

AMÉLIORER LE CONFORT D'ÉTÉ EN LOGEMENTS COLLECTIFS

Des solutions techniques



AMÉLIORER LE CONFORT D'ÉTÉ EN LOGEMENTS COLLECTIFS

Des solutions techniques



Collection

« Les références »

Cette collection regroupe l'ensemble des documents de référence portant sur l'état de l'art dans les domaines d'expertise du Cerema (recommandations méthodologiques, règles techniques, savoir-faire, etc.), dans une version stabilisée et validée. Destinée à un public de généralistes et de spécialistes, sa rédaction pédagogique et concrète facilite l'appropriation et l'application des recommandations par le professionnel en situation opérationnelle.

Cet ouvrage est une œuvre collective réalisée par le Cerema sous la maîtrise d'ouvrage de l'Union sociale pour l'habitat avec les contributions de :

- Karine Jan, responsable du service bâtiment durable, Cerema.
- Yvain Maunier, ingénieur bâtiments durables, Cerema.
- Romuald Jobert, responsable d'études adaptation changement climatique et bâtiment, Cerema.
- Didier Meaux, chef de projet environnement et énergie, Cerema.

Sont remerciés les membres du comité de pilotage :

- Véronique Velez, responsable du département innovation et prospective, direction de la Maîtrise d'ouvrage et des politiques patrimoniales de l'union sociale pour l'habitat.
- Pierre Frick, adjoint au directeur, direction de la Maîtrise d'ouvrage et des politiques patrimoniales de l'union sociale pour l'habitat.
- Baptiste Sion, chargé d'études économiques, direction des prêts, Banque des Territoires.

Comment citer cet ouvrage :

Cerema. *Améliorer le confort d'été en logements collectifs.*

Des solutions techniques

Lyon : Cerema, 2025.

Collection : Les références.

ISBN : 978-2-37180-727-3 (pdf)

Sont remerciés pour leurs relectures et contributions :

- CISN, Franck Gourde, directeur technique et Innovation.
- COOPARTOIS, Joseph Matraja, directeur opérationnel.
- CÔTE D'AZUR HABITAT, Guillaume Curtelin, chef de service production Anru.
- GIRONDE HABITAT, Rémi Poujardieu, thermicien.
- GROUPE VALOPHIS, Jean-Philippe Boachon, directeur du développement durable et de l'innovation.
- GROUPE 3F, Patrick Peposi, coordinateur de la politique technique Groupe et Cécile Oechsner de Conninck, cheffe de projet DAD, Architecture et développement durable.
- LE FOYER STEPHANAIS GROUPE VYV, Amandine Limare, chargée d'opérations travaux neufs et Pierre Monfort, responsable maintenance.
- LOIR ET CHER LOGEMENT, Samuel Boureau, responsable Patrimoine & développement.
- PAS-DE-CALAIS HABITAT, Stéphane Pommery, directeur de l'immobilier et du foncier.
- SARTHE HABITAT, Pierre Dezille, technicien énergie service maintenance.
- TOULOUSE MÉTROPOLE HABITAT, Thomas Pichenot, directeur du développement et de la construction et Nadège Faillie, responsable opérationnel de la direction du développement et de la construction.

Sommaire

Introduction	6
CHAPITRE 1	
Aménager	9
1.1 Espaces végétalisés et zones humides	10
1.2 Matériaux et sols	15
CHAPITRE 2	
Protéger	23
2.1 Inertie et isolation	24
2.2 Masques architecturaux	26
2.3 Occultation des baies vitrées	30
2.4 Traitement des toitures : Albédo, végétalisation et panneaux solaires	38
2.5 Traitement des vitrages	42
2.6 Ventilation mécanique double flux	45
CHAPITRE 3	
Rafrâichir	49
3.1 Brasseur d'air	50
3.2 Logements traversants	54
3.3 Ventilation naturelle	57
Annexes	61
Table des exemples	62
Table des figures et tableaux	63
Table des matières	64

Introduction

L'adaptation des bâtiments face aux risques et évolutions climatiques constitue un enjeu majeur pour les décennies à venir. Le Cerema, acteur de référence dans l'accompagnement des territoires face aux défis environnementaux et en particulier à l'adaptation au changement climatique, présente dans ce document un panorama des solutions techniques permettant de réduire les risques de surchauffe dans l'habitat collectif, en particulier dans le logement social, dans un contexte d'intensification des périodes caniculaires, des effets des îlots de chaleur..., qui pousse désormais à agir pour le bâti existant et à prévenir pour les bâtiments neufs.

Les retours d'expérience des bailleurs sociaux montrent que la prise en compte du risque de surchauffe reste un défi technique et financier, souvent sous-estimé par les occupants et les acteurs de la maîtrise d'ouvrage. La thermique des bâtiments en climat chaud présente des spécificités complexes, fonction autant des caractéristiques du bâti que des pratiques des habitants (gestion des occultations, habitudes d'aération, etc.) en lien avec leur environnement (bruit, insécurité, pollution).

Afin d'accompagner les acteurs du logement, ce guide présente les solutions techniques mobilisables, aussi bien pour la construction neuve ou pour la rénovation des bâtiments, et informe sur leur rapport coût/efficacité pour la maîtrise de la surchauffe. Il s'articule autour de trois axes d'intervention :

- Aménager : adapter l'environnement du bâti pour améliorer l'ambiance thermique à proximité et réduire la contribution à l'îlot de chaleur urbaine (ICU) ;
- Protéger des apports thermiques liés à l'ensoleillement en particulier ;
- Rafraîchir en évacuant la chaleur accumulée à l'intérieur du bâtiment.

L'objectif de cette publication est de fournir aux maîtres d'ouvrage des repères pour choisir les solutions les plus pertinentes, comprendre leurs conditions d'application et anticiper leur coût et leur efficacité. La démarche s'est appuyée sur l'expertise et l'expérience partagées du Cerema et d'organismes bailleurs, sur les références réglementaires (notamment la Réglementation Environnementale RE2020), et sur des cas concrets. De façon complémentaire, l'outil d'aide à la décision RITE (Risque d'Inconfort Thermique d'Été) développé en parallèle par le Cerema permet un calcul de résultat de confort sur la base des éléments descriptifs d'un projet.

En croisant approche scientifique, retours d'expérience et pragmatisme, ce guide entend faciliter l'évolution des pratiques dans la construction et la réhabilitation, pour des bâtiments plus résilients face aux vagues de chaleur plus intenses que nous rencontrons aujourd'hui et rencontrerons demain.

Ces solutions sont classées en trois catégories :

- agir sur l'ambiance thermique extérieure (aménager) ;
- agir sur les apports de chaleur (protéger) ;
- agir pour le rafraîchissement (rafraîchir).

La présentation des solutions aborde le niveau d'efficacité que l'on peut en attendre et les contextes favorables à leur fonctionnement, pour une application ciblée d'usage résidentiel en bâtiment collectif. Elle permet de distinguer leur applicabilité en situation de rénovation et en construction neuve.

Les questions représentatives d'acceptabilité sociale des solutions ou de contraintes pesant sur l'exploitation sont prises en compte.

Les spécificités locales ne sont pas abordées dans toutes leurs composantes, mais les différences d'approche selon les contextes climatiques (Nord / Sud, urbain contraint, milieu favorable) font partie de l'analyse.

Une appréciation du coût de mise en œuvre des solutions techniques est réalisée (classement de faible à élevé), et l'existence d'un coût ultérieur notable de maintenance ou d'exploitation est mentionnée le cas échéant.

Enfin une illustration par quelques réalisations exemplaires complète ce panorama de solutions techniques.



CHAPITRE 1

Aménager

AMÉNAGER

L'implantation du bâtiment dans son environnement, son orientation et sa protection contre le rayonnement solaire, mais aussi l'accès au vent et à la ventilation naturelle, la création d'ombrages, le recours à la végétalisation, sont des éléments à prendre en compte pour favoriser les îlots de fraîcheur.

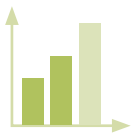
Il est important de raisonner à l'échelle du bâtiment ou de la résidence dans son environnement. Les modèles de calculs conventionnels ne tiennent pas compte de ce niveau, et sont basés sur des données au logement ou au bâtiment.

1.1 ESPACES VÉGÉTALISÉS ET ZONES HUMIDES

Le confort thermique intérieur est influencé par l'ambiance thermique extérieure, et donc par les aménagements extérieurs. Un des tous premiers paramètres est la présence de végétation. On constate par exemple que les zones les plus fraîches sont celles où la végétation est omniprésente, avec des contrastes parfois importants en quelques mètres. À l'échelle de la ville, cela contribue à atténuer l'effet d'îlot de chaleur urbain (ICU). Avec la végétation, l'eau est aussi une précieuse alliée dans l'amélioration du confort d'été en extérieur. Par évaporation, brumisation, ou simplement par contact, elle permet aux individus de se rafraîchir et rend l'espace plus attractif.

L'amélioration de l'ambiance extérieure ne se traduit pas par une évolution équivalente du confort intérieur des logements, mais contribue à accroître leur potentiel de rafraîchissement ainsi qu'à la gestion des situations d'inconfort.

La présence d'arbres de haute tige aux abords des bâtiments contribue directement à la maîtrise des apports solaires dans les logements des étages bas.

Importance	Cible		Incidence financière
			

Deux principaux phénomènes expliquent l'impact de la végétation sur le confort thermique : l'ombrage qu'elle crée sur les bâtiments et les individus, les protégeant ainsi des rayons du soleil, et les phénomènes d'évapotranspiration, dépendants de la quantité d'eau dans le sol et des espèces végétales (Figure 1). L'efficacité de l'effet des arbres dépend de plusieurs paramètres, densité de plantation, densité du feuillage, essences, disponibilité en eau, mais aussi revêtement de sol au pied de l'arbre, qualité du sol...

