméabilisation des voiries à faible trafic des matériaux permettant l'infiltration naturelle de l'eau ont été choisis (parkings végétalisés, cheminements piétons perméables, enrobés drainants). Le taux de surface perméable du projet est de 43% sur le site CDE et le taux de surface végétalisée est de 54%.

Un écart de température de surface en journée compris entre 19°C et 25°C entre des pavés perméables retenant l'eau, avec du sable et une arrivée d'eau, et des pavés standards imperméables à Toulouse et au Japon (Ishizuka et al., 2006).



Exemple de parking végétalisé

- Choix de matières et de couleur pour les plans horizontaux en avant des parois extérieures (type terrasses) évitant la réverbération du rayonnement solaire. Les revêtements à albédo élevé et émissivité faible sont une solution efficace pour lutter contre la surchauffe des surfaces en raison de leur fort pouvoir

réfléchissant. Plus l'albédo est élevé (proche de 1) moins la surface absorbe de chaleur par rayonnement solaire. Point de vigilance : un albédo élevé améliore considérablement la température de l'air mais peut aussi dégrader le ressenti thermique des piétons en raison de l'énergie qui lui est renvoyée.

Une diminution de -20% en moyenne de la demande énergétique des bâtiments résidentiels et commerciaux avec l'application d'un « cool roof » (albédo 0,6) par rapport à une toiture en asphalte (albédo 0,2). (Akbari & Konopacki, 2004).

(Bigorgne,
Hendel, APUR
2017)

	revêtement «cool»	béton clair	stabilisé	enrobé bitumineux
albédo	0,7 à 0,85	0,4 à 0,8	0,4	0,05 à 0,15
inertie thermique	forte	forte	moyenne	forte
émissivité	0,9	0,92	0,76	0,88
T° surface jour	frais	moyen	moyen	chaud à très chaud
T° surface nuit	frais	moyen	frais	chaud

Source : rafraîchir les villes des solutions variées, ADEME, mars

- Aménagement de bassins ou de fontaines pour rafraîchir l'ambiance extérieure et traiter en surface les eaux pluviales ;
- Brumisation extérieure sur déclenchement.

Exemple : Crèche multi accueil pour les Forces armées en Guyane à Cayenne (DID de Cayenne). Mise en place de brumisateurs extérieurs permettant d'abaisser instantanément la température dans la cour et ainsi de préserver les enfants des fortes chaleurs.



4 Des retours d'expériences

Adaptation des bâtiments au changement climatique

La société de la Tour Eiffel⁸, est la 5ème foncière tertiaire. En 2019, la société a initié **une stratégie d'adaptation au changement climatique** de ces bâtiments. Une cartographie de l'ensemble du patrimoine a permis de sélectionner parmi sept risques (comportant des aléas chroniques et ponctuels) trois risques majeurs : inondations, sécheresse et vagues de chaleur.

Un plan d'action priorisé a permis de prioriser les opérations de rénovation, et

de développer des actions dédiées (façades végétalisées,...).

Dès 2020, les projets neufs ont été conçus sur la base de simulations thermiques dynamiques (STD) intégrant les futurs scénarii climatiques.

Cette stratégie a permis à l'organisation d'anticiper les risques et aléas liés au changement climatique et de construire un véritable plan d'action portant une vision environnementale et économique.

⁸ Retour d'expérience élaboré par l'Observatoire de l'Immobilier Durable

Groupe scolaire « Les Romains » à Annecy

Le groupe scolaire « Les Romains » construit en 1963 a subi une rénovation globale en 2018 qui a permis de traiter le confort thermique estival et hivernal des bâtiments.



L'amélioration du confort d'été des deux bâtiments de l'école élémentaire s'est appuyé sur une combinaison de plusieurs actions :

- Mise en place de protections solaires de type brise-soleil,
- Isolation de la toiture,
- Isolation thermique par l'extérieur apportant une inertie plus importante au bâtiment.

