

Rafrâichissement passif et confort d'été



Panorama de solutions pour l'adaptation du bâtiment au changement climatique

Préface.....	4
Avant-propos.....	5
Réchauffement climatique et rafraîchissement passif	8
Bien comprendre les enjeux	8
Comment mettre en place le rafraîchissement passif ?	10
Quelques rappels nécessaires	10
Végétaliser l'environnement du bâtiment	12
Mettre en place un système de végétalisation des toitures et/ou façades	13
Limiter les effets du rayonnement direct et la montée en température des parois opaques..16	
Les effets de la montée en température des parois	17
Les effets du rayonnement direct sur les parois.....	18
Limiter les effets du rayonnement et la montée en température de l'habitat via les parois vitrées	22
Se protéger des rayons lumineux : l'automatisation des protections solaires	23
Se protéger des rayons lumineux : les ombrages	26
Se protéger des rayons lumineux : les vitrages à contrôle solaire	27
Rafraîchir le milieu ambiant	29
Principes généraux sur les systèmes mécaniques	30
Ventilation mécanique performante couplée au tirage thermique naturel	34
Le puits canadien (ou puits provençal), couplé à un système de ventilation favorisant l'abaissement de la température de l'air en journée	38
Le « puits rafraîchissant passif »	39
Le rafraîchissement adiabatique	40
Exemples d'initiatives et d'expériences	44
Exemples de réalisations	45
L'habitat Social Positif	45
La Maison Multi-Confort	46
La Maison Air et Lumière	47
Le Lab In'Tech (Tipee)	48
L'Institut de Transition Énergétique (ITE) NOBATEK/INEF4	49
MCP Flex	50
VMI® PUREVENT et HYDRO'R® sur sonde géothermique.....	51
Exemples de solutions en conditions extrêmes	52
Baitykool	52
CoolMax	53
Pour aller plus loin	54

L'augmentation de la fréquence des pics de chaleur et de leur intensité est un sujet important et préoccupant.

L'adaptation des bâtiments, publics et privés, au changement climatique tant en construction neuve qu'en rénovation devient primordiale pour préserver le confort des occupants et limiter le recours systématique à la climatisation.

L'objectif de ce guide est de proposer une compréhension des phénomènes en jeu, de mettre en avant les principes fondamentaux pour appréhender au mieux le sujet et de souligner que d'ores et déjà des solutions techniques et technologiques existent et que les expériences et innovations sont attendues pour réussir une transition énergétique et environnementale du confort d'été.

Précision importante : le panorama de solutions ou de couplage de solutions qui est présenté ne donne bien sûr en aucun cas une vision exhaustive de toutes les expériences, techniques et technologies.

Ce sujet et les solutions pour le traiter évoluant sans cesse, nous vous informons que ce panorama est ouvert et qu'il sera régulièrement mis à jour dans sa version numérique au fur et à mesure des éléments qui nous seront transmis et jugés pertinents par les experts du groupe de travail.

Ce document a été réalisé dans le cadre d'un groupe de travail (mené par le Fonds de dotation CERCLE PROMODUL/INEF4) et plus particulièrement grâce à la participation des experts suivants :

- Guy BARET (Edilians)
- Maxence BEDUCHAUD (Poujoulat)
- Laurent BENEDIT (Atlantic)
- Aurélia BIANCO-GUEVIN (Terreal)
- Jean-Marie CAOUS (Bluetek)
- Pierre CRUVEILLÉ (Aldes)
- Olivier DEVES (Velux)
- Yves FANTON D'ANDON (Atlantic)
- Christian FELDMANN (Ventilairsec)
- Christophe GUYARD (Delta Dore)
- Aurélien HENON (NOBATEK/INEF4)
- Wandrille HENROTTE (Somfy)
- Clément LAFFETER (Ventilairsec)
- Christophe LAURENT (Velux)
- Matthieu LECHANTRE (Soprema)
- François MAGUEUR (Soprema)
- Frédéric MUSSELIN (Saint-Gobain)
- Charles PELÉ (CSTB)
- Rémi PERRIN (Soprema)
- Martin PIOTTE (Terreal)
- Hugo VIOT (NOBATEK/INEF4)

Les solutions et expériences citées dans le panorama sont développées par :



Préface

Le plus grand défi du XXIème siècle est de **réduire les émissions de gaz à effet de serre** liées aux activités humaines, afin de lutter contre le **réchauffement global de la planète**. En effet, la hausse globale des températures, et les effets qu'elle induit, affectent la santé humaine, le confort des usagers et leur qualité de vie, et de surcroît lorsque ceux-ci résident en zone urbaine.

Il apparaît alors comme **indispensable d'adapter les bâtiments aux risques climatiques et aux conditions météorologiques extrêmes** : épisodes de fortes chaleurs, évolution de la température des cours d'eau et des lacs qui entraîne une modification des régimes de précipitation, fonte des glaces et montée des eaux, érosions des côtes, tempêtes, sécheresses entraînant de multiples conséquences (mouvements de terrains, incendies, pénuries alimentaires...) etc. De plus l'artificialisation des sols, liée à l'étalement urbain, entraîne une perte de la biodiversité alors même que sa présence favorise la résilience du territoire.

Dans ce contexte, des solutions passives de rafraîchissement visant à lutter contre les canicules et à augmenter le confort d'été peuvent être mises en œuvre.

Le présent guide traite des solutions existantes à l'échelle du bâtiment. Il vise à explorer plusieurs pistes d'actions, au travers **d'exemples concrets et s'appliquant aussi bien aux logements qu'aux bâtiments tertiaires**. Cependant chaque action doit être adaptée à son environnement.

Concernant les actions pouvant être menées à **l'échelle de la ville**, ces dernières relèvent d'une démarche multiscalair et doivent être pensées dans une logique d'approche globale. En effet, la mise en œuvre de solutions passives de rafraîchissement est intimement liée à la **question de l'organisation de l'espace urbain**. Les plans locaux d'urbanisme (PLU / PLUi) ainsi que les schémas de cohérence territoriale (SCoT), sont des outils adaptés pour répondre à cette problématique.

A titre d'exemple, depuis la loi ALUR, les collectivités peuvent y inclure des coefficients de biotopes qui sont complémentaires au coefficient d'occupation des sols. Ces **outils de gestion de la consommation de l'espace** s'inscrivent dans une démarche qui contribue aux objectifs de continuités écologiques. Ils visent à conserver un certain taux de foncier non imperméabilisé et non artificialisé, grâce à la végétalisation des murs, des clôtures, des toitures... et peuvent aussi bien s'appliquer aux parcelles destinées à la construction neuve, qu'aux zones déjà construites et en cours de rénovation.

Selon sa mise en œuvre, cette mesure peut permettre d'augmenter **le nombre d'arbre en ville**, ce qui va avoir un **impact positif sur le rafraîchissement urbain** tout en engrangeant un certain nombre d'externalité (confort, qualité de l'air...). De plus, en fonction de leur implantation et des essences choisies, cela va également permettre de limiter les apports solaires sur les vitrages durant l'été, sans obstruer les rayons solaires durant l'hiver.



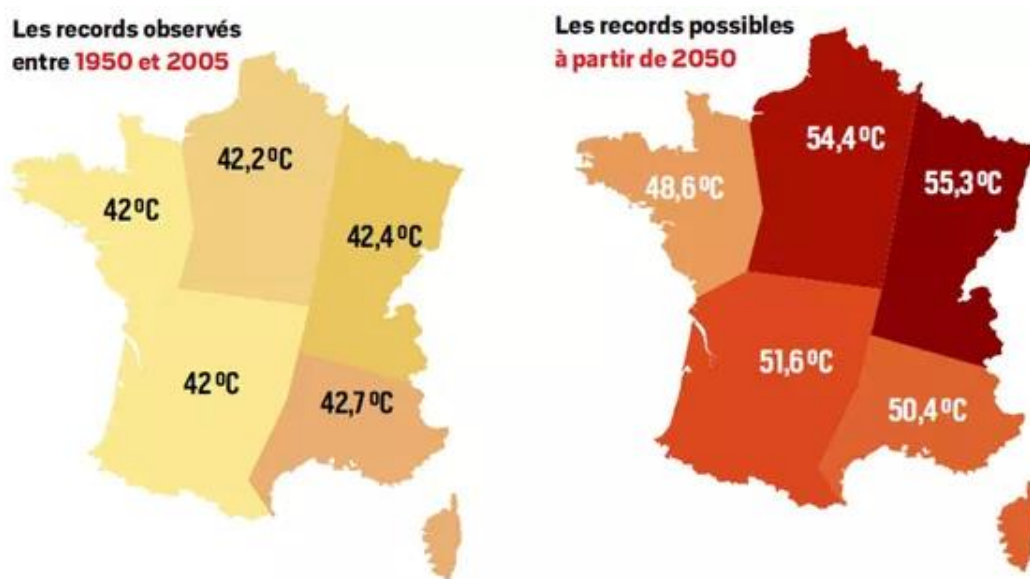
Les équipes de la FNCCR

Les équipes du programme ACTEE

Avant-propos

Depuis les premiers relevés de températures à la fin du 19^{ème} siècle, il est admis une tendance claire au réchauffement climatique. Météo France prévoit des vagues de chaleurs et des épisodes de canicules plus fréquents, plus longs et plus chauds pour les vingt ans à venir¹, laissant ainsi supposer une **augmentation de 4 à 5°C d'ici la fin du siècle**² (selon certains scénarios).

L'Accord de Paris prévoit pourtant d'en **limiter la hausse en dessous de 2°C d'ici 2050**, mais si rien n'est fait pour enrayer ce réchauffement, l'augmentation des températures en France pourrait amener à des **records de chaleur** comme présenté dans la carte ci-dessous dès 2050 (le « *scénario du pire* », qui prévoit une hausse de la température moyenne globale d'au moins 3,7 degrés par rapport à l'ère préindustrielle d'ici à 2100).



Crédit image : [Le Journal du Dimanche](http://www.lejdd.fr)

¹ Dossier « Demain sera plus chaud », Cahiers Techniques du Bâtiment n°379, Juin 2019, <https://www.cahiers-techniques-batiment.fr/article/confort-d-ete-et-changement-climatique.41440>

² « 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. <https://www.lejdd.fr/Societe/en-2050-des-pics-a-55degres-dans-lest-et-le-nord-3410342>

Ces pics de chaleur répétés et plus intenses auront des impacts non négligeables, à la fois sur notre santé, notre productivité, notre confort, mais également sur les écosystèmes. Et nos habitats devront s'adapter : car avec 90% de notre temps passé dans un bâtiment³, la question du confort thermique et notamment du confort d'été est aujourd'hui fondamentale.

Dès lors, comment adapter l'aménagement de nos habitats et de nos villes à ces contraintes de moins en moins exceptionnelles ?

Le constat est que **nos villes étouffent**.

Outre l'intensité des épisodes caniculaires liés au climat, la surchauffe en ville est accentuée par les éléments humains et urbains qui la composent :

- La forte croissance de la population mondiale et la concentration de celle-ci au sein des villes ;
- Les aménagements urbains peu ou pas adaptés à cette densité de population ;
- L'intensification des activités humaines ;
- Les propriétés des matériaux urbains non adaptés aux vagues de chaleur (matériaux à forte inertie thermique, faible évapotranspiration par manque de végétation etc.) ;
- Enfin, l'usage de technologies de rafraîchissement qui ont un impact direct sur le réchauffement climatique (comme la climatisation) ;

La prise en compte de ce dernier point est essentielle, puisque constitue un véritable paradoxe : *« plus il fait chaud, plus il y a de climatiseurs... et plus il y a de climatiseurs, plus il fait chaud ! »*⁴.

En effet, la climatisation est encore fortement plébiscitée comme moyen de rafraîchissement. Pur produit de nos modes de vie modernes, son utilisation transmet l'idée de facilité et de confort. Pourtant, envisager son recours comme seule réponse à la hausse des températures est un non-sens d'un point de vue environnemental.

³ « Améliorer la qualité de vie et le confort des occupants : 5 enseignements à retenir », Cercle Promodul / INEF4, Avril 2020 <https://cercle-promodul.inef4.org/ameliorer-qualite-vie-confort-occupants-enseignements/>

⁴ « Le paradoxe des climatiseurs qui réchauffent la planète », Sciences et avenir, 2018 https://www.sciencesetavenir.fr/nature-environnement/le-paradoxe-des-climatiseurs-qui-rechauffent-la-planete_123939

Mais alors, comment limiter la hausse des températures l'été dans nos habitats sans aggraver le réchauffement climatique ?

C'est là tout le sens du « rafraichissement passif » : **tendre vers une meilleure résilience et durabilité de nos bâtiments en repensant nos méthodes de rafraichissement**⁵.

- Il s'agit d'une part, de **préserver le confort d'été en atténuant la chaleur ressentie** ;
- Et d'autre part, de **limiter l'impact environnemental via des solutions de rafraichissement choisies** : intégrer des solutions de rafraichissement passif qui permettront de préserver le confort, tout en assurant un effet neutre ou maîtrisé sur l'environnement (protections solaires, murs / toitures / tuiles végétalisées, isolants biosourcés, système de ventilation naturelle, peinture / revêtement blanc réfléchissant etc.).

Partant alors d'un postulat simple que « **l'énergie la moins polluante est celle que l'on ne consomme pas** », l'intégration de techniques de rafraichissement dites « passives » en été permettraient de réduire au maximum les besoins énergétiques des bâtiments sans pour autant restreindre le confort des usagers.