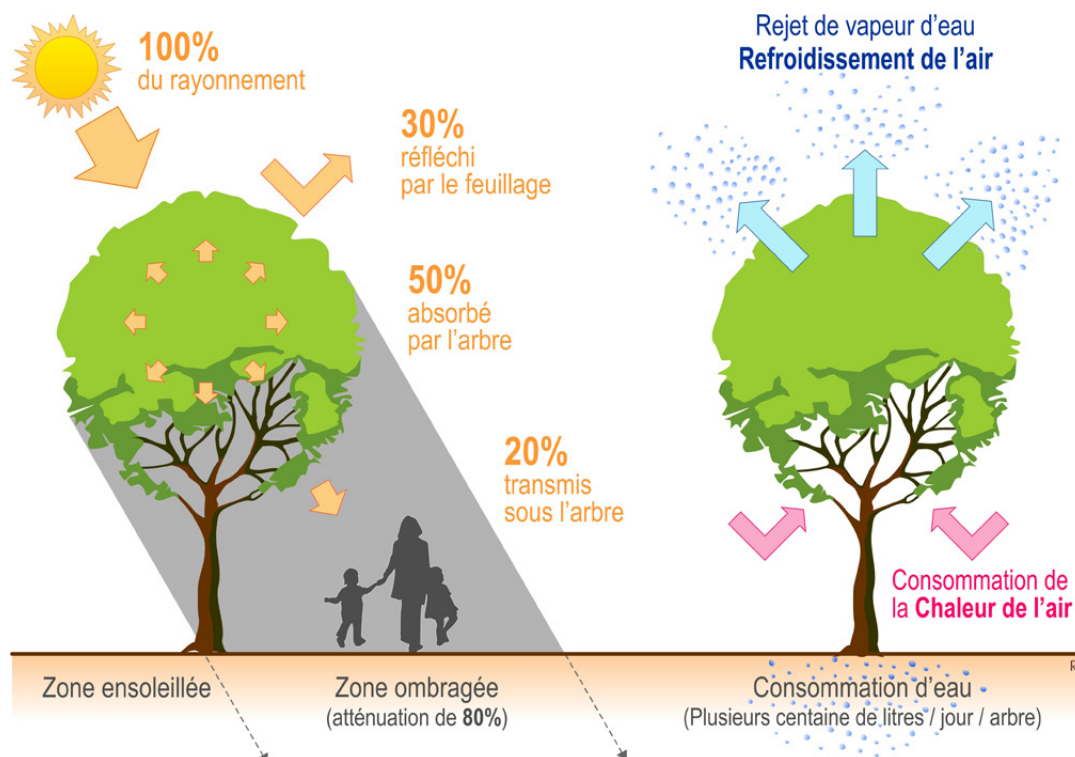


Figure 1 : Effets des arbres sur le confort thermique et l'ICU

(D'après Apur, 2014 - Adaptation Cerema R. Jobert).

L'eau est donc un paramètre important de l'effet de refroidissement de la végétation : la couverture végétale en dépend et elle conditionne l'évapotranspiration. Dans ce processus, l'eau est directement facteur de refroidissement, grâce au processus de changement de phase : lorsque l'eau passe de l'état liquide à l'état gazeux, elle consomme une partie de l'énergie thermique présente dans son environnement et fait ainsi baisser la température de l'air.

L'abaissement des températures extérieures influe sur le confort intérieur des logements, par l'élargissement des plages horaires dans lesquelles les fenêtres pourront être ouvertes en journée, et par le surcroît d'efficacité du rafraîchissement nocturne.

La plantation d'arbres de haute tige aura un effet direct sur les bâtiments par les masques qu'elle apporte aux baies et parties de façades impactées. Cet effet est à rapprocher de celui des protections solaires et masques architecturaux. Les principes du bio climatisme, visant un optimum pour toutes les saisons, conduisent à privilégier les arbres à feuilles caduques.

Outre les effets de rafraîchissement, la végétalisation et l'eau peuvent permettre de créer un cadre de vie agréable et de renforcer les liens sociaux entre les habitants, mais aussi à l'échelle du quartier. L'intégration de la végétation a ainsi vocation à être abordée dans une approche systémique.

1.1.1 - CHAMP D'APPLICATION

La végétalisation est pertinente quelle que soit la localisation géographique, sous réserve d'un choix adapté des essences, qui doit être adapté au contexte et au niveau des attentes en matière de confort d'été comme de confort visuel.

Il est en effet primordial de prendre en considération le microclimat local (températures ambiantes et extrêmes potentielles, précipitations, ensoleillement, contraintes urbaines...), les caractéristiques du sol et l'évolution possible des aléas climatiques. Ne pas le faire peut induire une surmortalité des plantes ou à une forte réduction des services écosystémiques attendus : la capacité des arbres à rafraîchir peut varier d'un facteur 1 à 4 selon l'espèce et l'environnement (*Marry et al., 2021*). Favoriser une diversité d'espèces contribue également à la résilience.

La consommation d'eau des espèces est, pour les raisons expliquées plus haut, un critère important. La gestion des eaux pluviales et leur récupération est donc aussi un élément à prendre en considération.

1.1.2 - L'OMBRAGE DES ARBRES

La végétalisation haute (les arbres) peut être mise à profit pour faire de l'ombrage sur les espaces extérieurs, mais aussi sur les façades exposées des bâtiments. Une implantation d'arbres proches à l'ouest/sud-ouest permettra de minimiser les apports solaires du bâtiment en été tout en les autorisant en hiver pour espèces à feuilles caduques. La présence d'arbres permettra aussi de limiter l'échauffement des matériaux du bâtiment et des espaces publics et ainsi d'abaisser la température ambiante extérieure et de contribuer à limiter le phénomène d'îlot de chaleur urbain. À l'échelle de la rue, les effets de rafraîchissement maximaux d'arbres d'alignement ont été évalués de 2 à 3°C sur la température d'air dans des rues (*Marry et al., 2021*).

1.1.3 - LES ESPACES VÉGÉTALISÉS

La végétalisation plus globale des espaces est un levier, pour agir sur le phénomène d'ICU*, sur le confort extérieur et sur le cadre de vie. De nombreuses études ont évalué l'impact d'un parc ou d'une végétalisation à large échelle. À l'échelle locale, un sol enherbé ne modifie pas beaucoup le confort thermique dans un espace dégagé en journée ; en revanche, il permet de limiter le stockage de chaleur et ainsi l'échauffement nocturne. L'association de 2 strates végétales, couvrante au sol et arborée, est d'une bonne efficacité surtout aux abords immédiats du bâtiment (les 3 premiers mètres).

Ainsi, à l'échelle du projet de bâtiment, on veillera en particulier :

- à limiter l'imperméabilisation des stationnements extérieurs même lorsque les exigences locales d'urbanismes sont faibles ;
- à rechercher chaque fois que possible des solutions de mutualisation des espaces de stationnement permettant de redonner de la place pour des espaces végétalisés
- à récupérer et réutiliser sur place les eaux de pluies pour l'alimentation en eau des végétaux ;
- à prendre en compte les masques solaires créés par les plantations, aussi bien du point de vue du confort d'été que du confort d'hiver.

1.1.4 - LES ZONES D'EAU

L'usage de l'eau en période estivale fait l'objet d'une tension croissante et conduit parfois à des restrictions et il convient d'y être attentif. Il s'agira en particulier de mettre à profit les eaux pluviales, via par exemple des systèmes de récupération des eaux au niveau des bâtiments. L'effet des points d'eau et systèmes à eau de dimension modeste (fontaines, jets d'eau, bassins et retenues, brumisateurs) est très localisé.

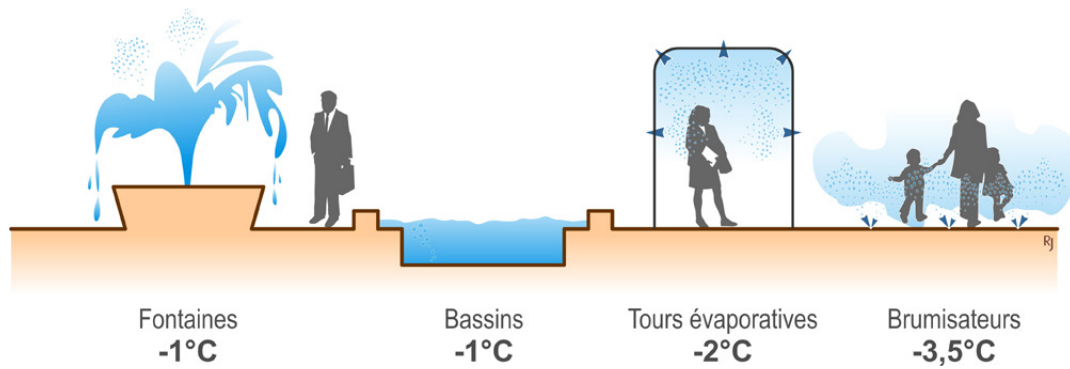


Figure 2 : Rafraîchissement localisé moyen relevé

(Marry et al., 2021 d'après Santamouris et al., 2017 - Adaptation Cerema R. Jobert).

Les installations avec mises en mouvement de l'eau (jeux d'eau, fontaines...) améliorent l'effet d'évaporation et ont donc un impact plus important que des masses d'eau immobiles. Elles peuvent également contribuer, comme la végétalisation, à améliorer le cadre de vie et à renforcer les liens sociaux des habitants et peuvent relever de l'échelle du quartier.