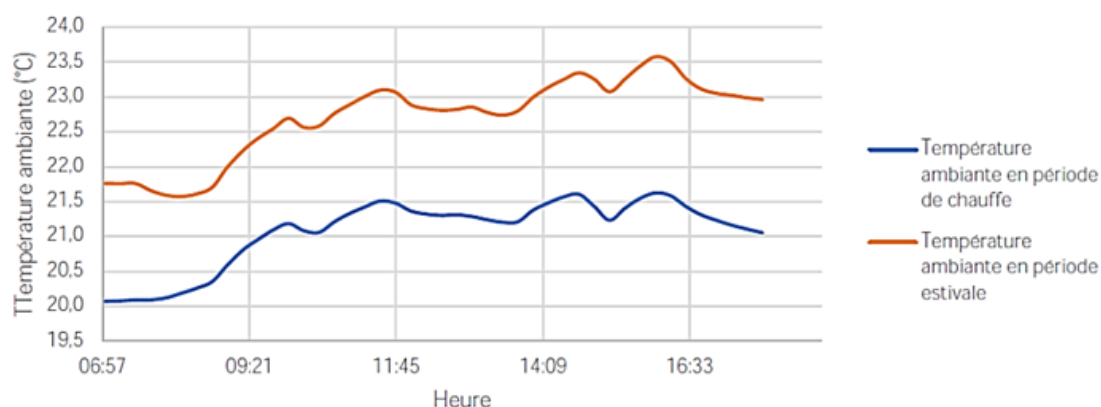
Le retour d'expérience assuré par la SPL-OSER montre que ces dispositifs passifs ont permis une amélioration notable du confort d'été. En effet, des relevés de température ont été réalisés après travaux, les résultats montrent que le confort d'été est bien maîtrisé en période

d'occupation du bâtiment puisque le nombre d'heures pendant lesquelles la température dépasse 28°C a été ramené à zéro.

Les résultats de la température moyenne relevée en période estivale sont présentés dans les figures ci-après :

Bâtiment 1	Bâtiment 2
Nb d'heures $T > 20^{\circ}\text{C}$ en période d'occupation	Nb d'heures $T > 20^{\circ}\text{C}$ en période d'occupation
12 heures Soit 2% du temps	53 heures Soit 8% du temps
Nb d'heures $T^{\circ} > 28^{\circ}\text{C}$ en période d'occupation	Nb d'heures $T^{\circ} > 28^{\circ}\text{C}$ en période d'occupation
0 heures 0%	0 heures 0%

Température ambiante pour une journée moyenne en occupation



5 Conclusion

Prendre en compte la résilience face aux vagues de chaleur et le confort d'été des bâtiments demande la prise en compte de plusieurs aspects transversaux :

- L'environnement direct du bâtiment (climat, végétalisation, emploi de l'eau, ambiance minérale, parois réfléchissantes, organisation de l'espace extérieur etc.)
- L'architecture du bâtiment (orientation, pièces traversantes avec des ouvertures en opposition, choix des matériaux, protection solaires et isolation efficace etc.)
- Les systèmes technologiques déjà existants (ventilation mécanique ou naturelle, gestion automatisée ou pas des fermetures, puits géothermiques etc.).
- Le facteur humain et comportemental, levier immédiat d'amélioration du confort via la gestion des ouvrants et protections solaires.

Il est donc fondamental de combiner les composantes techniques et comportementales dans une **approche globale** afin de maximiser les effets et tendre vers le confort recherché, en limitant l'impact énergétique et environnemental.

L'engagement dans une stratégie de prise en compte du changement climatique, notamment dans sa composante liée aux vagues de chaleur, constitue également, de manière complémentaire des enjeux sanitaires et de confort, un enjeu de résilience opérationnel de premier rang.

Le CRPE en appui

Avant de définir la solution technique qui sera la plus adaptée aux problématiques de confort d'été d'un bâtiment, il est primordial de s'intéresser au confort ressenti des occupants ainsi qu'à leurs interactions avec le bâtiment (analyse de leurs besoins, modes de vie, apports internes...).

Le Centre Référent en Performance Énergétique met à disposition des USID et bénéficiaires, sur sollicitation, une enquête en ligne INTRADEF à diffuser aux utilisateurs pour mesurer leur ressenti et servir de base à la définition d'un plan d'action adapté.