L'atténuation de la chaleur ressentie dans les bâtiments ne dépend pas uniquement des améliorations à apporter sur les structures ou sur les équipements mais aussi de nos **comportements qui jouent un rôle essentiel** dans cette recherche de confort.

Ce guide traitera le sujet du rafraichissement passif pour permettre de donner à tout un chacun la possibilité d'agir :

- Des solutions techniques et technologiques existantes y seront présentées afin de donner un large panel des possibilités en la matière. Les **bénéfices et points d'attention de ces solutions** seront également mis en avant pour une meilleure utilisation et mise en œuvre.
- Pour chaque solution présentée, il est précisé la structure du bâtiment sur laquelle celles-ci sont applicables :



Maison Individuelle



Logement Collectif



Bâtiment Tertiaire

⁵ « Comment limiter la hausse des températures l'été dans nos habitats sans aggraver le réchauffement climatique ?, Cercle Promodul / INEF 4, Mai 2020 : <https://cercle-promodul.inef4.org/comment-limiter-hausse-temperatures-ete-habitats-sans-aggraver-rechauffement-climatique/>

Réchauffement climatique et rafraîchissement passif

Bien comprendre les enjeux

Par le biais de **solutions architecturales et/ou technologiques**, et via une **maîtrise intelligente des effets des phénomènes naturels**, les **systèmes passifs sont pensés pour assurer le maximum de confort pendant les périodes les plus chaudes**. Dans certains cas, il pourrait être nécessaire de les compléter par des systèmes actifs mais dont l'usage et l'utilisation ne seraient réservées alors qu'aux situations caniculaires extrêmes, et non plus à un usage systématique.

Limiter l'utilisation de la climatisation est essentiel : ces systèmes sont en effet très consommateurs en énergie, entraînant ainsi une hausse des émissions de gaz à effet de serre, celles-ci contribuant, in fine, à réchauffer davantage la planète (l'Agence Internationale de l'Énergie, dans un rapport de 2018, prévoit que le développement de l'air conditionné dans les pays émergents provoquera un doublement des émissions de CO₂ liées à la climatisation d'ici à 2050)⁶. En Californie, par exemple, le pic de demande électrique est en été !

Ce réchauffement n'est pas sans **impact sur les villes**, puisque **chaque appareil rejette dans la rue la chaleur extraite du bâtiment**. Une étude de 2014 a ainsi simulé la hausse de température, de nuit, de 1, voir 2°C en centre-ville⁷.

Tout ceci contribue alors au phénomène qualifié d'« **Îlots de Chaleur Urbains** » (ICU)⁸ : ces bulles de chaleur emmagasinent une importante quantité de chaleur en journée, pour la restituer ensuite la nuit, sans possibilité, donc, de rafraîchissement de la zone urbaine, pouvant donc être une **véritable source d'inconfort**.

⁶ « D'où vient la climatisation ? Et pour le climat, est-ce bien la solution ? », Sud-Ouest, Juin 2019.
<https://www.sudouest.fr/2019/06/26/canicule-d-ou-vient-la-climatisation-et-pour-le-climat-est-ce-bien-la-solution-6261878-6110.php>

⁷ « Le paradoxe des climatiseurs qui réchauffent la planète », Sciences et Avenir, Mai 2018.
https://www.sciencesetavenir.fr/nature-environnement/le-paradoxe-des-climatiseurs-qui-rechauffent-la-planete_123939

⁸ « Réchauffement climatique, canicule : comment prévenir les « bulles » de chaleur urbaines ? », Cercle Promodul/INEF4, 2019.
<https://cercle-promodul.inef4.org/publication/rechauffement-climatique-canicule-bulles-chaleur-urbaines/>

Limitier l'impact du réchauffement doit alors s'opérer par une approche systémique, et il est primordial de prendre en considération un ensemble d'éléments pour maximiser les effets d'un tel rafraîchissement⁹ :

- Tenir compte de l'**environnement** direct d'un bâtiment (climat, végétalisation, emploi de l'eau, ambiance minérale, parois réfléchissantes, organisation de l'espace urbain etc.) ;
- Tenir compte de la **structure** du bâtiment (orientation, pièces traversantes avec des ouvertures en opposition, choix des matériaux, protection solaires et isolation efficace etc.) ;
- Tenir compte des **systèmes technologiques** déjà existants (ventilation mécanique ou naturelle, gestion automatisée ou pas des fermetures, puits géothermiques etc.).
- Intégrer l'approche dans tous les projets de rénovation.

Et au-delà de ces quatre aspects, **il est nécessaire de prendre en considération le facteur humain en parallèle**, sans quoi les améliorations apportées sur le bâtiment ne seront pas totalement efficaces.

En effet, au-delà des enjeux environnementaux, il s'agit de pouvoir garantir un confort constant à l'utilisateur. **La recherche portera donc à limiter les écarts de températures, à tendre vers un équilibre, donnant la possibilité à notre organisme de s'acclimater, s'habituer et, in fine, de supporter un niveau de température intérieur acceptable** (le corps humain tolère difficilement les variations de températures supérieures à 10°C – l'impact des variations de températures et des chocs thermiques peut se révéler particulièrement néfaste : perte de connaissance, angine, sinusite, arrêt respiratoire etc.)¹⁰.

Mais **les techniques de rafraîchissement passif ne pourront être optimales si nos usages et comportements n'évoluent pas dans le bon sens**. Ces derniers peuvent être difficiles à changer, mais pas impossible ! Il convient de trouver un juste équilibre entre notre désir de n'avoir à nous occuper de rien (laisser les équipements gérer le confort intérieur, permettant d'atteindre la température désirée par exemple) ; et notre besoin de pouvoir prendre la main sur la technique, lorsque cette dernière ne nous convient pas totalement.

Des gestes simples peuvent alors être mis en place pour atténuer le ressenti des fortes chaleurs dans nos habitats, et ainsi modifier notre rapport aux solutions technologiques :

⁹ « Comment limiter la hausse des températures l'été dans nos habitats sans aggraver le réchauffement climatique ? », Cercle Promodul / INEF4, 2020.

<https://cercle-promodul.inef4.org/comment-limiter-hausse-temperatures-ete-habitats-sans-aggraver-rechauffement-climatique/>

¹⁰ « Sinusites, chocs thermiques et non-sens environnemental : la face cachée de la clim' », L'express, Juillet 2019.

https://www.lexpress.fr/actualite/societe/meteo/sinusites-chocs-thermiques-et-non-sens-environnemental-la-face-cachee-de-la-clim_2091633.html

anticiper la fermeture des fenêtres et volets lors des fortes chaleurs, faire circuler l'air la nuit, éviter l'utilisation d'appareils ménagers qui produisent de la chaleur etc.

C'est donc une combinaison intelligente de ces deux composantes (techniques de rafraîchissement passif et évolution de nos comportements) qui permettra de tendre vers le confort recherché, participant dans le même temps à une plus grande résilience du bâtiment face aux problématiques de réchauffement climatique.

Comment mettre en place le rafraichissement passif ?

Quelques rappels nécessaires

Réduire et limiter les besoins nécessite de comprendre **quelques points fondamentaux** :

Réduire les apports solaires sur les parois transparentes : un vitrage est un élément de l'enveloppe dont le bilan thermique est particulier. Ainsi, durant la saison de chauffe, on cherche à maximiser les apports solaires à travers le vitrage qui est aussi une source de déperditions. En été on cherche à minimiser ces apports solaires et limiter le rayonnement qui traverse le vitrage. Toute la difficulté du choix consistera donc à concilier protection contre les surchauffes VS apport solaire et apport en éclairage naturel suffisant, quelle que soit la saison.

- **Réduire les apports solaires sur les parois opaques** l'été, et ce afin de limiter leur élévation en température.
- **Favoriser la ventilation des couvertures** : attention aux pièces aménagées dans les combles qui, initialement, étaient des espaces tampons et dans lesquels l'air circulait librement. Ne pas oublier que l'été, sur une couverture, la température des matériaux solides peut s'élever au-delà de 50°C sous l'effet du rayonnement solaire.
- **Favoriser un rafraichissement naturel** lorsque c'est possible : choix des matériaux des terrasses, végétalisation, brise-soleil, ombrages etc.
- **Organiser au maximum, lorsque c'est possible, le rafraichissement nocturne par ventilation naturelle et ouverture des fenêtres** (choix du mode d'ouverture dans le cas de changement de baies), par ventilation mécanique et surventilation.



- **Ne pas affecter l'inertie thermique par des traitements conventionnels d'isolation, ou inadaptés**, sans tenir compte des surchauffes d'été qui seront générées. L'inertie d'un bâtiment ou d'une paroi représente son aptitude à stocker l'énergie sous forme de chaleur. Une paroi murale réalisée avec des matériaux à forte inertie thermique joue un rôle d'amortisseur des écarts de température en stockant et diffusant lentement la température vers l'extérieur l'hiver, et vers l'intérieur l'été.
- **Ne pas oublier le pouvoir calorifique des équipements ménagers et de l'éclairage**. Toute charge électrique (éclairage, bureautique, machine à café etc.) dans un local refroidi est payée deux fois : une fois pour effectuer le travail attendu, une fois pour évacuer ce travail qui s'est transformé en chaleur. Une meilleure gestion de ces équipements peut également permettre de diminuer les besoins de refroidissement.

Dès lors, comment mettre en œuvre le rafraîchissement passif dans les constructions neuves ou en rénovation ?

Les techniques passives de rafraîchissement visent à **réduire au maximum les besoins énergétiques des bâtiments tout en assurant un confort d'été pour les usagers** : il s'agit alors de se tourner vers l'usage de certains équipements dont l'utilisation sera moins consommatrice en énergie et garantissant une atténuation de l'effet ressenti des fortes températures.

Il convient donc d'adopter une approche systémique, combinant plusieurs techniques de rafraîchissement pour une meilleure efficacité. Pour la plupart de ces techniques, elles ne pourront contrer les effets de l'augmentation des températures si elles sont utilisées seules.

Végétaliser l'environnement du bâtiment



Mettre en place un système de végétalisation des toitures et/ou façades

Végétaliser les façades et toitures des bâtiments permet de profiter d'un double effet :

A la fois sur la chaleur ressentie dans la rue, avec une baisse pouvant aller jusqu'à 10°C. Ces façades et toitures vertes vont contribuer à atténuer le phénomène de « piégeage radiatif » qui se produit dans les rues dites « en canyon » (encadrées par de hauts bâtiments), où les immeubles se renvoient les rayons du soleil au lieu de les réexpédier vers le ciel. **C'est ainsi 70% du rayonnement solaire qui peuvent être absorbés.**

Mais aussi sur la chaleur ressentie à l'intérieur du bâtiment : le phénomène de la photosynthèse permet en effet aux plantes de consommer de l'énergie solaire et de transpirer l'eau puisée par leur racine, créant ainsi un aérosol rafraîchissant. Un mur végétal fera en outre office de barrière protectrice pour le bâtiment, limitant le stockage de la chaleur le jour.

A titre d'exemple, des résultats se sont confirmés dans certaines rues ombragées du Grand Lyon avec une température ressentie, prenant en compte le vent, l'humidité, et le rayonnement du ciel et des matériaux (UTCI¹¹) d'environ 10°C inférieure à la température affichée¹².

A Paris également, où il a été noté une variation de température de 4°C (passant ainsi de 26 à 22°C) entre le parvis de la gare de l'Est et le parc des Buttes-Chaumont (distants de 2,5km)¹³.

Applicables en façade et toiture (petites ou grandes surfaces), des systèmes extensifs (espaces extensifs) ou semi-intensifs et intensifs (jardins légers) existent et sont adaptables selon les

¹¹ UTCI : Indice universel du climat thermique. Indicateur de mesure quant à la température ressentie par l'être humain.

¹² « Confort thermique en milieu urbain : quelques outils disponibles pour l'aide à la décision », CEREMA & Métropole de Lyon, Février 2016.
https://www.cerema.fr/system/files/documents/2017/09/carnets_fevrier2016_vf_cle7a1f49.pdf

¹³ Dossier « Demain sera plus chaud », Cahiers Techniques du Bâtiment n°379, Juin 2019.
<https://www.cahiers-techniques-batiment.fr/article/confort-d-ete-et-changement-climatique.41440>

climats et les types de bâtiments, en neuf comme en rénovation. Ils favorisent l'isolation thermique et permettent une stabilisation des températures des parois (variations moins fortes) grâce à la couche de substrats, et bloquent les rayons UV. Certains systèmes en toiture peuvent également cohabiter avec des panneaux solaires.

Cette solution est tout à fait appropriée pour des bâtiments situés en ville, dans des espaces très minéralisés, contribuant à créer un environnement rafraichissant pour atténuer les effets des îlots de chaleur. Par ailleurs, indépendamment de ce cas de figure, la végétalisation peut apporter une bonne inertie thermique à des bâtiments et peut être un des éléments à envisager pour atténuer les effets du réchauffement au niveau du bâtiment et de son environnement.



A retenir :

- L'installation de ces systèmes sur les terrasses et toitures ne peut se faire que si la pente est inférieure ou égale à 20%.
- Il faut également bien choisir les végétaux selon les régions et zones climatiques et traiter le revêtement d'étanchéité « anti-racines ».



Points d'attention

- La mise en œuvre peut dépendre de l'homogénéité dans un quartier (règlement d'urbanisme, marges de manœuvre variables etc.).
- Un système d'irrigation sera nécessaire si la région climatique du bâtiment végétalisé est soumise à de faibles précipitations.
- La végétalisation demande un entretien régulier.