RE 2020

Lien avec le calcul d'inconfort

L'effet d'îlot de chaleur urbain n'est pas encore pris en compte par la réglementation. Les fichiers météo, données d'entrées des calculs, sont construits à partir des mesures de stations météorologiques situées loin des centres urbains (souvent à proximité d'aéroports).

Ainsi l'effet ICU augmente le risque d'inconfort au-delà de l'indication fournie par les calculs réglementaires.

La présence de masques végétaux vis-à-vis du bâtiment est prise en compte.



ASPECT FINANCIER

Rapportée au coût d'une opération de construction, la bonne prise en charge de la végétalisation des abords ne représente pas un coût élevé, mais requiert des compétences en ingénierie. Les coûts d'entretien doivent par contre être anticipés. Lors d'une réhabilitation, intervenir sur l'environnement du bâti requiert un budget spécifique notable. L'enjeu de la reprise des espaces extérieurs sera parfois placé au second plan par rapport à celui de la réponse aux attentes portant sur les logements. Les arguments présentés plus haut peuvent contribuer à soutenir une vision plus globale. Lorsque un projet de requalification urbaine met l'accent sur la revalorisation des espaces un financement adapté sera en principe alloué. Les espaces d'eau peuvent représenter un coût plus important, nécessitant d'éventuels locaux techniques, des raccordements aux réseaux. Leur installation fera le plus souvent appel à une coopération avec la collectivité.



POINTS DE VIGILANCE

Efficacité :

- Impact extérieur faible pour un traitement isolé ou limité, et négligeable pour le confort intérieur ;
- Choix d'essences adaptées.

Sécurité :

- prévenir la chute de branches.

Usage :

- développement possible d'espèces nuisibles en lien avec les espaces d'eau.

Maintenance :

- Taille, tonte, ramassage des feuilles ;
- Arrosage pour une efficacité optimale ;
- Suivi de la qualité de l'eau dans les espaces d'eau ;
- Gestion du risque de gel des installations d'eau en hiver.

POUR ALLER PLUS LOIN

- S'adapter au changement climatique dans la filière construction avec les Solutions d'adaptation fondées sur la Nature (SafN), *Ademe, Guide, 2024*
- Rafraîchir les villes : des solutions variées, *Ademe, Cerema, Tribu, Guide, mai 2021*
- L'arbre, l'essence de la ville – L'outil Sésame pour faire les bons choix, *Cerema, Les cahiers, août 2022*
- Faire de la nature un pilier de la ville de demain, *Cerema, Les essentiels, 2022*
- Végétaliser : agir pour le rafraîchissement urbain, *Ademe, juillet 2020*
- Des solutions fondées sur la Nature pour s'adapter au changement climatique, *Rapport au Premier Ministre et au Parlement, ONERC, La documentation française, 2019*
- Arbres en milieu urbain - Guide de mise en œuvre, *Tree & Design Action Group, mai 2016*
- La ville verte - Les impacts du végétal en ville, *Marjorie Musy Coord., éditions QUAE, 2014*

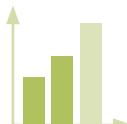
1.2 MATÉRIAUX ET SOLS

Le revêtement des espaces extérieurs et les matériaux utilisés jouent un rôle important dans le phénomène des îlots de chaleur urbains (ICU), en particulier la nuit.

En premier lieu, les espaces extérieurs en ville sont en majeure partie imperméables. Cela empêche les sols de jouer leur rôle dans l'infiltration des eaux de pluie, dans l'absorption de carbone, dans la régulation de la température. En ville, le taux d'infiltration des sols est de 15 % et la quantité ruisselée de 55 %, alors qu'en milieu naturel environ 50 % des eaux de pluie sont infiltrées dans le sol et 10 % ruissellent vers les cours d'eau (Ademe, 2012). Cette imperméabilisation accroît considérablement l'effet d'îlot de chaleur en milieu urbain, impactant alors négativement le confort thermique extérieur.

Pour une surface imperméable, la nature des matériaux utilisés influe sur le stockage et la rediffusion de la chaleur. Un choix judicieux peut permettre de gagner jusqu'à 4°C en température ressentie localement à l'extérieur (Apor, 2014).

L'impact du traitement des espaces sur le confort local extérieur est assez bien documenté, les conséquences sur le confort dans les bâtiments le sont beaucoup moins, mais abaisser la température extérieure nocturne contribue à accroître la capacité de rafraîchissement des logements en lien avec les espaces traités.

Importance	Cible		Incidence financière
			

La désimperméabilisation des sols permet de conserver plus longtemps l'eau sur le terrain. Elle pourra alors limiter la montée en température des revêtements, voire favoriser des phénomènes d'évapotranspiration. Il s'agit également d'une action en lien direct avec la végétalisation : l'eau contenue dans le sol pourra alimenter les espèces végétales, limiter le stress hydrique et donc renforcer les effets rafraîchissants de la végétation (par les phénomènes d'évapotranspiration).

Il est ainsi conseillé de substituer aux surfaces traitées en bitume ou asphalte soit de la pleine terre végétalisée, soit des revêtements perméables sur le pourtour des bâtiments et d'envisager un traitement perméable des zones de stationnement des véhicules.

Les matériaux utilisés auront une contribution plus ou moins importante au réchauffement de l'espace selon deux paramètres : leur capacité de réflexion du rayonnement incident et leur capacité de stockage de la chaleur. La capacité de réflexion du matériau est caractérisée par son albédo. Plus un matériau est clair, plus son albédo est élevé. La capacité de stockage est associée à la densité du matériau. Les surfaces en matériaux lourds à faible albédo (foncés) absorbent donc et accumulent l'énergie solaire la journée, et la restituent la nuit.

Cette accumulation d'énergie et donc l'effet du revêtement sur l'ICU est aussi très lié à la forme urbaine, à la végétation, aux effets de masques... qui déterminent le niveau d'ensoleillement ou la capacité de refroidissement nocturne de l'espace public.

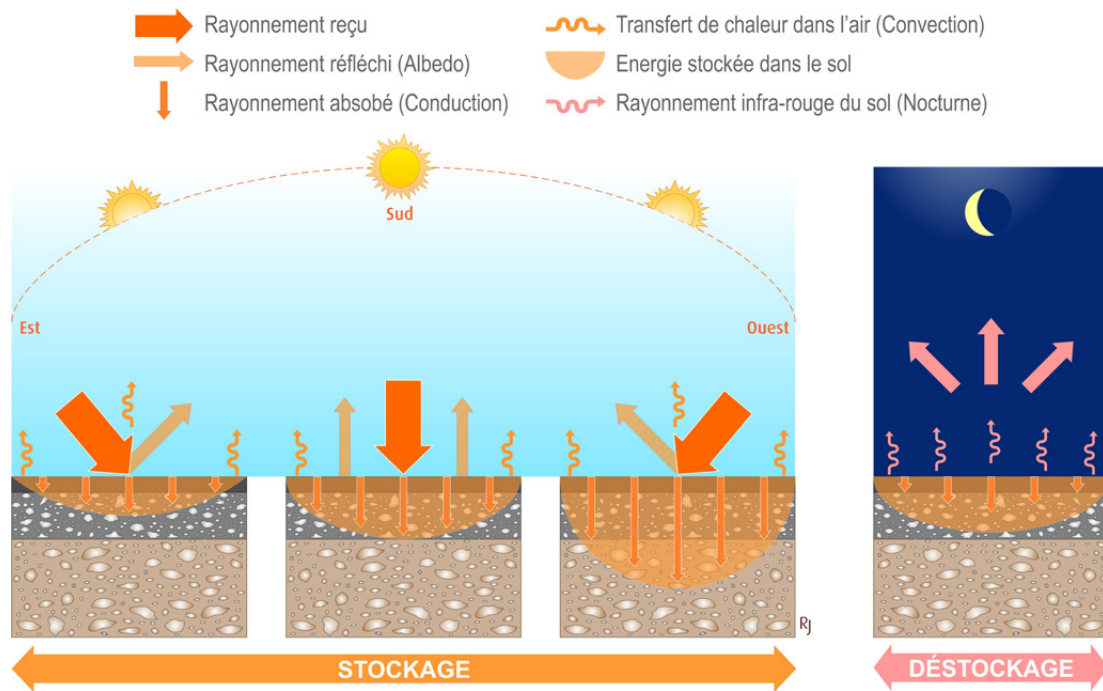


Figure 3 : Cycle de stockage déstockage de l'énergie solaire dans les revêtements de sol

(D'après Apur, 2017 - Cerema adaptation 2021).

1.2.1 - CHAMP D'APPLICATION

L'attention portée au traitement des espaces extérieurs est utile partout, et plus encore lorsque d'autres enjeux sont présents comme la gestion des eaux pluviales et la maîtrise du risque d'inondation. Le bon choix des matériaux de l'espace public sera particulièrement intéressant dans les espaces relativement artificialisés, et où l'ensoleillement est important (conditions climatiques et absence d'ombrage dû au masque d'autres bâtiments ou de végétation).

Cette action est bien sûr complémentaire des autres actions, en particulier celles concernant l'aménagement extérieur et la végétalisation.



RE 2020

Lien avec le calcul d'inconfort

L'albédo des sols étant difficile à prendre en compte (hétérogène par nature), une valeur standard courante de 0,2 est généralement utilisée. Cette donnée n'est pas valorisée par les outils de STD pour qualifier l'ambiance extérieure. De manière générale le microclimat n'est pas considéré par le calcul RE.

En l'absence de modulation de la valeur d'albédo, il n'y a pas non plus d'incidence sur le rayonnement reçu par le bâti.