L'objectif de ce questionnaire est d'aider le diagnostic par une connaissance détaillée de la situation thermique des

utilisateurs d'un bâtiment. Plusieurs thématiques y sont abordées, et notamment :

- L'organisation des espaces
- Les apports internes susceptibles de créer des surchauffes
- Le ressenti des usagers en fonction des expositions et étages
- Les usages que font les utilisateurs des ouvrants et protections solaires existantes
- ...

Le CRPE se tient à disposition des ESID et USID pour les assister dans leurs projets d'amélioration du confort d'été.



6 Bibliographie

- ♦ Améliorer le confort thermique des bâtiments scolaires pendant les vagues de chaleur, Ministère de l'éducation nationale et de la jeunesse, juin 2020.
- ♦ Améliorer le confort thermique estival dans un bâtiment accueillant du public, ADEME, juillet 2015.
- ♦ Chaud dehors, frais dedans, le confort d'été, ADEME, janvier 2011.
- ♦ Climatisation dans le bâtiment, rapport final, ADEME, novembre 2021.
- ♦ Climatisation de confort dans les bâtiments résidentiels et tertiaires, ADEME, avril 2020.
- ♦ Confort d'été en PACA, ARENE.
- ♦ Confort d'été passif, ICEB, avril 2014.
- ♦ Confort d'été, confort d'hiver, confort toute l'année, Conseil d'Architecture d'Urbanisme & de l'Environnement du Doubs, février 2019.
- ♦ Guide des actions adaptatives au changement climatique, le bâtiment face aux aléas climatique, OID, 2021.
- ♦ La protection solaire pour des bâtiments durables et à basse consommation, ESSO, février 2018.
- ♦ Le confort d'été, information technique T18, Mutuelle des Architectes Français assurances, février 2013.
- ♦ Rafrachir les villes, des solutions variées, CEREMA, mars 2021.
- ♦ Réduire l'impact environnemental des bâtiments, agir avec les occupants, direction générale de l'aménagement, du logement et de la nature, 2013.

**La bibliographie du guide est disponible sur le GPS-NG du CRPE
dans la rubrique Diffusions/Communication**





Rédaction :

ITPE Yasmine EL OUARZAZ

Remerciement pour leurs
relectures et contributions
à :

IDTPE Delphine LABRY

IDTPE Vincent BILLON

ICDD Raphaël GROSSIORD

ICDD Stéphanie GOZARD

Validation :

IG2 Jacques MASSOT

*Document à usage interne du
ministère des Armées*

*La reproduction totale ou
partielle du document doit être
soumise à l'accord préalable du
SID.*

Les fiches produites par le CRPE :

1. Températures intérieures d'hiver des bâtiments du ministère de la Défense (nov. 2015)
2. Températures intérieures d'été des bâtiments du ministère de la Défense (mars 2016)
3. La thermographie appliquée au bâtiment (mai 2016)
4. Certificats d'économie d'énergie (sept. 2016)
5. Mettre en place un système de management de l'énergie ISO 50001 (mars 2017)
6. Mettre en œuvre un marché d'exploitation-maintenance des installations CVC (oct. 2017)
7. Raccorder une emprise du ministère à un Réseau de Chaleur Urbain (janv. 2017)
8. Sobriété énergétique : accompagner le changement des usages des occupants (avril 2018)
9. Intégrer la performance énergétique dans l'exploitation-maintenance (avril 2018)
10. Contrats de Performance Énergétique (CPE) (décembre 2018)
11. Observatoire ministériel des Réseaux de Chaleur Urbains (RCU) - édition 2020 (décembre 2018)
12. Rétro-commissionnement (février 2021)
13. CRPE : Un bilan à 5 ans (juin 2021)
14. Stratégies de comptage et mesurage (janvier 2022)
15. Observatoire ministériel des Réseaux de Chaleur Urbains (RCU) - édition 2021 (février 2022)
16. Mettre en œuvre un système de management de l'énergie selon la norme ISO 50 001 (novembre 2022)

Les fiches du CRPE sont disponibles sur :

http://gpsng.intradef.gouv.fr/sites/CR_PE/