Exemples de solutions



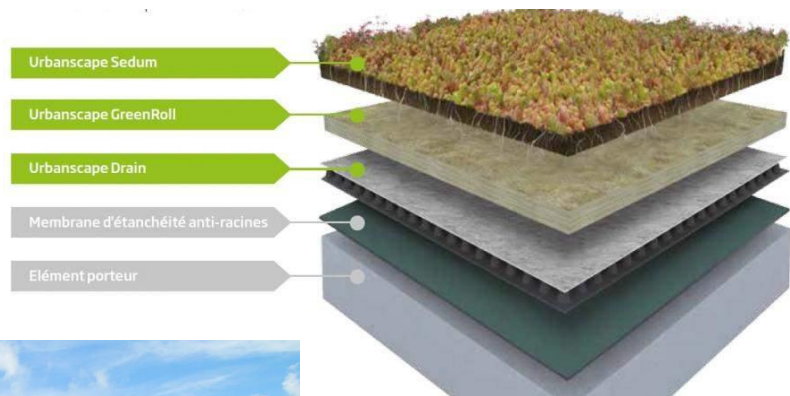
❖ Sopranature /



Crédit photo : [Soprema](#)



❖ Urbanscape /



Crédit photo : [Knauf](#)



Limiter les effets du rayonnement direct et la montée en température des parois opaques



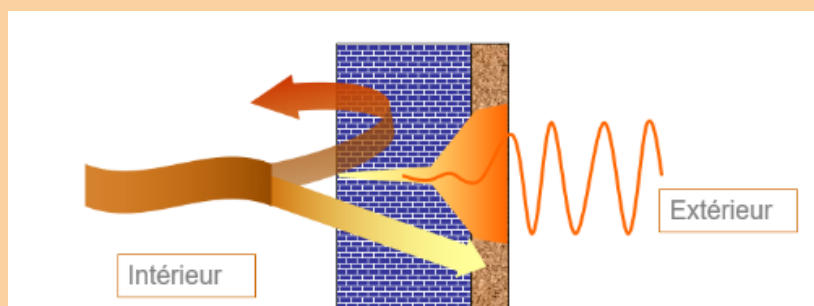
Les effets de la montée en température des parois

La structure du bâtiment joue un rôle essentiel dans son aptitude à ralentir l'élévation de la température de l'air, et par sa capacité à absorber l'énergie thermique incidente : on parle alors d'« inertie thermique ».



Focus sur l'inertie thermique

L'**inertie thermique** se définit par la capacité des matériaux à emmagasiner la chaleur puis à la restituer en **déphasage** (capacité à différer les variations de températures). L'inertie de la structure du bâtiment permet alors de **contenir l'élévation de la température de l'air d'un local / bâtiment, tout en assurant des conditions de confort acceptables** (pendant plusieurs journées notamment, lors d'une séquence chaude – épisode de canicule).



L'inertie thermique d'un bâtiment dépend donc de **la nature des matériaux utilisés pour sa structure**.

Ce sont les matériaux lourds, et notamment le béton, la pierre, la brique qui possèdent les meilleures qualités vis-à-vis de l'inertie thermique.

Notons que sur un cycle quotidien, seuls les 7 ou 10 premiers centimètres sous la surface sont mobilisés. Cependant, toutes les parois intérieures participent à ce mécanisme (planchers haut et bas, refends, cloisons). Il importe donc, pour profiter au mieux de ce mécanisme amortisseur, de favoriser le contact thermique entre ces surfaces et l'air intérieur : **l'isolation thermique des parois extérieures est donc à privilégier** (les faux-plafonds et les moquettes par exemple seront donc à proscrire).

Exemples de solutions

Dans les régions où les températures estivales sont élevées, entraînant des surchauffes, il faudra **privilégier des isolants contribuant au déphasage d'au moins 10 heures à 12 heures, privilégier l'isolation thermique par l'extérieur** chaque fois que cela est possible, ou bien mettre en œuvre, pour le neuf, des **solutions qui allient inertie et isolation**.



❖ Brique Monolithe Isolée / TERREAL

La Brique Monolithe Isolée (BMI) est un brique asymétrique qui concentre l'essentiel de sa masse côté intérieur. Constituée d'une structure alvéolaire, la BMI est naturellement isolante, dégage de faibles effusivités limitant l'effet de paroi froide, favorise une bonne étanchéité à l'air et divise les ponts thermiques par 3. Elle permet ainsi un confort thermique d'été et de mi-saison.



Crédit photos : [Construction21 – Habitat Social Positif](#)



❖ Isolants biosourcés /

Un isolant dit « biosourcé » est issu de la biomasse végétale ou animale¹⁴. En plus de participer à l'efficacité énergétique des bâtiments, l'emploi de ces matériaux aura un impact non négligeable sur la réduction des émissions de gaz à effet de serre du bâtiment.



Les panneaux rigides ou semi-rigides en fibre de bois protègent aussi bien du froid que de la chaleur.

Cette isolation permet de garantir la bonne étanchéité à l'air de la maison (préservant le confort et évitant toutes déperditions thermiques¹⁵), ainsi qu'une bonne capacité de déphasage thermique.



Crédit photos : [Soprema](#)

Crédit photo : [Soprema](#)

La ouate de cellulose, également, constitue un bon isolant thermique : elle réduit les échanges thermiques entre faces froides et chaudes, assurant ainsi un meilleur confort en été comme en hiver.



L'excellent déphasage thermique de la ouate de cellulose garantit aussi un ralentissement des transferts de chaleur deux fois plus important qu'une laine minérale¹⁶.

¹⁴ « Isolants biosourcés : Des performances en hausse... », BATIRAMA, 2015

<https://www.batirama.com/article/10878-isolants-biosources-des-performances-en-hausse.html>

¹⁵ « L'étanchéité à l'air », Conseils Thermiques, https://conseils-thermiques.org/contenu/etancheite_air.php

¹⁶ Pour aller plus loin : Fiche conseil ACTEE sur les groupements de commande isolation des combles (COCON)

<https://www.programme-cee-actee.fr/wp-content/themes/actee/assets/media-document/COCON.pdf>

Les effets du rayonnement direct sur les parois

Les toitures et les terrasses sont très fortement exposées au rayonnement solaire direct. La nature des matériaux qui les composent peut avoir un effet sur l'impact du rayonnement, mais il est également intéressant de souligner l'effet de leur couleur : plus un matériau tend vers une couleur claire (jusqu'à blanche), plus il réfléchit le rayonnement solaire direct, et moins il stocke d'énergie sous forme de chaleur.

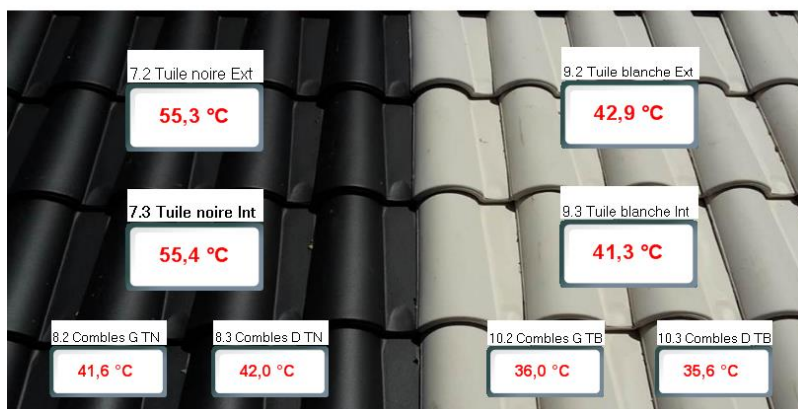
Ceci est dû aux propriétés de réflectivité et d'émissivité des matériaux utilisés qui réfléchissent le rayonnement solaire vers l'atmosphère. Le SRI (Solar Reflectance Index) sert notamment d'indicateur pour estimer la capacité qu'aura une toiture à « rejeter » la chaleur solaire. Cet indice fait intervenir les valeurs de réflectance et d'émissivité.

Comme la toiture reste plus froide (jusqu'à 30°C gagnés par rapport à un revêtement de couleur sombre), la quantité de chaleur transmise dans le bâtiment est diminuée (jusqu'à -3°C), conservant ainsi une température intérieure plus froide et plus constante. Les surchauffes issues de la chaleur dissipée vers l'intérieur du bâtiment par les toitures ou terrasses sont ainsi réduites et limitées, tout en permettant, en parallèle, certaines économies d'énergie pour un non-usage, ou une réduction de l'usage de la climatisation.

Terreal a par exemple co-mené et breveté, avec l'INSA Lyon, des mesures et mises en situation de deux expérimentations de tuiles blanches et tuiles/toiture végétalisées.



4.1 Humidité SMétéo 46,7 %RH	4.2 Température SMétéo 29,0 °C	7.0 Température SUD 33,5 °C	7.1 Température NORD 29,6 °C	11.2 Solarimètre 942 W/m²	33.0 Pyranomètre 923 W/m²
---------------------------------	-----------------------------------	--------------------------------	---------------------------------	------------------------------	------------------------------



Crédit photo : [Paul Vincent Architecte](#) & Terreal

Exemples de solutions



❖ Cool Roof /

Revêtement d'étanchéité de couleur blanche.



Crédit photos : [Soprema](#)



Point d'attention

Les économies d'énergie dépendent du type de bâtiment, de ses caractéristiques de construction, et varient donc d'un ouvrage à l'autre.

Limiter les effets du rayonnement
et la montée en température de
l'habitat via les parois vitrées



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**.

Les surfaces vitrées peuvent ainsi être facteur d'une élévation significative de la température intérieure si les locaux sont pleinement exposés au soleil. De plus, cet excès de chaleur peut engendrer une surconsommation énergétique liée à un besoin de rafraîchissement (comme la climatisation), qui ne sera, ni efficace, ni optimal, si **les parois vitrées ne bénéficient d'aucune protection**.

Il est donc nécessaire de mettre en place des systèmes de protections solaires, brises soleil extérieurs, masques, stores, volets, stores-banne ou même d'envisager la mise en œuvre de vitrages à contrôle solaire. **Selon les cas, une de ces dispositions ou une combinaison de plusieurs permettra d'anticiper tout inconfort thermique potentiel dû à l'orientation et au dimensionnement des surfaces vitrées.**

Un brise-soleil orientable extérieur, utilisé pour « masquer » une surface vitrée, peut diminuer la température d'une pièce, soumise à un plein rayonnement, de 18°C en été. Un store enroulable intérieur peut diminuer cette même température de 13°C.

Se protéger des rayons lumineux : l'automatisation des protections solaires

L'**automatisation du contrôle** des protections solaires (volets battants/roulants/coulissants, brise-soleils orientables, stores) par le biais d'algorithme, augmentera leurs bénéfices par une optimisation de leurs mouvements suivant les conditions météorologiques et intérieures (qualité d'air, température etc.).

Plusieurs études comportementales ont démontré que **plus de 50% des utilisateurs des protections solaires sont totalement passifs** et ne les utilisent jamais (un store manuel - motorisé ou non - est en moyenne utilisé moins d'1,7 fois par semaine).

L'automatisation permet ainsi une adaptation optimale tenant compte de la température extérieure, du niveau de luminosité, des conditions météo, de la qualité de l'air etc.



A retenir :

Accompagner l'utilisateur et le former aux bonnes pratiques sera également un facteur clé et viendra accentuer l'effort de la performance du bâtiment : il s'agit d'associer l'utilisateur au bon fonctionnement des équipements techniques et de le sensibiliser au rôle et aux bonnes pratiques de gestion de ces équipements (anticiper la fermeture des protections solaires, ne pas exposer son logement à l'ensoleillement durant toute la durée d'intense chaleur etc.).

Ainsi, l'automatisation des protections solaires peut permettre, en plus d'une baisse significative de la température intérieure, notamment en période caniculaire (entre 10 et 18°C possiblement gagnés), un rafraîchissement nocturne sécurisé et facilité (pouvant favoriser la surventilation). En effet, l'approche par une gestion active permet de contrôler tous les systèmes et ainsi de réduire la consommation énergétique (comme la climatisation) jusqu'à 80%. Le pilotage des occultants étant adapté selon l'intensité du flux solaire et la température intérieure, l'irradiation solaire sera bloquée au plus tôt pour limiter l'élévation de température dans la pièce. Son installation est possible dans le neuf, comme en rénovation, et il est tout à fait possible d'en suspendre la fonctionnalité si besoin.



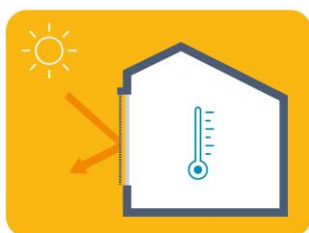
Points d'attention

- Les systèmes doivent maintenir un éclairage naturel suffisant pour ne pas utiliser d'éclairage artificiel.
- En contrôle des systèmes par une gestion active, s'assurer de l'interopérabilité des solutions.
- Nécessité de programmer l'anticipation de la fermeture des occultants dès l'arrivée des fortes chaleurs.
- L'installation par un professionnel est recommandée.



❖ Automatisation des protections solaires / **somfy**

L'automatisation consiste à associer aux actionneurs de ces protections différents capteurs, connectés ou non à des systèmes domotiques (Tahoma), permettant de contrôler la quantité de chaleur que l'on souhaite faire entrer ou au contraire bloquer avant qu'elles n'atteignent les ouvertures de la maison.