1.2.2 - SOLUTIONS TECHNIQUES

Permettre l'infiltration de l'eau sur la parcelle

› En utilisant des revêtements drainants

Ces revêtements poreux permettent à l'eau de s'infiltrer dans le sol. On peut citer parmi ces matériaux: le sol stabilisé (mécaniquement ou avec liant), les enrobés poreux, les pavés poreux... (Lin et al., 2007). Par exemple à Taiwan, au moment le plus chaud de la journée, une différence de température de l'air entre un espace en pavés poreux à joints enherbés non arrosés et de l'asphalte de 2,6°C.

Ces matériaux peuvent être couplés à des dispositifs permettant une mise à contribution de l'eau stockée sur la parcelle. C'est par exemple le cas des pavés poreux à rétention d'eau qui favorisent la remontée de l'eau vers la surface. Grâce à un système de récupération d'eau de pluie, de l'eau est injectée dans le lit de pose des pavés à travers des tuyaux d'alimentation goutte-à-goutte. Cette eau peut alors s'évaporer en période de forte chaleur, et ainsi impacter favorablement la température du sol et la température ressentie au-dessus de la zone équipée (réduction de 2 à 3°C, *Le Moniteur*, 2018). Ce type de revêtement est plutôt destiné aux espaces piétons, non carrossables. Ces pavés ont pu être expérimentés à Toulouse (place minérale de 150 m²), à Nice (600 m² au sein du hub multimodal) et à Bordeaux (cours d'école).

› En végétalisant les espaces alentour

La végétalisation est un sujet essentiel qui évoque en premier lieu les parcs ou espace enherbés. Mais la végétalisation peut aussi être appliquée sur les zones de stationnement. Elle peut être combinée avec l'utilisation de matériaux drainants.

› En créant des ouvrages paysagers de gestion des eaux pluviales

Il s'agit ici d'aménager des ouvrages paysagers dédiés à la gestion des eaux pluviales et de promouvoir une gestion de l'eau à la source, au plus près de la surface qui reçoit les précipitations, afin de privilégier une infiltration sur place. Elle s'intègre à la recherche des matériaux adaptés pour les différents espaces. Ces aménagements peuvent créer de véritables milieux humides (temporaires ou permanents) qui favoriseront l'évaporation et l'évapotranspiration des végétaux.

Plusieurs types d'aménagement peuvent être envisagés. Il s'agit par exemple de la noue paysagère (Figure 3), définie comme un fossé large et peu profond, végétalisé, et dont les rives sont en pente douce. Un bassin paysager est un espace peu profond, perméable ou étanche, qui permet de stocker temporairement les eaux de pluie, voire de les infiltrer. Les jardins de pluie sont des plantations de végétation hydrophile, susceptibles d'optimiser la rétention des polluants et de retenir voire d'infiltrer les eaux pluviales. Ils peuvent se situer directement à la sortie d'une gouttière par exemple.

L'impact de tels aménagements est attendu comme légèrement supérieur à l'impact d'une prairie (Marry et al., 2021). Pour autant, leur efficacité peut être nuancée par le constat qu'en période de chaleur, les précipitations peuvent être rares. Ces espaces seront donc peu sollicités, et s'apparenteront plus à une « simple » prairie. Ces aménagements peuvent s'intégrer dans un projet global d'aménagement extérieur.

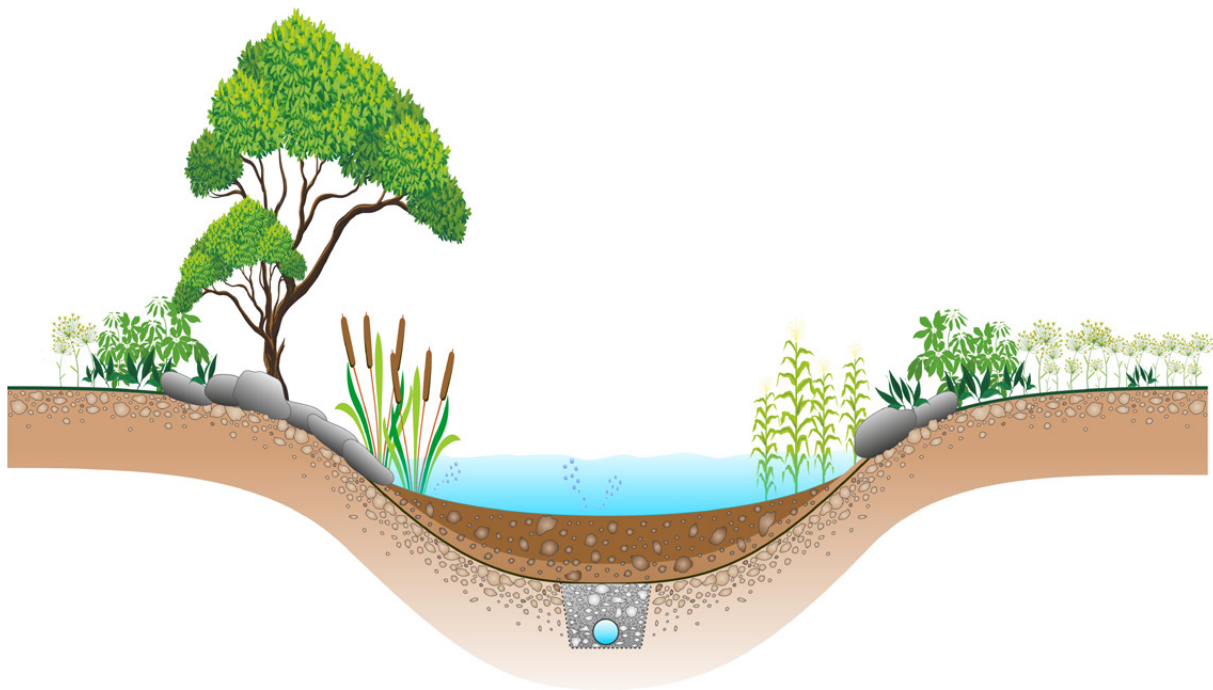


Figure 4 : Exemple de noue paysagère
(Source : Cerema, R. Jobert, 2021).

Choisir des matériaux moins « chauds »

Les matériaux utilisés auront une contribution plus ou moins importante au réchauffement de l'espace selon deux paramètres : leur capacité de réflexion du rayonnement incident et leur capacité de stockage de la chaleur. La capacité de réflexion du matériau est caractérisée par son albédo, mesuré sur une échelle de 0 à 1 (0 correspond à une surface qui absorbe l'intégralité du rayonnement). L'albédo moyen du globe terrestre est de 0,28 ; en ville, les albédos sont très variés : 0,07 pour l'asphalte ou le goudron, 0,20 pour du béton brut, 0,40 pour des tuiles. La capacité de stockage est associée à la densité du matériau. Les surfaces en matériaux lourds à faible albédo (foncés) absorbent donc et accumulent l'énergie solaire la journée, et la restituent la nuit.

Le tableau 1 indique le niveau de température de différents revêtements utilisés à Paris après une période d'insolation longue.

Matériaux	Jour	Nuit
Asphalte noir (trottoir)	Très chaud	Chaud
Béton bitumineux	Très chaud	Chaud
Dalles de granit	Modérément chaud	Chaud
Béton Stabilisé	Modérément chaud	Frais
Gazon	Frais	Frais

Tableau 1 : Comportement climatique qualitatif de 5 matériaux suite à une insolation longue
(Source : Bigorgne and Hendel, 2017).

L'enjeu du choix des matériaux ne se limite pas au confort thermique. Un matériau très réfléchissant pourra ne pas stocker de chaleur la journée et donc ne pas en rejeter la nuit. En revanche, il posera des problèmes de confort visuel, et réfléchira deux fois plus de radiation en journée, contribuant à la dégradation du confort thermique et de l'efficacité de certaines solutions (masques architecturaux par exemple). Et naturellement, le choix est d'abord réalisé sur la base des usages prévus de l'espace public, et du comportement mécanique attendu du matériau.

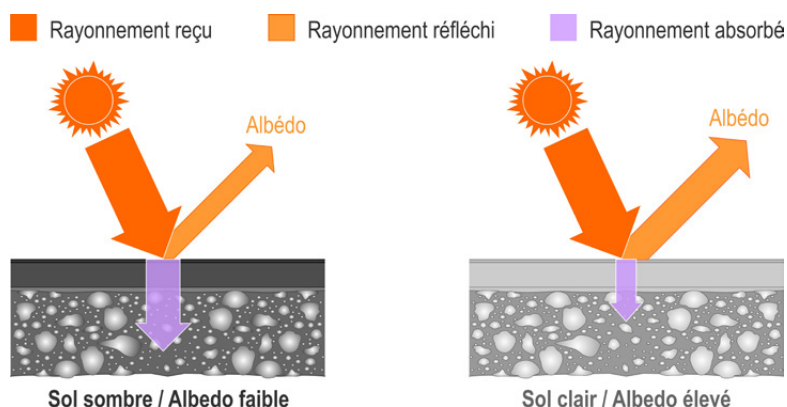


Figure 5 : Influence de la nature du sol sur l'albédo

(Source : Cerema, R. Jobert, 2021).

Il est en tout cas utile, dans la mesure du possible, d'opter pour des alternatives aux matériaux chauds tels que l'asphalte et le bitume (tableau 2) : matériaux clairs (béton désactivé, sols stabilisés, gravier blanc...), amélioration de l'albédo des surfaces minéralisées grâce aux pavés inversés (granulat à fort albédo disposé sur une fine couche de bitume), à l'asphalte et au béton coloré (ajout de pigments réfléchissants afin d'augmenter la réflectivité des matériaux).