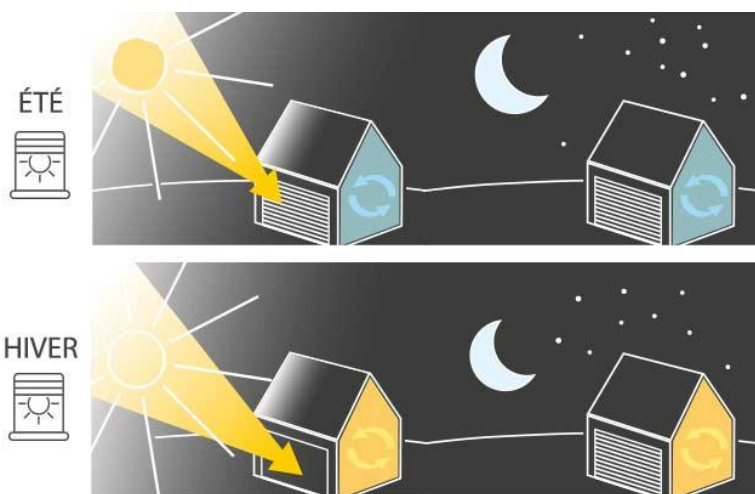


Ce système permet de limiter les apports solaires suivant l'ensoleillement, les conditions météo.

Crédit photos : [Somfy](#)

❖ Gestion automatique des occultants / **DELTA DORE**

Delta Dore a développé une fonction de gestion automatique des occultants (volets roulants, BSO, Store extérieur) appelée « Optimisation Solaire ». Cet algorithme est intégré aux gestionnaires d'énergie ou indicateurs de consommation 3 en 1 de Delta Dore. Son objectif est de bloquer au plus tôt l'irradiation solaire sur une façade exposée afin de limiter l'élévation de température dans la pièce.



Il pilote les occultants selon 4 positions (ouvert, fermé) avec 2 positions intermédiaires pour conserver une luminosité naturelle minimale. Selon l'intensité du flux solaire et du niveau de criticité mesuré par la température intérieure le système pilote les 4 positions en intégrant la gestion d'anti-court cycle et la détection de présence.

Crédit images : [Delta Dore](#)

Se protéger des rayons lumineux : les ombrages

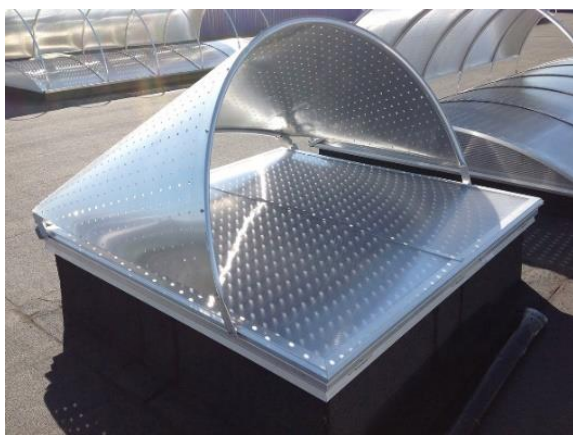
Protéger des rayons lumineux doit tout de même pouvoir garantir une bonne diffusion de la lumière naturelle. Il s'agit de rechercher un **équilibre juste entre confort visuel et limitation de l'inconfort thermique**, durant les saisons chaudes notamment. On peut s'appuyer sur le référentiel EN17037 relatif à l'éclairage naturel des bâtiments, qui définit des indicateurs et les niveaux à atteindre pour maximiser le confort lumineux et thermique. Également, le **Facteur Lumière du Jour (FLJ)**, est l'indicateur le plus répandu d'appréciation de la quantité de lumière naturelle entrant dans un local¹⁷.

Exemples de solutions



❖ Voile dôme / **bluetek**
De nature à créer le bien-être

Systèmes de lanterneaux et de voutes applicables sur les toitures de bâtiments tertiaires, qui permettent d'éviter un substantiel inconfort de travail¹⁸ par la suppression de l'effet de serre (c'est à dire protéger du soleil en été, mais laisser entrer la chaleur en hiver, grâce à une orientation optimisée).



Crédit photos : [Adexsi](#)

¹⁷ « Facteur Lumière du Jour », Bluetek.

[https://www.bluetek.fr/fr/flj-facteur-lumiere-du-jour#:~:text=FLJ%20\(FACTEUR%20LUMI%C3%88RE%20DU%20JOUR\)&text=Le%20FLJ%20exprime%20le%20ratio,FLJ%20s'exprime%20en%20pourcentage.](https://www.bluetek.fr/fr/flj-facteur-lumiere-du-jour#:~:text=FLJ%20(FACTEUR%20LUMI%C3%88RE%20DU%20JOUR)&text=Le%20FLJ%20exprime%20le%20ratio,FLJ%20s'exprime%20en%20pourcentage.)

¹⁸ « Guy Cotten mise sur le Facteur Lumière du Jour de son nouveau bâtiment », Adexsi.

<https://www.adexsi.fr/actualites/chantiers-clients/guy-cotten-mise-sur-le-facteur-lumiere-du-jour-de-son-nouveau-batiment>



❖ Marquise solaire / EDILIANS

Brise-soleil photovoltaïque, qui protège des rayonnements du soleil mais assure aussi une production d'électricité.



Crédit photos : [Edilians](#)

Se protéger des rayons lumineux : les vitrages à contrôle solaire

Certains bâtiments collectifs neufs ont fortement vu augmenter la taille de leur surface vitrée. En hiver, cet apport solaire est bénéfique pour le confort thermique et pour la consommation en chauffage qui diminue, mais en été il peut élever la température de la pièce de manière significative.

Exemples de solutions



❖ Verres à protection solaire /

Les doubles vitrages de la gamme « Climaplus » sont adaptés aux fenêtres exposées au soleil (Sud et Est), et se caractérisent par une couche de contrôle solaire peu émissive. Certains sont, en plus, composés d'un vitrage teinté bleuté pour une réflexion extérieure.

Leur composition permet d'assurer un confort d'été, puisque **leur capacité de filtre de la chaleur peut réduire, en fonction du produit, de 60 à 80% l'effet du rayonnement solaire** tout en garantissant une haute entrée de la lumière naturelle. L'isolation sera également garantie (assurant également un confort d'hiver), permettant dans le même temps, de réduire une éventuelle consommation de la climatisation, et d'éviter de fermer volets ou stores (permet de garder une vision de l'environnement extérieur).

Cette solution passive de rafraîchissement, à coût maîtrisé, peut se combiner aux autres solutions de rafraîchissement passif.



Points d'attention

- Certaines solutions sont davantage adaptées aux façades qui seront peu exposées au soleil.
- La conception des fenêtres nécessite des simulations thermiques dynamiques pour optimiser leurs surfaces et leurs positions.
- Les moteurs de calculs réglementaires (RT2012/RE2020) valident un niveau réglementaire minimum et ne peuvent pas servir d'outil de conception ni de garantie des conditions de confort ou d'inconfort d'été qui relèvent d'outils spécifiques à utiliser lors des phases création/conception.



Crédit photos : [Saint-Gobain](https://www.saint-gobain.com)

Rafraichir le milieu ambiant



Plusieurs solutions existent ainsi pour rafraîchir le milieu ambiant – ventilation mécanique, ventilation naturelle (par ouverture de fenêtres – notamment en toiture), systèmes de rafraîchissement – qu’il est intéressant de coupler afin d’en maximiser les effets et ainsi garantir **une température confortable**. Ces systèmes auront recours à une très faible utilisation d’énergie pour faire fonctionner un circulateur, un ventilateur ou un moteur d’ouverture / fermeture des fenêtres. Ils n’utilisent pas le principe de la compression / détente des gaz réfrigérants d’une climatisation et consomment, comparativement, une quantité d’électricité 10 à 20 fois moins importante.

Principes généraux sur les systèmes mécaniques

- Par insufflation d’air neuf :

Les systèmes de ventilation « par insufflation » utilisent un moteur qui injecte de l’air neuf par un réseau de conduit jusqu’à un (ou plusieurs) point(s) de diffusion.

La surpression alors créée à l’intérieur du bâtiment, induit une sortie d’air par des conduits/grilles, mais aussi par les fuites d’étanchéité résiduelles dans l’enveloppe du bâtiment.

Les sorties d’air sont aménagées et dimensionnées de telle façon que tous les locaux (avec ou sans pollution spécifique) soient soumis à un renouvellement d’air satisfaisant.

Avant son insufflation dans les locaux, l’air peut être conditionné (chauffage, rafraîchissement, filtration, humidification, déshumidification).

- Par extraction d’air vicié :

Les systèmes de ventilation « par extraction » utilisent un moteur qui extrait l’air vicié à partir d’un réseau de conduits. Les bouches d’extraction sont généralement situées dans les pièces de service (locaux à pollution spécifique, salles de bains, cuisines etc.).

La dépression, créée alors à l’intérieur du bâtiment, induit une entrée d’air neuf naturelle au niveau de l’enveloppe extérieure du bâtiment, principalement par des entrées d’air dans les pièces sans pollution spécifique, le plus souvent sur les fenêtres, mais aussi par les fuites d’étanchéité résiduelles dans l’enveloppe du bâtiment.

Lorsque les entrées et les sorties d’air se situent dans différentes pièces, des passages doivent être aménagés afin de laisser l’air circuler librement, y compris lorsque les portes intérieures sont fermées. Ces passages libres sont généralement réalisés grâce à un détalonnage des portes ou par des grilles de transferts.



Focus sur la ventilation et la surventilation nocturne

Le recours à la ventilation comme moyen de refroidissement passif implique notamment :

- de disposer d'un air extérieur à une température telle qu'il puisse assurer le confort thermique et participer de façon active au refroidissement de la structure du bâtiment ;
- de disposer d'un débit d'air important, compris entre 5 et 10V/h ;
- ces débits peuvent être assurés par des moyens mécaniques ou naturels.

La **surventilation nocturne** va, comme son nom l'indique, plus spécifiquement abaisser la température à l'intérieur du bâtiment durant la nuit (où la température extérieure est normalement plus fraîche) afin de restaurer les conditions de confort lors de la journée suivante. La **surventilation** va alors nécessiter une conception spécifique du bâtiment. Elle sera particulièrement efficace si :

- l'inertie est suffisante pour que les gains matinaux perdurent dans la journée ;
- les protections solaires sont suffisantes pour éviter trop de charge ;
- les charges internes (éclairage, appareils électroniques etc.) sont gérées et limitées.

Cependant, dans le cas de surventilation naturelle ou hybride, la nécessité de maintenir libres à la circulation de l'air les ouvertures de façades peut poser des problèmes particuliers de protection contre les effractions et les risques de pluie (ces effets peuvent être toutefois maîtrisés par des systèmes de gestion active permettant la programmation et le contrôle des ouvrants).

Principe de surventilation en ventilation naturelle :

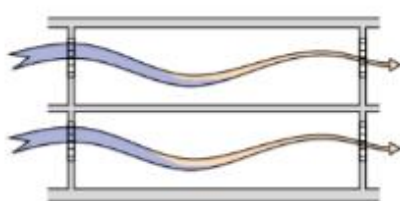


Figure 5 : ventilation naturelle traversante

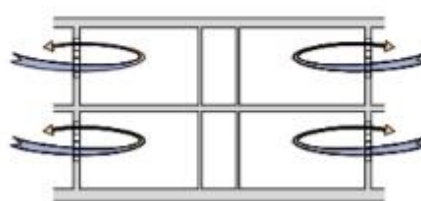


Figure 6 : ventilation naturelle monofaçade

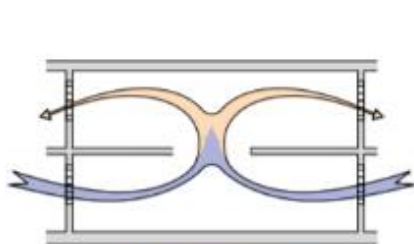


Figure 7 : tirage thermique

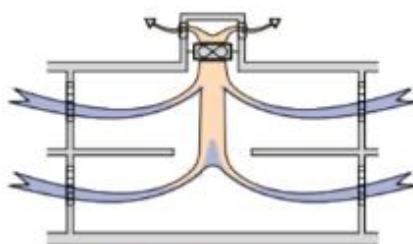


Figure 8 : ventilation hybride

Crédit image :
Surventilation et confort d'été
Ademe. Publication éditée dans le cadre du projet Freevent¹⁹.

¹⁹ Issue du rapport scientifique Etat de l'Art FREEVENT, publié en 2016 et disponible sur le portail Construction21 dans l'espace de la communauté thématique FREEVENT.

Principe de surventilation en ventilation mécanique :

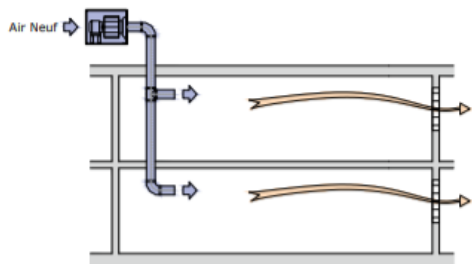


Figure 1 : surventilation simple flux en soufflage

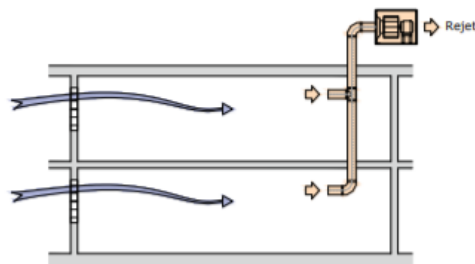


Figure 2 : surventilation simple flux en extraction

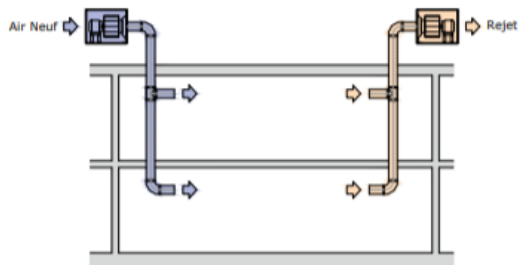


Figure 3 : surventilation double flux

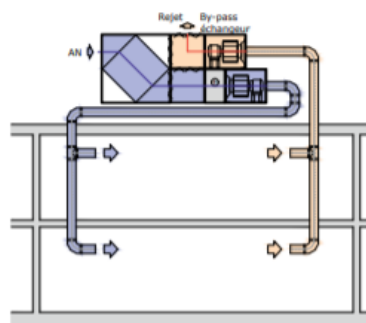


Figure 4 : traitement d'air avec by-pass de l'échangeur

Crédit image : Surventilation et confort d'été Ademe. Publication éditée dans le cadre du projet Freevent (cf note précédente).