Un nettoyage régulier (pouvant être réalisé de manière naturelle par la pluie) peut être utile pour maintenir les propriétés du matériau.

Propriétés	Béton clair	Béton stabilisé	Bitume
Albédo	0,4 à 0,8	0,4	0,05 à 0,15
Inertie thermique	Forte	Moyenne	Forte
Émissivité	0,92	0,76	0,88
T°C de surface (jour)	Moyen	Moyen	Chaud à très chaud
T°C de surface (nuit)	Moyen	Frais	Chaud

Tableau 2 : Comparaison des propriétés de revêtements

(Source : Bigorgne and Hendel, 2017).

Des solutions innovantes, plus marginales à l'échelle du logement social

L'arrosage des espaces extérieurs doit permettre de fournir un arrosage régulier et adapté à toute végétation présente autour du bâtiment puisque l'efficacité du rafraîchissement des végétaux est fonction de la disponibilité en eau.

D'autre part, même si cela est plus marginal, il est aussi possible de procéder à un arrosage des chaussées, via des dispositifs d'arrosage par buse. L'efficacité de cette solution dépend de la durée d'arrosage, de l'exposition solaire, et est d'autant plus forte que le matériau est poreux.



1.2.3 - EXEMPLE DE PROJET

Construction de 30 logements Quartier Saint-Mauront - Marseille (13)

- › MOA : LOGEO MÉDITERRANÉE
- › Architecte : BAUA + A Chapuis
- › BET : SIGMA

Construction de 30 logements dans le quartier Saint-Mauront à Marseille avec un traitement du volet paysager par un travail sur la couleur et l'albedo des matériaux et sur la végétalisation de place de parking.



ASPECT FINANCIER

Le coût ou le surcoût de ces actions diffère selon les solutions retenues, en investissement comme en maintenance. Des coûts d'entretien sont à prévoir notamment lorsque les solutions font appel à la végétalisation.



POINTS DE VIGILANCE

Usage :

- Les propriétés mécaniques du matériau seront la première exigence ;
- Point de vigilance sur le confort visuel.

Maintenance :

- Entretien possiblement plus important pour conserver les bonnes caractéristiques des matériaux (éviter le colmatage des matériaux drainants, conserver un albédo élevé...);
- Tonte et taille d'entretien pour ce qui concerne la végétalisation.

POUR ALLER PLUS LOIN

- Rafrâchir les villes : des solutions variées, *Guide Ademe, Cerema, Tribu, mai 2021*
- Les îlots de chaleur urbains à Paris - Cahier n°4 : influence climatique des revêtements de sol à Paris, *APUR, juillet 2017*
- Moins de surchauffe urbaine, des villes plus vivables, *Les essentiels, Cerema, 2023*
- Vers la ville perméable - Comment désimperméabiliser les sols ? Cerema, Agence de l'eau Rhône Méditerranée, *Dreal AuRA, mars 2017*



CHAPITRE 2

Protéger

PROTÉGER

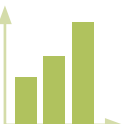
2.1 - INERTIE ET ISOLATION

Protéger du rayonnement solaire et déphaser

L'isolation thermique du bâtiment vise à créer une enveloppe autour de la construction afin de limiter les déperditions thermiques du logement en hiver et d'atténuer les apports de chaleur en été.

L'inertie d'un bâtiment est sa capacité à amortir et différer l'effet des sollicitations thermiques sur l'ambiance intérieure par le stockage de l'énergie dans sa structure puis son déstockage.

Elle s'appuie sur la capacité thermique des matériaux (leur aptitude à emmagasiner de la chaleur sans que leur température ne s'élève fortement) et la gestion des flux de chaleur échangés par les parois du logement avec son ambiance intérieure.

Importance	Cible		Incidence financière
			

L'inertie thermique définit la capacité d'un bâtiment à conserver sa température de façon passive vis-à-vis d'une sollicitation thermique. Elle s'appuie à la fois sur l'isolation et sur la capacité de stockage de la chaleur dans les matériaux lourds. Elle permet à la fois d'amortir les variations de la température intérieure, mais également de déphaser cette variation, en transmettant ou en restituant la chaleur stockée avec un décalage dans le temps.

Lorsque deux éléments sont à des températures différentes, un échange de chaleur s'établit jusqu'à ce que les températures des deux éléments soient identiques. La chaleur va toujours du corps chaud vers le corps froid. L'isolation vise à freiner très fortement ce phénomène d'échange. Dans les parois opaques du bâti, les échanges de chaleur sont majoritairement régis par le phénomène de conduction au sein de la paroi, l'isolation a ainsi toute son importance.

L'objectif premier est donc de limiter les transferts de chaleur de l'extérieur vers l'intérieur en utilisant des matériaux isolants, jouant ainsi sur l'amortissement thermique par réduction du flux de chaleur.

Ensuite, le stockage de la chaleur (apports internes et solaires) dans les matériaux à forte capacité thermique (généralement les matériaux de construction lourds, hors métaux) participe à l'amélioration du confort thermique, sous réserve que le déstockage fonctionne bien également, ce qui renvoie à la question de la ventilation nocturne.

Les stratégies de ventilation nocturne s'appuient sur la variation de température extérieure entre la nuit et le jour, et visent à maximiser les échanges entre l'extérieur et le logement en période nocturne et en début de matinée afin d'abaisser la température des matériaux participant à l'inertie, de sorte qu'ils puissent à nouveau jouer leur rôle dans l'amortissement de la chaleur diurne. On constate avec ces dispositions constructives un déphasage entre la température maximale extérieure et la température maximale dans le logement.

L'accès à l'inertie peut se trouver limité par des revêtements de sol ou des parements défavorables. Par exemple, un parquet flottant limite l'accès à l'inertie du plancher bas. De même les faux plafonds et doublage des murs de refend ne permettent pas d'accéder à l'inertie journalière du béton.

L'attention peut être appelée sur les cas de construction avec plus faible inertie pour lesquelles une isolation par l'extérieur pourra partiellement jouer un rôle compensateur.

Enfin, les isolants, pour un niveau de résistance thermique équivalent, diffèrent plus ou moins le passage de l'onde thermique qui les traverse. On parle d'isolants « à fort déphasage thermique », et ce sont les matériaux biosourcés qui présentent cet avantage. Quoique le flux thermique soit de fait déjà fortement limité par un isolant de résistance importante, cette propriété peut être exploitée dans des situations particulières (inertie faible, logements sous rampants). Attention, le déphasage indiqué (flux dans la paroi) ne doit pas être confondu avec le déphasage global pour l'ambiance du logement, nécessairement plus faible.



RE 2020

La RE2020 détermine les classes d'inertie du bâtiment (très légère, moyenne, lourde, très lourde). Cette classe d'inertie est prise en compte dans le calcul des consommations conventionnelles d'énergie et dans l'indicateur degrés-heures d'inconfort.

Les études de sensibilité de l'indicateur degrés-heures montrent qu'entre une classe d'inertie très légère et très lourde l'indicateur degrés-heure peut varier d'un facteur 2.

« Étude de sensibilité sur le moteur de calcul réglementaire RE 2020, Bastide Bondoux, Pouget, Tribu »

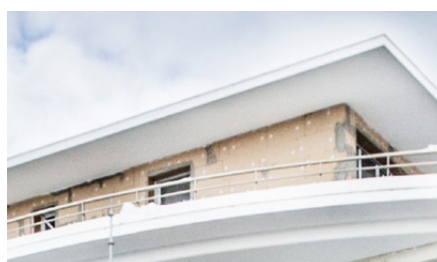


EXEMPLE DE PROJET

Les Moulins îlot E, Nice (06)

- › MOA : ERILIA
- › Architecte : Cabinet d'Hautserre
- › BET : Conseil+
- › AMO QEB : SLK Ingénierie

Garder la fraîcheur dans un bâtiment à Nice, isolé en fibre de bois par l'extérieur qui permet de garder l'inertie des voiles béton et donc d'améliorer le confort d'été.





ASPECT FINANCIER

La question des coûts relatifs aux options d'isolation et d'inertie n'est pas abordée, car les choix réalisés seront déterminés principalement par le parti architectural pour la partie structurelle, et essentiellement par la thermique d'hiver pour l'isolation. En rénovation, c'est la question fonctionnelle et les contraintes d'intervention en site occupé qui priment.



POINTS DE VIGILANCE

Usage :

- L'inertie, qui est un atout lorsque l'occupant utilise les occultations et la ventilation nocturnes, va jouer contre le retour à la normale si l'occupant laisse son logement surchauffer.

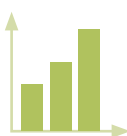
2.2 - MASQUES ARCHITECTURAUX

Protéger du rayonnement solaire

Les parois verticales et baies sont soumises au rayonnement solaire. L'énergie reçue varie selon l'orientation des parois. La limitation des apports solaires peut être obtenue par des formes architecturales protectrices, et par l'ajout d'éléments de protection pleins ou ajourés permettant d'interrompre le rayonnement.

Le rôle de protection solaire estivale peut être associé à d'autres fonctions (production photovoltaïque, ou de chaleur, balcon ou amélioration de l'intimité...). En rénovation, comme pour les projets neufs, ces masques solaires s'intègrent dans le traitement architectural de la façade.

Ayant ainsi vocation à être intégrés en amont lors des études de conception en neuf ou en rénovation, les masques solaires nécessitent un dimensionnement précis réalisé avec le concours d'un bureau d'études thermiques, pour l'étude des impacts en été et en hiver (apports solaires hivernaux et les niveaux d'éclairement).