Exemples de solutions



❖ Ventilation par insufflation PUREVENT /

La VMI® PUREVENT améliore la qualité de l'air intérieur grâce à une filtration adaptée au niveau de la pollution intérieure.

Elle participe également au confort d'été grâce à une fonction de surventilation estivale, détecte automatiquement les saisons et mesure les températures intérieures et extérieures.

En été, lorsqu'un potentiel de rafraîchissement est détecté, le système augmente automatiquement son débit afin d'améliorer le confort des occupants.

Le fait d'accélérer le débit de la VMI permet de faire entrer dans le bâtiment plus rapidement de l'air à une température inférieure à celle de l'air ambiant et en grande quantité.

<https://www.construction21.org/france/community/pg/groups/19939/freevent-surventilation-freecolling-et-confort-dt/>



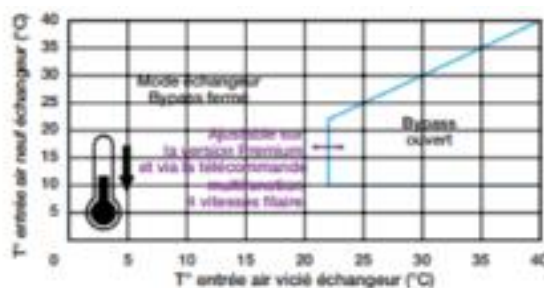
Crédit image : Ventilairsec



❖ InspirAir Side/Home - rafraîchissement de l'air intérieur /

InspirAIR® Home a été développé pour tempérer l'air intérieur. La commande de ce système Double Flux avec 100% Bypass permet de choisir le mode confort (automatique, rafraîchissement privilégié ou réchauffement privilégié) et le mode de régulation de la vitesse constante : débit constant (autoréglable), débit variable en fonction d'une entrée 0 - 10 V et pression constante (hygroréglable). Selon le mode de régulation et de confort choisi, il est possible d'ajuster le débit (en m³/h ou l/s), la vitesse (en %) ou la pression (en Pa).

En mode rafraîchissement, lorsque la température de l'air extérieur est plus faible que la température de l'air ambiant, l'échangeur est by-passé et le débit augmente, permettant ainsi la diffusion d'un air plus frais et réduisant la température de l'air intérieur.



Mode rafraîchissement* privilégié

* La T°c de l'air neuf (venant de l'extérieur) est inférieure à la T°c de l'air ambiant.

Crédit images : Aldes



Points d'attention

- Veiller à l'entretien régulier des bouches d'aération.
- Pour la surventilation nocturne :
 - En **ventilation mécanique**, il convient de veiller à dimensionner les réseaux pour le renouvellement maximal prévu dans le bâtiment afin de limiter au maximum la consommation des ventilateurs et les pertes de charges.
 - En **ventilation naturelle et assistée**, il est indispensable de dimensionner correctement les ouvrants.

Ventilation mécanique performante couplée au tirage thermique naturel

Un système de ventilation mécanique performant, couplé au tirage thermique naturel (**ventilation naturelle**), par ouverture d'une fenêtre au rez-de-chaussée et d'une seconde en partie haute à l'étage (toiture) aux périodes propices de la journée, et potentiellement associé à des protections solaires limitant les effets du rayonnement direct du soleil dans la pièce, peut permettre de réduire la température intérieure de l'habitat de plusieurs degrés.

Ainsi, une maison peut rester fraîche avec une importante surface vitrée grâce au rafraîchissement naturel passif et à l'utilisation dynamique des protections solaires extérieures.

Mais de manière plus globale, favoriser la ventilation naturelle induit également des options spécifiques sur le plan-masse du bâtiment et l'organisation des espaces intérieurs, en favorisant, par exemple, les logements traversants et en orientant les bâtiments de telle façon que les ouvertures de façade soient dans le sens des vents dominants.

Exemples de solutions

Exemples de solutions de gestion de contrôle d'ouverture / fermeture des fenêtres

Il s'agit d'exploiter le potentiel de **tirage thermique** (ou « effet de cheminée ») par ouverture motorisée des fenêtres la nuit avec un système de gestion automatique des ouvertures de manière proactive, et ce afin d'optimiser le scénario d'ouverture des protections solaires et d'ouverture des menuiseries pour le confort thermique.

Cela permet ainsi d'exploiter la fraîcheur nocturne pour améliorer le confort de vie et réduire les besoins de climatisation. Le système proactif permet également d'anticiper les événements météorologiques et de pallier les éventuels oublis de l'utilisateur.



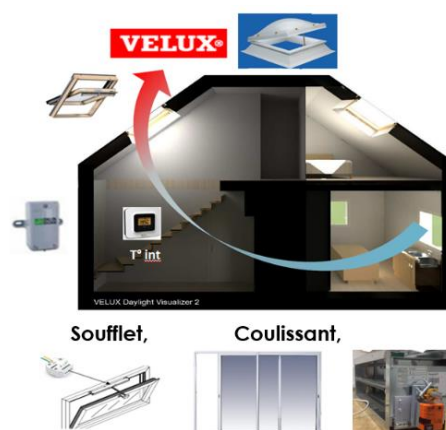
❖ Rafraîchissement nocturne par gestion des ouvrants /



La solution de tirage thermique Velux peut être **couplée avec des solutions de gestion (automatisation des ouvertures) pour une parfaite optimisation des effets de la ventilation naturelle nocturne**. Ces systèmes vont ainsi venir contribuer et renforcer les effets du rafraîchissement passif recherchés.

La fonction « Optimisation Solaire » de Delta Dore s'associe à la fonction ci-dessous pour le pilotage passif et la gestion synchronisée des ouvrants et des occultants.

Cette solution qui automatise les fenêtres permet d'offrir un **système de rafraîchissement passif intelligent** : programmation de l'aération naturelle automatisée au moment opportun (en été, la nuit, les systèmes peuvent s'activer et rafraîchir l'habitat de manière sécurisée). Il s'agit de programmer l'ouverture des ouvrants afin de bénéficier du potentiel de rafraîchissement nocturne (différence de température entre l'extérieur et l'intérieur), mais également d'assurer des effets bénéfiques sur la santé des occupants (assure la qualité de l'air intérieur – QAI).



Crédit photo : Delta Dore

Les systèmes comprennent une fenêtre motorisée et des capteurs qui assurent la sécurité des habitants (en cas d'intrusion) mais également la protection des nuisibles.

Plusieurs types d'ouvrant sont pris en compte selon leur particularité : fenêtre à soufflet, coulissant, caisson avec un registre motorisé etc. Ainsi, deux baies équipées suffisent à créer une ventilation dans un logement.



Crédit photos : [Velux](https://www.velux.com)



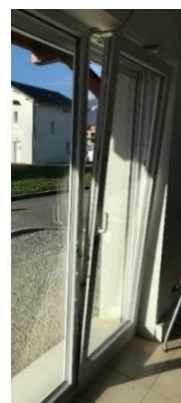
❖ Rafraîchissement nocturne par gestion des ouvrants / DELTA DORÉ K•LINE

Ce système s'associe à la fonction « Optimisation Solaire » de Delta Dore avec une gestion synchronisée des ouvrants et des occultants. Il permet une optimisation de la décharge du bâti en gérant un sur-refroidissement contrôlé qui prend en compte le type de pièce et la notion de présence/absence.

Le système est d'autant plus efficace s'il favorise le tirage thermique par une ouverture en partie basse associée à une ouverture en partie haute. Delta Dore a associé au confort d'été la ventilation naturelle pour améliorer la qualité d'air intérieur.



Maison Test du CEA



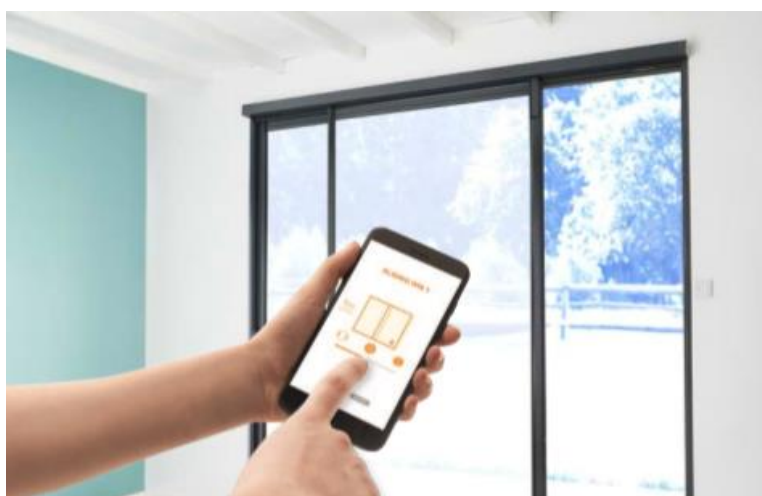
Gain important (4°C pour cet exemple)



❖ Programmation aération naturelle automatisée / **somfy**

La solution « Somfy Air » permet une **gestion programmée et optimisée des fenêtres**, rendant possible le renouvellement de l'air intérieur tout en assurant des effets de ventilation (et de surventilation nocturne) pendant les épisodes de chaleur.

Le système est connecté et lié aux autres équipements (via la box domotique Tahoma – solution permettant de gérer l'ensemble des équipements de la maison) et intègre un détecteur anti-intrusion.



Crédit image : [Somfy](#)



Point d'attention

Il sera nécessaire, pour les bâtiments existants, une rénovation plus lourde (changement des menuiseries notamment).

Le puits canadien (ou puits provençal), couplé à un système de ventilation favorisant l'abaissement de la température de l'air en journée

Ces puits permettent un abaissement de la température de l'air entrant. L'air extérieur, au lieu d'être insufflé directement dans le bâtiment (comme c'est le cas pour la ventilation), va être canalisé dans des conduits enterrés. Dans ce parcours, l'air cédera une partie de sa chaleur au sol, dont la température est quasi constante, et pourra pénétrer dans le bâtiment à une température plus faible de plusieurs degrés. Ce principe de fonctionnement repose donc sur une valorisation gratuite de la géothermie et agira comme un régulateur naturel de température, notamment pendant les fortes variations de température journalières en période de canicule.

On note ainsi :

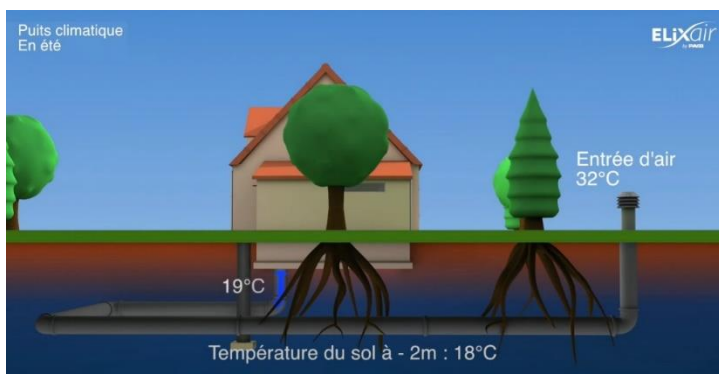
- Une différence de température extérieure / intérieure allant jusqu'à 10°C ;
- Une optimisation de l'échange thermique ;
- Une compensation des variations de températures extérieures (été et hiver).

Exemples de solutions



❖ Système Elixair / SAINT-GOBAIN

Puits canadien en fonte ductile couplé à VMC Double-Flux.



Crédit images : [Saint-Gobain](#)

Le « puits rafraîchissant passif »

Couplé avec un système de chauffage dont l'émetteur est un plafond, cette solution, valable pour les constructions neuves, consiste, l'été à faire circuler l'eau du circuit de chauffage dans un réseau de tube PER qui aura été noyé dans les fondations en béton. La température plus froide du sol et l'inertie du béton vont contribuer à rafraîchir l'eau du circuit. Elle remonte alors vers le plafond qui grâce à sa grande surface d'échange contribue à rafraîchir la température ambiante dans la pièce. La seule consommation électrique sera celle du circulateur, à haut rendement énergétique, du système chauffage. Que ce soit une PAC ou une chaudière.

Le puits profite d'un stock de froid gratuit sous la maison à 80 cm de profondeur, et protégé des apports solaires. L'eau du circuit remonte des fondations entre 18°C à 20°C, suffisamment frais pour refroidir l'ambiance de façon homogène (rafraîchissement rayonnant).

Le puits peut être connecté à un système de gestion (pilotage) pour optimiser la qualité et la nature des échanges thermiques.

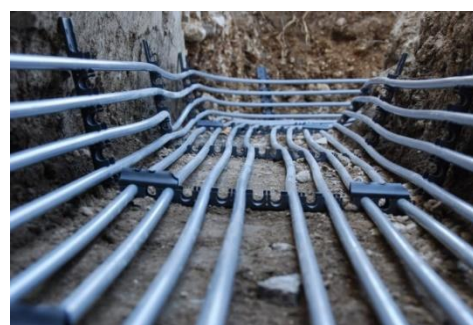
Il peut requérir une activation manuelle pour basculer entre chauffage et rafraîchissement passif. Enfin, il est indispensable que la régulation coupe la circulation de l'eau dans le puits quand aucun thermostat n'est en demande afin de laisser du temps pour que la chaleur se dissipe dans le sol (régénération du puits).

Exemples de solutions

❖ Puits rafraîchissant Innovert / atlantic



Source : [Innovert](#) / Crédit photos : L2R



Crédit photos : [Innovert](#)



❖ Gestion du plancher rafraichissant /

Le gestionnaire Delta 8000 réalise la gestion multizone en chauffage et rafraichissement des systèmes de plancher et plafond hydrauliques. Cette solution de gestion active permet d'accentuer les effets du rafraichissement passif en profitant d'un rafraichissement « doux » d'un système d'antenne géothermique pour du geocooling.



Thermostat ACOME



Box domotique TYDOM I.O
avec application gratuite
Réf 6700103

Crédit image : [Delta Dore](#)

Le rafraichissement adiabatique

Dans les bâtiments tertiaires, le rafraîchissement adiabatique pourra également améliorer le confort d'été en complément de la ventilation naturelle. Il est basé sur le principe physique suivant : si on évapore l'humidité contenue dans l'air, l'énergie nécessaire à l'évaporation est prélevée dans l'air chaud, qui en conséquence se refroidit. Le système consiste donc à reproduire ce principe naturel.

Avec un ventilateur l'air chaud passe à travers un échangeur humide. L'air se refroidit et peut être diffusé dans le bâtiment à une température inférieure à celle de l'air extérieur. La consommation d'énergie est 10 fois moins importante que celle d'une climatisation pour un bâtiment tertiaire.

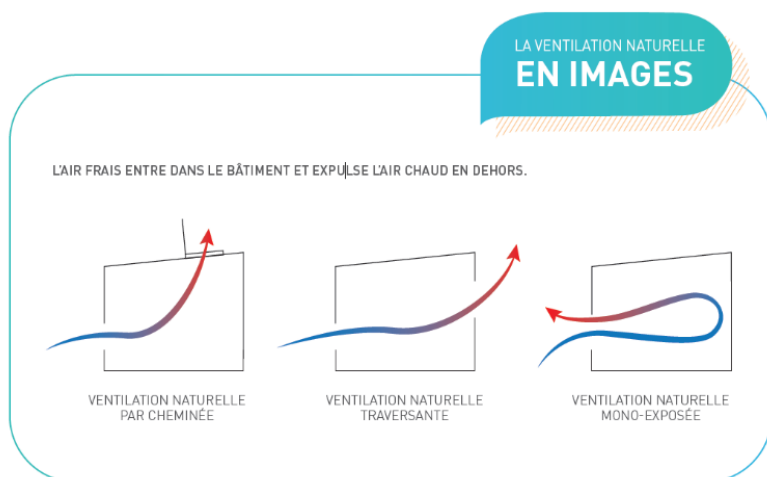


❖ Solution Genatis / **bluetek** De nature à créer le bien-être

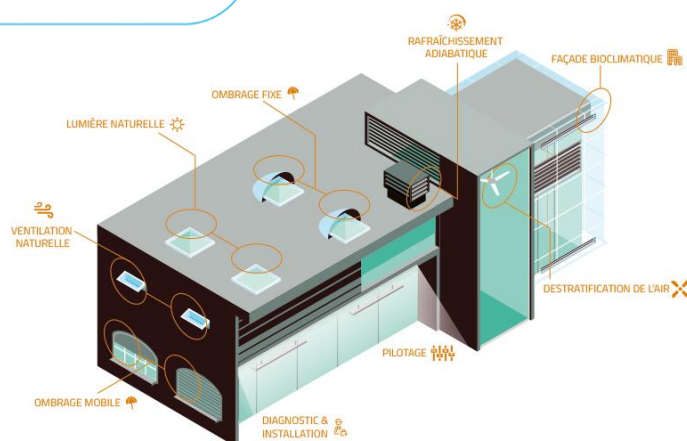
Cette solution de ventilation naturelle pour toitures plates de bâtiments tertiaires assure un renouvellement de l'air (impact positif sur la santé, notamment sur les maladies respiratoires), permettant ainsi d'éviter la détérioration prématurée du bâti (lutte contre l'humidité).

Il s'agit d'une installation complète intégrant le dimensionnement des ouvrants de façades et de toiture, ainsi que leur pilotage, et permettant d'assurer un débit d'air suffisant pour optimiser le confort thermique et la qualité de l'air intérieur (humidité, taux de Co₂, Cov).

Un couplage est possible avec le rafraîchissement adiabatique, une façade bio climatique et des ombrages.



Crédit images : [Bluetek](#)





❖ Système adiabatique couplé à une CTA (Centrale de Traitement de l'Air) / **bluetek** De nature à créer le bien-être

Également appelée « rafraîchissement par évaporation », cette méthode de rafraîchissement utilise l'air chaud extérieur (supérieur à 20°C), pour le transformer en froid (l'air chaud et sec passe à travers un échangeur humide, et se refroidit). L'énergie nécessaire à l'évaporation de l'eau est extraite de l'air, soit une consommation faible en énergie.

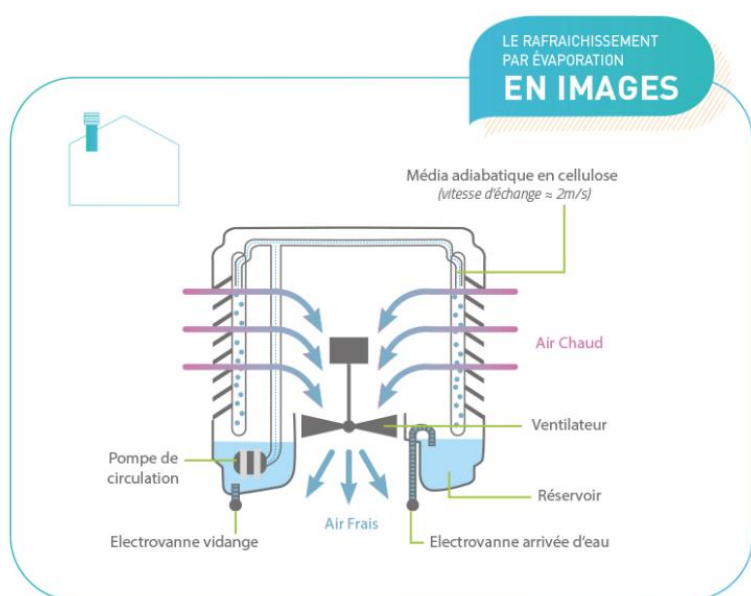
L'installation de la batterie adiabatique sur la reprise d'air permet de refroidir l'air injecté via l'échangeur thermique, sans ajouter d'humidité dans le bâtiment.

L'effet d'îlot de chaleur urbain sera également diminué (par rapport à une climatisation classique).



Point d'attention

Ce procédé permet de réduire la température intérieure sans toutefois pouvoir garantir la tenue d'une consigne fixe, comme c'est le cas pour la climatisation.



Crédit image/photo : [Bluetek](#)

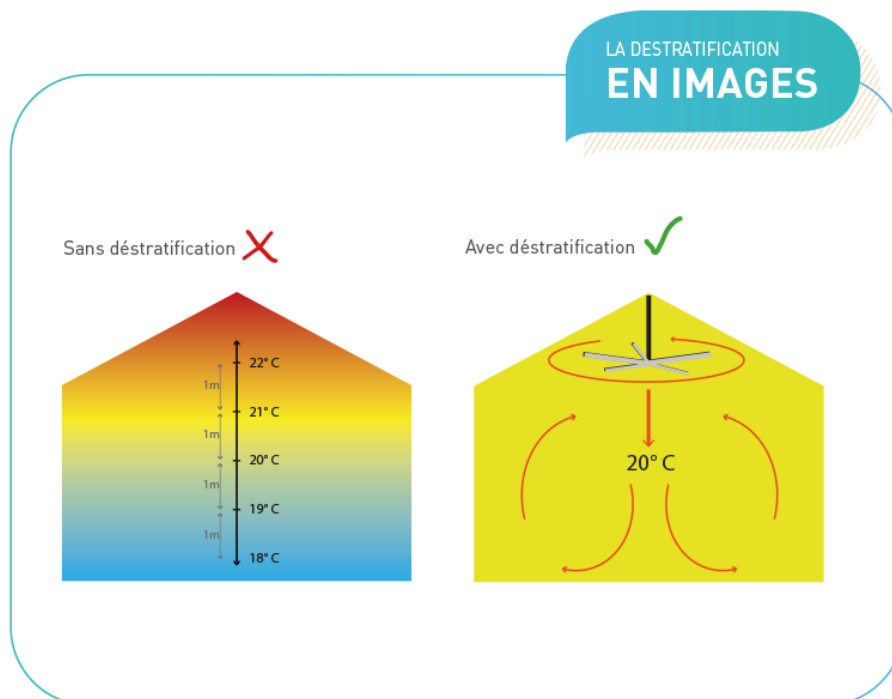


Le **principe de destratification** de l'air consiste à brasser l'air afin d'homogénéiser la température dans une pièce / un bâtiment.

Cette solution répond à la problématique naturelle qu'est la stratification de l'air : l'air chaud étant plus léger que l'air froid, on observe alors des couches de températures différentes. Il est possible de constater un écart allant jusqu'à 1 °C/m, soit une différence de 7 °C entre le sol et le plafond pour un bâtiment de 7 m de haut. La stratification de l'air est l'une des causes par exemple des déperditions thermiques d'hiver dans un bâtiment.

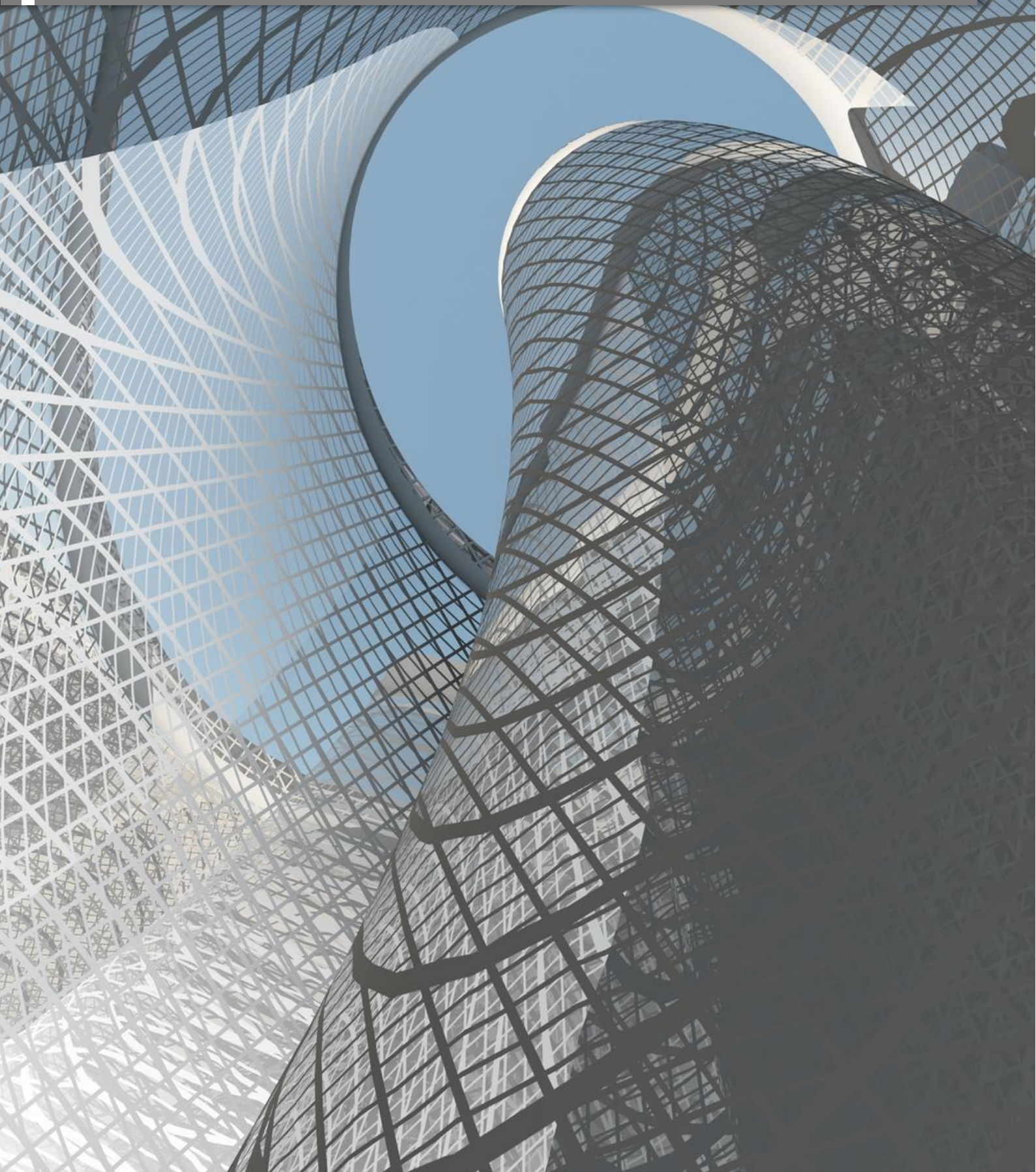
Le système permet d'améliorer le confort d'été en abaissant la température ressentie grâce au déplacement d'air. L'installation doit être bien conçue, de manière à obtenir une sensation de brise favorable au bien-être en fournissant une vitesse d'air suffisante sans être trop élevée ce qui pourrait être désagréable.