Importance	Cible		Incidence financière
			

Le rayonnement solaire reçu au travers de baies non protégées est une source de chaleur majeure pour un logement aux façades exposées Est, Sud et Ouest. La part de rayonnement traversant les vitrages est variable selon le traitement de ceux-ci, mais l'énergie reçue est, quoi qu'il en soit, très importante. Celle-ci réchauffe les éléments intérieurs du logement, notamment lorsque les fenêtres sont fermées, le rayonnement infrarouge réémis restant piégé.

L'objectif recherché est de créer un obstacle à la pénétration du rayonnement direct du soleil à l'intérieur du logement ou sur des surfaces horizontales (balcons, terrasses) à proximité des baies. Les principes de dimensionnement sont liés à l'exposition de la paroi à traiter, des dimensions de la baie, de l'orientation et des dimensions du masque.

Le rayonnement solaire est composé d'un ensemble de rayonnement direct, diffus et réfléchi. Cette séparation en trois flux permet d'appréhender l'impact de la géométrie des masques sur les différentes façades. Les masques architecturaux fixes de type casquettes ou joues ont vocation à jouer principalement la composante rayonnement direct et la valorisation des différences d'angles d'incidence été/hiver. Le flux de rayonnement diffus est impacté dans une moindre mesure, et dans la même proportion en été et l'hiver, le flux réfléchi n'est lui pas ou peu intercepté. L'effet des masques est ainsi une résultante suffisamment complexe pour mettre parfois l'intuition en défaut.

Des outils d'évaluation en lien avec les diagrammes solaires existent, tels que « Calsol » développé par l'INIES ou l'outil CM Métropole du Cerema permettent de vérifier rapidement la pertinence géométrique des masques.

Les masques architecturaux ont également un effet sur l'ensoleillement des façades, dont l'incidence sur le confort est secondaire, car ils n'apportent qu'une protection partielle à des surfaces jouant un rôle moindre. Enfin, les masques lointains peuvent aussi être mis à profit (les arbres, les immeubles voisins, les montagnes...) et leur effet se cumule avec celui des masques proches.

2.2.1 - CHAMP D'APPLICATION

Les régions à forte exposition solaire sont plus propices à l'installation de dispositifs de protection intégrés à l'architecture. Il convient que les avantages liés à ces masques, soit par l'évidence du besoin de protection, soit par les autres fonctions que ces masques assurent, compensent la perte de luminosité engendrée.

De façon générale, une protection adaptée toute l'année pour les besoins en chaud ou en froid est difficile à obtenir avec des protections fixes. C'est pour les façades sud que cet équilibre est le plus favorable. Un masque fixe horizontal bien dimensionné et avec un certain débord latéral sur une fenêtre orientée sud pourra réduire les apports de 50 % en été.

Les masques fixes ont un avantage en ce qu'ils permettent de s'affranchir de l'action de l'occupant, qui n'utiliserait peut-être pas de façon optimale les protections mobiles.

Leur utilité et leur pertinence pour les espaces communs à occupation passagère sont à prendre en considération.



RE 2020

La prise en compte de l'effet des masques solaires sur le confort thermique s'appuie sur les caractéristiques géométriques et d'émissivité des matériaux (définie par une couleur claire ou sombre) déclarées par la maîtrise d'œuvre.

Que ce soit pour un calcul réglementaire ou une autre simulation thermique dynamique (STD), la finesse des résultats dépend de la collaboration de l'équipe de MOE et de la précision de son travail à chaque étape du projet.

Les effets de masques architecturaux de type garde-corps ou séparation de balcon sont souvent négligés et l'albédo des surfaces environnantes (difficile à connaître) est généralement saisi par défaut à 0,2.



2.2.2 - SOLUTIONS TECHNIQUES

Masques fixes horizontaux

Les masques horizontaux présentent une grande efficacité du point de vue du confort d'été. Lorsqu'ils sont correctement dimensionnés par rapport à la course saisonnière du soleil, ils permettent de réduire significativement le rayonnement direct en été sans compromettre les apports solaires en hiver. Ils peuvent être pleins ou ajourés et sont particulièrement utiles sur les façades Sud.

Divers éléments constructifs rapportés peuvent être utilisés : débord de toiture, auvent, brise-soleil, casquette. Leur disposition doit permettre de générer une ombre sur les périodes de l'année et de la journée les plus défavorables.

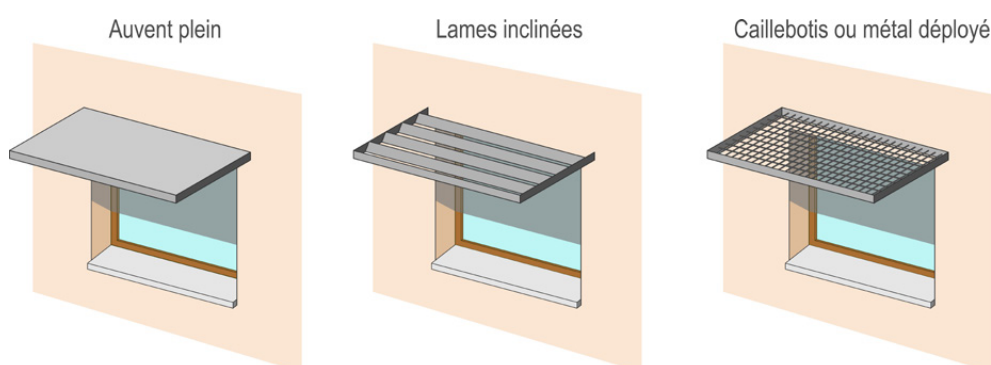


Figure 6 : Exemples de masques horizontaux ou brises soleil

(Source : Guide RAGE, Brise-soleil métallique, avril 2014 - Adaptation Cerema)

La réalisation de balcons/terrasses permet d'offrir un espace extérieur en plus d'améliorer la protection solaire des baies. D'un point de vue énergétique, la largeur du balcon idéal se situe autour de 1,20 m ; alors que du point de vue usage, des balcons plus généreux sont préférés. Il s'agit donc de trouver le meilleur compromis entre confort d'été, efficacité énergétique et usage.

Les façades nord (et orientation nord-ouest), lorsqu'elles sont largement vitrées peuvent engendrer des situations d'inconfort en été, en particulier pour les bâtiments fortement isolés. Pour ces orientations, des masques verticaux peuvent améliorer la situation.

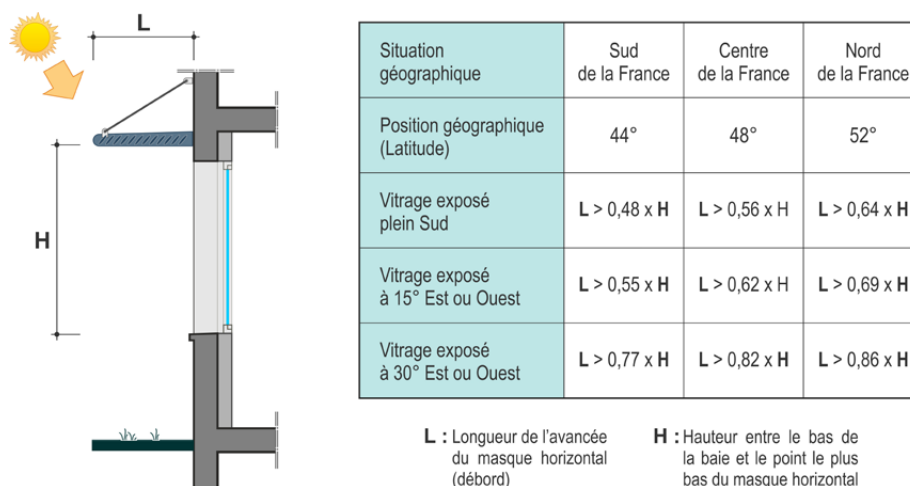


Figure 7 : Exemple de dimensionnement des masques horizontaux

(d'après T. Salomon, 2004- Adaptation Cerema)

Masques fixes verticaux : joues latérales

L'orientation et l'architecture du bâtiment peuvent générer des ombres portées et constituer des masques verticaux. Les masques verticaux rapportés en façade trouvent leur utilité pour le traitement des façades est et ouest, ils sont souvent associés à un masque horizontal pour une meilleure protection de la baie. Leur utilisation vise également à gérer les problématiques d'intimité. Sauf exceptions (masques placés au nord d'une baie orientée ouest), le traitement par des masques verticaux a plus de conséquences sur les apports de chaleur en hiver qu'un masque horizontal.

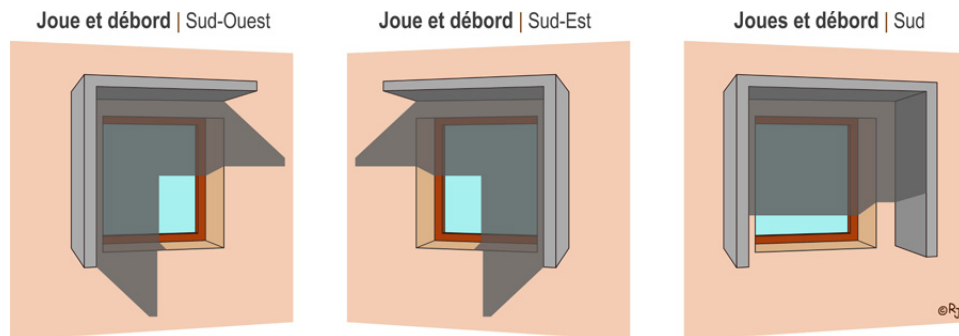


Figure 8 : Exemples de masques verticaux, joues et débords

(Cerema - R. Jobert 2021)

Panneaux mobiles verticaux

Les masques solaires mobiles apparentés aux volets coulissants peuvent équiper les balcons ou loggias. Faisant fonction de pare-vue comme de protection solaire, elles sont plus efficaces si elles sont mobiles, quoique la gestion quotidienne voir infra-quotidienne par l'utilisateur n'est pas attendue.