Un couplage est possible avec le rafraîchissement adiabatique, une façade bio climatique et des ombrages.



Crédit image : [Bluetek](#)

Exemples d'initiatives et d'expériences



❖ L'habitat Social Positif / TERREAL

Il s'agit d'un projet de construction des premières maisons HLM labélisées « Bepos Effinergie 2013 »²⁰ en France : maisons qui consomment moins d'énergie qu'elles n'en produisent avec des matériaux durables, fabriqués localement, et à un coût maîtrisé.

Leur disposition a privilégié le respect des principes de l'architecture bioclimatique (pièces à vivre au sud) tout en optimisant la surface occupée, pour un habitat dense mais respectueux des attentes d'un logement agréable à vivre.

La brique Monolithe isolée (30 cm d'épaisseur) confère une bonne inertie. Un cloisonnement séparatif de la salle de séjour et des chambres, en briques de terre crue, se trouve dans les deux maisons pour favoriser l'inertie (la brique de terre crue régule le taux d'humidité des pièces et augmente la sensation de confort en été).



Crédit photos : [Construction 21](#) / [Terreal](#)



Pour aller plus loin

Retrouvez plus d'informations sur l'Habitat Social Positif de Terreal dans notre guide « [Qualité de vie et confort pour les occupants – Retours d'expériences : 5 enseignements à retenir](#) »



²⁰ Pour en savoir plus sur les labels Effinergie : <https://www.effinergie.org/web/>

Maison individuelle, basse consommation, et à énergie positive (faisant appel à de la production locale d'énergie renouvelable). Le confort thermique, sanitaire, acoustique, visuel, la modularité et la sécurité sont traités ici.

Une attention a été portée sur l'orientation de la maison sur la parcelle, la récupération des **apports solaires** en hiver et la **minimisation de ceux-ci en été** (orientation des baies vitrées, protections solaires efficaces pour l'été etc.).

Un système de puits canadien couplé à une ventilation double flux avec échangeur thermique est également mis en place.

Dans l'atrium, les 79m² de vitrage choisit, à contrôle solaire, réfléchissent le rayonnement solaire vers l'extérieur et limitent l'impact du rayonnement sur la température intérieure tout en garantissant des apports lumineux conséquent en toute saison.



Crédit photos : [Saint-Gobain](#)



Pour aller plus loin

Retrouvez plus d'informations sur la Maison Multi-Confort de Saint-Gobain dans notre guide [« Qualité de vie et confort pour les occupants – Retours d'expériences : 5 enseignements à retenir »](#)

❖ La Maison Air et Lumière / **VELUX**

En phase de conception, la maison Air et lumière a fait l'objet d'une **attention particulière sur les aspects de l'éclairage naturel, du confort d'été, de l'optimisation de la qualité de l'air intérieur, de la performance énergétique, du pilotage et des économies d'énergie.**

En termes de ventilation, un système associant les avantages de la ventilation mécanique double flux et ceux de la ventilation naturelle ont été prévus : ventilation hybride régulée en fonction du taux de CO₂, de l'hygrométrie et de la température - VMC Double-Flux activée en hiver (limitation des pertes d'énergie) et Ventilation Naturelle + VMC Simple-Flux en inter-saison et en été (ouverture synchronisée des impostes verticales et des fenêtres de toit pour créer un tirage thermique et un rafraîchissement nocturne).

Une gestion automatisée des besoins de chauffage, de ventilation et de protection solaire a également été mise en place, par relevés d'informations de confort intérieur CO₂ et lumières, ainsi qu'une station météo qui anticipe les facteurs extérieurs.

Enfin, des éléments de protections solaires ont été installés afin de maximiser les effets des techniques de rafraîchissement passif au vu du ratio élevé de baies vitrées (33% par rapport à la surface habitable).



Crédit photos : [Velux](#)



Pour aller plus loin

Retrouvez plus d'informations sur la Maison Air et Lumière de Velux dans notre guide [« Qualité de vie et confort pour les occupants – Retours d'expériences : 5 enseignements à retenir »](#)

Sur le **quartier bas carbone Atlantech de La Rochelle (site pilote européen dans les domaines de l'éco-construction, de l'efficacité énergétique et de la mobilité douce)**, une ancienne halle militaire de 6 000m² a été réhabilitée pour devenir une plateforme d'innovation technologique.

Ce bâtiment est un démonstrateur qui intègre [plus de 16 produits et matériaux innovants](#) contribuant à l'efficacité énergétique. L'objectif du projet était de faire la démonstration que l'on peut atteindre 25 kWhEP/(m².an) dans des opérations de rénovation en maîtrisant le processus sur toute la chaîne de valeur.

En termes de confort d'été, on y retrouve une gestion optimisée des apports solaires avec des solutions de vitrage à contrôle solaire, associées à des protections solaires intelligentes, ou encore des brises soleil mobiles permettant de stopper le rayonnement et l'éblouissement en forte période d'ensoleillement.

Une membrane d'étanchéité réfléchissante est également installée, permettant à la toiture de rester plus froide, et réduisant ainsi la quantité de chaleur transmise dans le bâtiment.



Crédit photos : [Tipee](#)



Siège social de l'Institut de Transition Energétique et Environnementale NOBATEK/INEF4, ce bâtiment tertiaire performant, à usage de bureau et de recherche, situé à Anglet (Sud-Ouest) n'est pas équipé en climatisation, mais est axé sur une **démarche passive et donc fortement bio-climatique**. Lors de sa conception en 2009, cette construction consommait la moitié de ce que consommait un bâtiment similaire à l'époque.

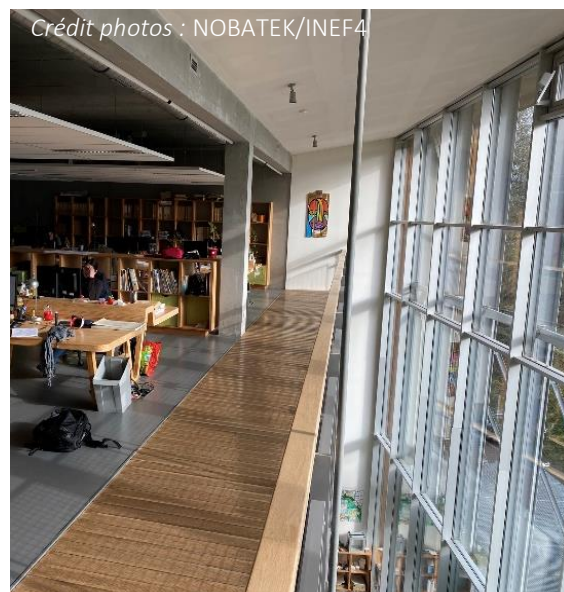


Afin de garantir une **grande qualité de lumière naturelle**, le bâtiment possède de grandes surfaces vitrées sur sa façade Sud. Le confort d'été est garanti par la protection des effets du rayonnement solaire : plusieurs solutions ont donc été couplées. Parmi elles, et de manière non exhaustive, on peut noter :

- des **avancées de toit** qui permettent de générer des masques sur la partie supérieure de la façade ;
- des **stores en toile ajourée** assurent également cette protection solaire, sans limiter pour autant les effets de la lumière naturelle ;
- un **caillebotis ajouré** sur la partie inférieure vient compléter le dispositif et participe au confort en limitant le rayonnement solaire et les effets de réverbération ;
- les **vitrages** utilisés, **faiblement émissifs**, permettent une diminution de la transmission de la chaleur par rayonnement, et contribuent, en synergie avec les autres solutions, à limiter l'usage de la climatisation.

Selon la différence de hauteur solaire entre l'hiver et l'été, ces protections permettent de **bénéficier à la fois des effets positifs du rayonnement solaire l'hiver, et de protéger l'intérieur du bâtiment contre les surchauffes dues au rayonnement sur les parois vitrées l'été**.

Par ailleurs, le bâtiment dispose d'un **atrium ouvert** mettant en connections tous les étages du côté Sud, et **favorise un tirage naturel** par des ouvrants placés en partie supérieure (avec des amenées d'air en partie basse). L'atrium est ainsi déchargé de sa chaleur et contribue pleinement au confort des occupants.



Enfin, l'**inertie thermique**, grâce à des **parois lourdes**, est favorisée avec des planchers béton non recouverts, des parois béton sur les façades Nord, Est, et Ouest qui disposent d'une isolation thermique par l'extérieur. Une **toiture végétalisée** finalise cet ensemble.

MCP FLEX est un **système de rafraîchissement d'air expérimental** développé sur la base des **matériaux à changement de phase** (MPC). Il s'agit d'une solution semi-passive qui exploite, en période chaude, l'amplitude thermique journalière associée à la capacité physique absorption / restitution des matériaux à changement de phase :

- Le changement de phase vise à stocker une grande quantité d'énergie par unité de volume, permettant ainsi de concevoir un système compact (*Par exemple la paraffine permet de stocker environ 10 fois plus d'énergie que l'eau en passant de 26°C à 31°C*).
- Le MCP change de phase sur une plage de température étroite : on peut alors s'en servir pour stabiliser la température au sein d'un bâtiment et éviter sa surchauffe.

La fraîcheur nocturne est ainsi stockée de telle manière à être réutilisée pour rafraîchir dans la journée. La quantité, comme le type, de MCP peuvent être ajustés pour s'adapter aux conditions climatiques.

Le système a été mis en œuvre en le couplant à une CTA (Centrale de Traitement de l'Air) sur un bâtiment tertiaire (bureaux) occupé par l'Institut de Transition Énergétique et Environnementale NOBATEK/INEF4 à Talence.

Le MPC est conditionné dans des tubes, permettant un stockage des apports de chaleur excédentaires du bâtiment durant la journée : l'air chaud intérieur extrait, traverse le système cédant ainsi sa chaleur aux MCP qui fondent, puis l'air est renvoyé vers l'intérieur.

Lors de la régénération dans la nuit, si la température extérieure est inférieure à la température de cristallisation du MCP, la chaleur stockée est relâchée vers l'extérieur. Le système intégré dans une armoire métallique permet aujourd'hui de rafraîchir une salle de réunion et des bureaux pour une surface d'environ 80 m².



Crédit photos : [NOBATEK/INEF4](#)

❖ VMI® PUREVENT et HYDRO'R® sur sonde géothermique



Dans le cadre du programme d'expérimentation **COMEPOS**²¹, une maison TRECOCAT est équipée d'une **sonde géothermique basse profondeur**. En été, cette sonde fait circuler de l'eau naturellement rafraîchie dans un plafond THERMACOME et dans l'HYDRO'R® de la VMI® PUREVENT afin d'améliorer le confort des occupants.

Elle participe également au confort des occupants grâce à l'HYDRO'R®, un échangeur eau – air qui peut être intégré dans la VMI® PUREVENT. L'HYDRO'R® permet de rafraîchir (ou chauffer) l'air insufflé dans le logement en utilisant le circuit hydraulique central.



Dans le cadre du programme d'expérimentation cette solution est testée avec un plafond comme émetteur²².



Crédit images : [Ventilairsec](http://www.ventilairsec.com)

²¹ Conception et construction de Maisons à Energie Positive : Programme d'expérimentation à l'initiative de l'ADEME visant à construire des maisons à haute efficacité énergétique et à haute qualité d'environnement intérieur (qualité d'air et confort thermique notamment).

²² « TRECOCAT lance un projet innovant de rafraîchissement de la maison en climat chaud », COMEPOS, <http://www.comepos.fr/index.php/a-propos-de-comepos/actualites/113-trecocat-lance-un-projet-innovant-de-rafraichissement-de-la-maison-en-climat-chaud>

Exemples de solutions en conditions extrêmes

Contrairement aux idées reçues, **adapter le bâtiment à des conditions climatiques que l'on juge « extrêmes » est possible !**

Des solutions et technologies, expérimentales ou non, nous prouvent qu'une bonne connaissance de l'environnement permet d'allier des solutions techniques et architecturales appropriées.



C'est l'exemple du [projet d'habitat solaire innovant « Baitykool »](#), porté par un consortium dont faisait partie l'ITE NOBATEK/INEF4, et qui a représenté la France au Solar Decathlon Middle-East 2018. Cette édition 2018 visait à définir des prototypes d'habitat en climat chaud, en tenant compte de l'architecture bioclimatique afin de respecter le climat et les traditions locales.

Réalisée à Dubaï, la maison à énergie solaire Baitykool avait pour objectif de **pouvoir abriter quatre personnes avec une température intérieure entre 21°C et 25°C, dans un environnement où la température peut atteindre 50°C le jour et 30°C la nuit.**

Ce projet a pris en compte :

- Une **maximisation des ouvertures** sur un patio central et minimisation des ouvertures de la façade extérieure pour limiter les apports de chaleur ;
- **L'installation d'une pergola** pour se protéger du soleil (intégrant également des panneaux solaires) ;
- L'intégration de techniques de rafraîchissement passif : **toiture végétale, orientation du bâtiment vers le nord** afin d'utiliser la ventilation naturelle la nuit et installation de panneaux de radiation par le ciel « exploitation du « froid » de la voûte céleste), intégration également du cycle de l'eau.