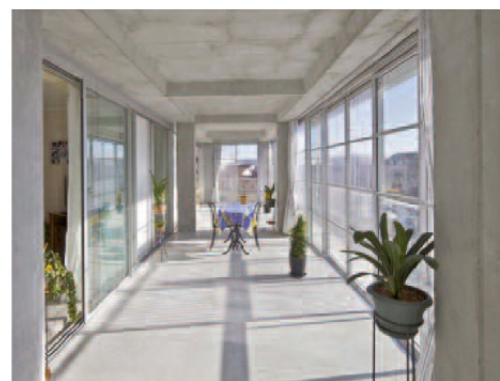


2.2.3 - EXEMPLE DE PROJET

Réhabilitation Grand Parc, Bordeaux (33)

- › MOA : Aquitanis
- › Architecte : Lacaton, Vassal
- › BET : Cardonnel ingénierie

Réhabilitation d'un immeuble des années 60 dans le quartier Grand parc à Bordeaux, avec une façade rapportée qui vient apporter des surfaces à vivre en extérieur en recréant des balcons qui sont dimensionnés pour avoir des effets de casquettes.





ASPECT FINANCIER

Intégrés lors de la conception architecturale, les masques architecturaux y sont intimement associés.

Le coût, nécessairement élevé, de la conception de logements avec balcons n'est pas considéré ici car il ne relève pas spécifiquement du traitement du confort d'été. Le coût des éléments de type casquette ou joue peut-être modéré selon les matériaux utilisés et les modalités d'accrochage. En rénovation, le surcoût de l'installation de ce type d'éléments est plus important s'ils ne sont pas intégrés à un dispositif de traitement complet de la façade. L'ajout *a posteriori* de ces produits sur une façade isolée par l'extérieur semble inapproprié ou complexe.



POINTS DE VIGILANCE

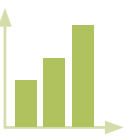
Conception :

- Compatibilité avec les systèmes d'isolation thermique par l'extérieur pour l'accrochage des masques ;
- Ajout *a posteriori* de ces produits sur une façade isolée par l'extérieur inapproprié ou complexe ;
- Prise en compte des opérations d'entretien.

2.3 - OCCULTATION DES BAIES VITRÉES Ê VOLETS ET STORES

La mise en place d'une protection solaire sur les baies recevant un certain ensoleillement direct en période estivale est nécessaire, en première approche, dans toutes les orientations en dehors de la stricte orientation nord. Le choix de cette protection, parmi les solutions de volets et stores mérite la plus grande attention, afin de favoriser le meilleur usage et une efficacité optimale.



Importance	Cible		Incidence financière
			

Le rayonnement solaire reçu au travers de baies non protégées est une source de chaleur majeure pour un logement dans les expositions est, sud et ouest. La part de rayonnement traversant les vitrages est variable selon le traitement de ceux-ci, mais l'énergie reçue est, quoi qu'il en soit, très importante.

Celle-ci réchauffe les éléments intérieurs du logement. C'est notamment le cas lorsque les fenêtres sont fermées (absence des occupants ou températures élevées à l'extérieur), et que le rayonnement infrarouge réémis reste piégé.

La protection solaire par l'intérieur ne sera pas évoquée ici au regard de sa faible efficacité. En effet, le rayonnement est intercepté après avoir franchi le vitrage, trop tard pour empêcher l'énergie de réchauffer l'intérieur du bâtiment. De plus, les protections intérieures additionnelles qui pourraient être installées par les occupants ne sont pas considérées, car leur effet est d'autant plus faible que le choix est libre et orienté sur d'autres considérations que le confort d'été (intimité, luminosité...).

Les apports solaires reçus par les baies sont la principale source d'échauffement du logement, leur bonne protection joue ainsi un rôle capital dans la gestion du confort. Au-delà de la protection contre le rayonnement solaire incident, le choix de protections solaires se doit de prendre en compte d'autres enjeux :

- Les apports lumineux naturels dans le logement ;
- L'effet de protection du logement contre les intrusions ;
- La capacité de mettre à profit le rafraîchissement (nocturne par aération par exemple) ;
- La vue sur l'extérieur ;
- L'usage et la possibilité de moduler la protection selon les apports solaires directs.

Quel que soit le type de protection, la question de leur usage est primordiale. Plus de 50% des utilisateurs de protections solaires sont totalement passifs et ne les utilisent jamais : un store motorisé ou non est en moyenne utilisé moins d'1,7 fois par semaine (Cercle Promodul - INEF4, 2020).

Il est donc important de favoriser la simplicité d'usage et de sensibiliser les occupants. L'automatisation du fonctionnement des protections permettrait une optimisation.

Les solutions de volets ou de stores présentent des différences sensibles, dont il convient de tirer le meilleur parti. Des produits évolués ont été développés, qui cumulent les différentes fonctions et les différents atouts. La traditionnelle distinction entre volets, volets ajourés et stores sur les critères de pleine occultation ou de protection n'est plus vraiment opérante. Ainsi, les volets constituent une réelle fermeture, tout comme certains stores. Les volets pleins peuvent être ajourés en position intermédiaire, et des volets roulants à lames orientables cumulent les avantages des volets et des stores.

Enfin, la mise en place de stores intérieurs n'est pas abordée, outre qu'elle relève généralement du locataire, en raison de la moindre efficacité de ces dispositifs vis-à-vis de l'objectif d'adaptation.

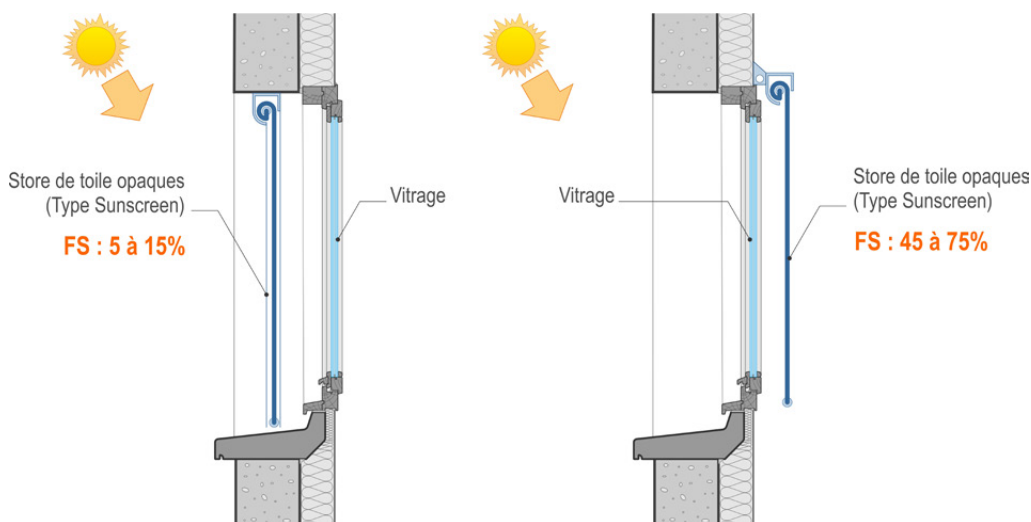


Figure 9

(d'après T. Salomon et C. Aubert, 2007 – Adaptation Cerema).

2.3.1 - CHAMP D'APPLICATION

La mise en place d'occultations recevant un ensoleillement direct est pertinente sur l'ensemble du territoire métropolitain, et incontournable dans une projection à 2050-2080. Le choix d'occultations ajourées est traditionnel du sud de la France. Il est pertinent sur l'ensemble du territoire métropolitain du point de vue du confort d'été, si la performance visée pour l'hiver est par ailleurs assurée (les persiennes sont perméables, ce qui réduit un peu la performance thermique de la baie, mais les volets roulants à lames orientables sont équivalents à un volet classique).

Plus le niveau d'exposition à l'inconfort d'été sera fort (soit parce que le logement est exposé, soit que la région est plus soumise aux surchauffes estivales, soit par l'effet du réchauffement climatique), plus l'intérêt de permettre un éclairage naturel augmentera, car les périodes d'usage de la protection solaire seront plus longues.

Enfin, naturellement, pour les logements en attique avec fenêtres de toit, source d'apports solaires très élevés (un vitrage incliné en toiture reçoit en moyenne deux fois plus de rayonnement qu'un vitrage vertical dans la même orientation), la protection est impérative, et le dispositif de commande se doit d'être très fonctionnel.



QUELQUES ÉLÉMENTS DE COMPARAISON

- Les volets ajourés ou les stores à lames visent à arrêter le rayonnement solaire direct tout en permettant le passage d'une part de rayonnement diffus ou réfléchi. Ils permettent en outre d'abaisser la température de la lame d'air entre le volet et la baie par rapport à un volet classique par effet de convection. L'accès à un certain niveau d'éclairage naturel rend l'usage de ce type d'occultation plus confortable que pour un volet plein pendant les heures chaudes. Les volets ajourés permettent également une certaine vue sur l'extérieur, et de voir sans être vu. Ces avantages tendent à accroître le taux d'utilisation de ce type d'occultation, qui s'en trouve plus efficace. Ces volets et certains stores métalliques renforcés apportent également une sécurisation sans faire obstacle au rafraîchissement nocturne par aération.
- Les volets ajourés sont particulièrement pertinents pour la protection solaire des pièces de jour telles que cuisine et le salon, dans la mesure où c'est dans ces pièces que le besoin de luminosité sera le plus important en journée. À l'inverse, l'occultation totale est utile et pertinente pour les chambres. Ils peuvent également être utilisés dans les chambres ou les logements T1 et complétés par un rideau pour la pleine occultation lumineuse.
- Certains volets pleins permettent également une gestion de la lumière naturelle tels que les volets projetables (roulants ou pliants), les volets battants avec fixation / position entrouverte, les volets extérieurs mobiles sur rail. Une petite part de lumière pénètre, et pas seulement en partie basse de la baie, où l'éclairage est peu efficace.