Crédit photos : [Baitycool](#)

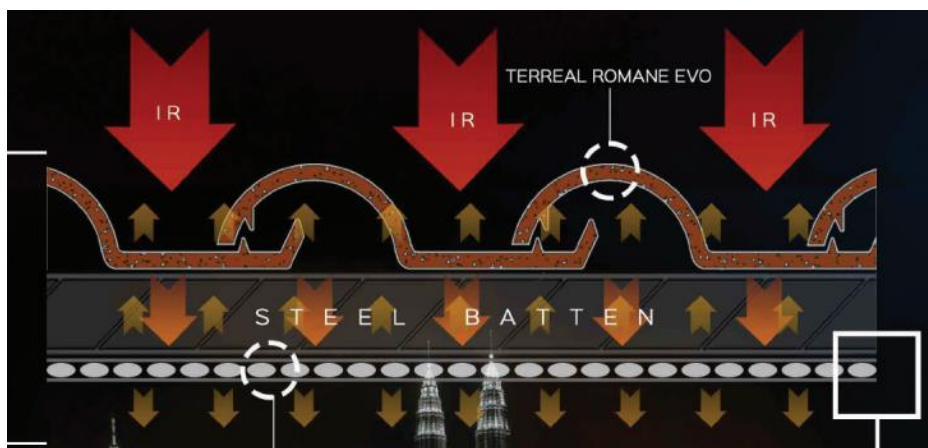
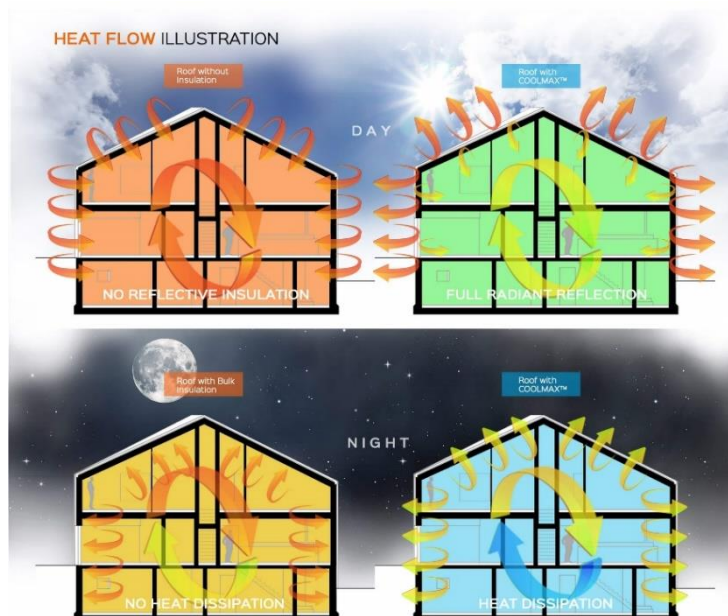
Selon notre lieu d'habitation, nous ne sommes pas soumis aux mêmes intensités de températures. Ainsi, certains pays doivent composer de manière régulière avec de forts degrés de chaleur, que l'on pourrait considérer comme extrêmes de notre point de vue métropolitain.

C'est particulièrement le cas des pays tropicaux où 75% de la chaleur passe par le toit, et jusqu'à 93% de la transmission de chaleur s'effectue par rayonnement. Les effets de la chaleur ressentie sont donc particulièrement importants et peuvent constituer une grande source d'inconfort au sein des habitats.

Des solutions existent déjà pour lutter contre ces effets ; solutions dont la France (et les pays occidentaux de façon plus générale) **pourraient s'inspirer dans les années à venir pour lutter contre les vagues de chaleur** qui commencent à s'installer et qui, in fine, pourraient bien procurer les mêmes sensations d'inconfort que celles perçues sous des climats tropicaux.

Ainsi, en Malaisie, l'isolant thermique réfléchissant « **CoolMax** » de **Terreal** (positionné sous les tuiles) est destiné à réfléchir la chaleur du jour, en :

- Réduisant l'effet de la chaleur pendant la journée (la technologie est conçue pour bloquer 97% de la chaleur de rayonnement entrante) ;
- Dissipant la chaleur accumulée pendant la nuit.



Crédit images : [Terreal](https://www.terreal.com)

Pour aller plus loin

ADIVET, Association des toitures végétales : <http://www.adivet.net/>

« Le bâtiment au cœur de la lutte contre le changement climatique », FFB :
<https://www.batirpourlaplanete.fr/message/le-batiment-au-coeur-de-la-lutte-contre-le-changement-climatique/>

« Mesurer les risques d'exposition au changement climatique » - Outil Bat-Adapt, Observatoire de l'Immobilier Durable : <https://www.taloen.fr/bat-adapt>

« Les scénarios du GIEC », Météo France : <http://www.meteofrance.fr/climat-passe-et-futur/le-giec-groupe-dexperts-intergouvernemental-sur-levolution-du-climat/les-scenarios-du-giec>

« Vous avez chaud ? La ville aussi ! » – Les fiches de l'été pour le confort d'été urbain, FNCCR :
<http://www.fnccr.asso.fr/article/vous-avez-chaud-la-ville-aussi-les-fiches-de-lete-de-la-fnccr-pour/>

« Fiche aléa – Vague de chaleur », Observatoire de l'Immobilier Durable, Mars 2020 :

https://resources.taloen.fr/resources/documents/3027_200312_OID_Bat-ADAPT_Fiche_alea_Vague_de_chaleur.pdf

« Climatisation du futur : refroidir sans réchauffer la planète », ADEME, 2018 :

https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/ademe_lalettre_recherche_22_web.pdf

Les guides Bio-Tech – « Confort d'été passif », ICEB AERENE, 2014 :

https://www.institutparisregion.fr/fileadmin/DataStorageKit/AREC/Etudes/pdf/guide_bio_tech_confort_d_ete_passif.pdf

BD « Rester cool, la fraîcheur sans clim - Confort thermique en climat chaud », Ordre des architectes, 2019 : https://www.architectes.org/sites/default/files/atoms/files/confort_sans_clim_cor2.pdf

« Etude numérique du potentiel de rafraîchissement des techniques de réduction des îlots de chaleur urbain (ICU) sous climat méditerranéen » / Page 29, Jeff Fahed, Février 2019 : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-02003346/document>

« Diagnostic de la surchauffe urbaine, Méthodes et applications territoriales », ADEME, septembre 2017 :
https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/diagnostic_de_la_surchauffe_urbaine-ademe_ils_l_ont_fait_recueil_bd_010307.pdf

« Les Îlots de chaleur Urbains », Institut D'Aménagement et d'Urbanisme, Novembre 2010 :
https://www.iau-idf.fr/fileadmin/NewEtudes/Etude_774/Les_ilots_de_chaleur_urbains_REPERTOIRE.pdf

Dossier « Demain sera plus chaud », Cahiers Techniques du Bâtiment n°379, Juin 2019 :
<https://www.cahiers-techniques-batiment.fr/article/confort-d-ete-et-changement-climatique.41440>

« Les matériaux d'isolation », FAIRE Info Energie : <http://www.info-energie-paysdelaloire.fr/vos-travaux/isolation/materiaux-isolation/>

« Confort d'été et réduction de surchauffes, 12 enseignements à connaître », AQC, 2019 :
https://www.envirobatbdm.eu/sites/default/files/2019-07/aqc_rapport_confort_ete_v9_bd.pdf

« Refroidissement d'air adiabatique : confort d'été sans climatisation », XPair, Mars 2020 :
https://conseils.xpair.com/consulter_parole_expert/refroidissement-air-adiabatique-confort-sans-climatisation.htm

« Garder son logement frais en période de forte chaleur », ADEME, 2019 :
<https://www.ademe.fr/particuliers-eco-citoyens/habitation/bien-gerer-habitat/garder-logement-frais-periode-forte-chaleur>

« The 9 foundations of a healthy building », Harvard School, Septembre 2016 :
http://forhealth.org/Harvard.Building_Evidence_for_Health.the_9_Foundations.pdf

« Verdir les villes pour la santé de la population », Institut National de Santé Publique du Québec, Mars 2017 :
https://www.inspq.qc.ca/sites/default/files/publications/2265_verdir_villes_sante_population.pdf

« Les bienfaits du végétal en ville », Cité Verte, Février 2014 : https://www.valhor.fr/fileadmin/A-Valhor/Valhor_PDF/CiteVerte_BienfaitsVegetalVille2014.pdf

Nature 4 ities : <https://www.nature4cities.eu/>

Étude « Les espaces verts urbains : lieux de santé publique, vecteurs d'attractivité économique », Nicolas Bouzou, Les entreprises du paysage, Mai 2016 :

<https://www.lesentreprisesdupaysage.fr/base-documentaire/etude-bouzou/>

« Rafraîchissement urbain et confort d'été – lutter contre les canicules », Guillaume Perrin, Dunod, Septembre 2020.

Publications et analyses



« Améliorer la qualité de vie et le confort des habitants : 5 enseignements à retenir », Cercle Promodul / INEF4, Avril 2020 : <https://cercle-promodul.inef4.org/ameliorer-qualite-vie-confort-occupants-enseignements/>

« Comment limiter la hausse des températures l'été dans nos habitats sans aggraver le réchauffement climatique ? », Cercle Promodul / INEF4, 2020 : https://cercle-promodul.inef4.org/comment-limiter-hausse-temperatures-ete-habitats-sans-aggraver-rechauffement-climatique/#_ftn6

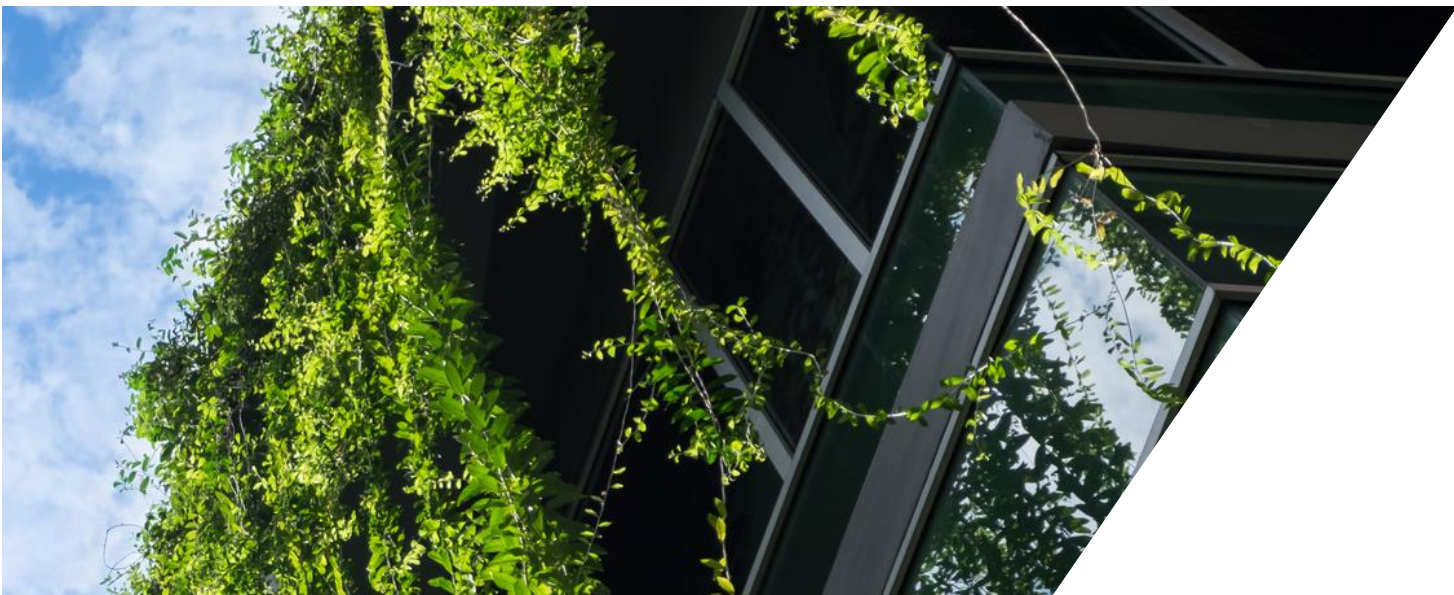
« Le confort dans l'habitat, nécessité ou luxe ? », cercle Promodul / INEF4, 2019 : <https://cercle-promodul.inef4.org/publication/le-confort-dans-lhabitat-necessite-ou-luxe/>

Remettre la nature au cœur de la ville », Cercle Promodul / INEF4, 2019 : <https://cercle-promodul.inef4.org/remettre-la-nature-au-coeur-de-la-ville/>

« Réchauffement climatique, canicule : comment prévenir les « bulles » de chaleur urbaines ? », Cercle Promodul / INEF4, 2019 : <https://cercle-promodul.inef4.org/publication/rechauffement-climatique-canicule-bulles-chaleur-urbaines/>

Testez et améliorez vos connaissances sur le sujet grâce à notre outil numérique !

Confort d'été et adaptation des bâtiments au réchauffement climatique : tendre vers le rafraîchissement passif : <https://lab.cercle-promodul.inef4.org/tool/confort-dete-et-adaptation-des-batiments-au-rechauffement-climatique-tendre-vers-le-rafraichissement-passif>



Fonds de dotation Cercle Promodul / INEF4
Les Collines de l'Arche - Immeuble Opéra E
92057 Paris La Défense Cedex

Suivez-nous !



<https://cercle-promodul.inef4.org/>