Vis-à-vis des situations d'insécurité, les volets qui nécessitent d'être entièrement fermés pour assurer leur fonction de protection, s'ils sont utilisés à cet effet la nuit, feront obstacle au rafraîchissement nocturne par aération.

Enfin, le cas des baies vitrées toute hauteur (portes vitrées) est particulier. La protection des grandes baies est stratégique en termes de risque de surchauffe, mais elles auront l'avantage d'être plus souvent associées à la protection fixe que constitue un balcon. Lorsque ce n'est pas le cas, la meilleure solution de protection devra absolument être recherchée.



RE 2020

Les protections des baies sont prises en compte dans le calcul RE2020.

Une obligation de moyen impose des facteurs solaires très faibles donc une protection solaire très efficace en particulier pour les baies horizontales ou non orientées au nord.

Le calcul de l'indicateur degré heure (DH) est réalisé uniquement durant les périodes d'occupation conventionnelles : entre 18h00 et 10h00 le matin en semaine, l'après-midi le mercredi, et tout le week-end.

Les conventions modulent le taux d'utilisation des protections solaires en fonction de la température intérieure, de la présence d'une motorisation ou non, de la présence d'un dispositif d'automatisation, de la présence des occupants, du jour et de la nuit.

En journée, les protections solaires sont considérées comme plus fréquemment ouvertes lorsque les locaux sont occupés pour tenir compte du besoin de lumière naturelle.

L'automatisation du fonctionnement des volets motorisés est traduite par convention par une utilisation optimisée.

Le calcul avec les protections solaires est réalisé après prise en compte des effets liés aux masques solaires proches ou lointains. Les effets des différents dispositifs se cumulent donc.

Enfin la nature des volets est aussi considérée pour le calcul du rafraîchissement nocturne, qui valorise fortement ceux qui laissent passer l'air.



2.3.2 - SOLUTIONS TECHNIQUES

› Volets battants

Les volets battants sont des produits traditionnels et courants, mais moins souvent installés dans les opérations neuves. Cette solution peut être imposée en lien avec la conservation du patrimoine. Les volets peuvent être maintenus en position entrouverte par la crémone, ou mieux, par des tiges d'arrêt qui permettent de choisir l'angle d'ouverture, ce qui permet de protéger d'un rayonnement latéral tout en maintenant un éclairage de la pièce.

Les volets battants existent traditionnellement dans une version ajourée, désignée par le terme « persienne ». Certains modèles de volets battants sont à lames orientables.

L'inconvénient de ce type de volets est leur manœuvre moins aisée : la manipulation des volets battants peut poser une difficulté aux personnes à mobilité réduite (personnes âgées, handicap moteur).

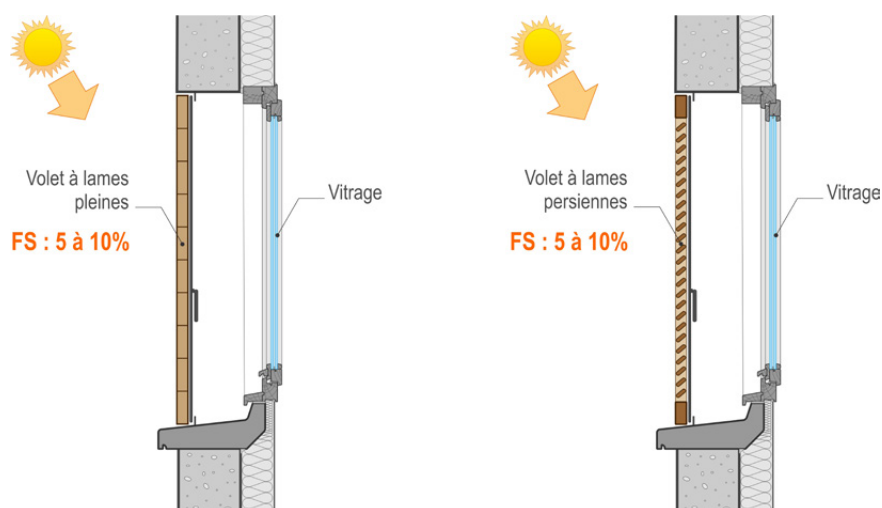


Figure 10 : Exemple de facteur solaire pour une protection par volets battants
(d'après T. Salomon et C. Aubert, 2007 – Adaptation Cerem.

› Volets pliants

Les volets pliants sont très présents dans les bâtiments construits dans les années 1960-1970. Les volets pliants métalliques traditionnels sont le plus souvent au moins partiellement ajourés. Des formes nouvelles présentent un nombre réduit de panneaux, en cohérence avec l'épaisseur des parois isolées. Aux volets pliants simples s'ajoutent les volets projetables, qui permettent d'assurer de façon plus satisfaisante un éclairage des pièces protégées. Les volets en acier, notamment dans les teintes foncées diffusent un rayonnement chaud qui peut être gênant lorsque la baie est ouverte.

› Volets roulants

Ce type de volets présente l'avantage d'être souvent motorisé, ce qui en facilite la manœuvre et l'ajustement, quoi qu'il en soit. La motorisation peut permettre d'envisager la mise en place (directement ou ultérieurement) d'une programmation automatisée afin d'en augmenter l'efficacité en s'affranchissant ou en complétant l'action de l'occupant. Les volets roulants sont en PVC ou aluminium, de différentes teintes, qui influent sur leur efficacité ; les teintes claires sont à privilégier (réflexion et moindre échauffement).

Les volets roulants classiques, dès lors qu'ils sont déployés pour couvrir entièrement la baie, ne laissent pas passer suffisamment de lumière naturelle. Ainsi, lorsque les occupants sont dans la pièce, ils auront tendance à ne le déployer que partiellement. Le rayonnement direct reçu en partie basse de la baie est peu efficace sur le plan de l'éclairage mais constitue un apport de chaleur défavorable. Cet inconvénient est notamment à considérer pour les pièces de la zone jour, et pour les baies verticales toute hauteur. Des produits plus ajourés sont proposés, favorables pour la vue et l'éclairage (taux de percement de 5 % à 10 %) en position intermédiaire, opaques et sécuritaires en position fermée.

› Volets projetables

Ce sont les volets basculants (volets pliants, roulants) qui peuvent être poussés vers l'extérieur par le bas. Ce fonctionnement offre l'avantage d'une bonne luminosité lorsque la protection est déployée, notamment dans les expositions sud. C'est aussi une option un peu plus coûteuse et plus susceptible d'engendrer des interventions en maintenance. Les volets pliants projetables ne sont pas récents et le retour d'expérience à leur sujet est solide.

› Volets roulants à lames orientables

Il s'agit de volets roulants dont les lames peuvent s'ouvrir lorsque le volet est en place et faire office de brise-soleil. En position standard, le volet assure la fonction d'occultation comme un volet roulant classique. Ce type de volet rassemble ainsi de façon idéale les différentes fonctions en un seul produit, tout en étant modulable. C'est aussi celui qui est le plus haut de gamme et le plus sophistiqué, mais cette option ne doit pas être écartée pour la résolution de problématiques aiguës d'inconfort (mono-exposition, absence de masque). Les produits à lames orientables étant sensibles au vent, avec un risque de nuisance acoustique, ils ne sont pas préconisés dans les étages hauts et exposés.

› Volets roulants latéraux sur rail

Cette option en plein développement pour les fenêtres toute hauteur représente une alternative intéressante, car elle allie la possibilité d'une occultation du rayonnement direct tout en laissant entrer une part de lumière, notamment pour les expositions est et ouest, à condition que le rail soit bien positionné. Il existe des modèles ajourés et certains sont à lames orientables.

› Stores en tissus projetables

Pleinement associés à la gestion de l'ensoleillement, les stores en tissus peuvent aussi constituer un complément d'équipement, en lien avec l'exposition des baies et la nature des volets en place. L'installation de stores à projection en complément de volets pleins peut être justifiée pour les pièces ou les logements très exposés, pour maximiser l'usage des protections. Cela sera ainsi plus utile dans le sud et dans les cas où l'équipement de volet en place n'est pas satisfaisant du point de vue du confort d'été mais n'a pas vocation à être remplacé.

› Stores en tissus déployables en balcon

L'installation de stores bannes sur les balcons permet à la fois d'améliorer le confort de cet espace extérieur et la protection des baies vitrées des rayonnements bas en façade est ou ouest.

› Stores à lames orientables

Les stores à lames orientables extérieurs se présentent sous plusieurs formes. Les modèles adaptés à un usage en logement sont escamotables. Certains sont guidés par rails latéraux, ce qui les maintient. Opter pour des stores légers à lames en substitution des volets relève d'un choix de conception intégrant entre autres les questions de sécurité, de thermique d'hiver, de protection contre les intempéries, d'occultation. Les stores à lames orientables présentent, au même titre que les volets roulants à lames, l'avantage de permettre un bon niveau d'éclairement intérieur, ce qui favorise leur utilisation. Certains modèles sont très proches de ce type de volets dans leurs fonctionnalités. Les produits à lames orientables étant sensibles au vent, avec un risque de nuisance acoustique, ils ne sont pas préconisés dans les étages hauts et exposés.

› Programmation ou télé gestion des volets roulants ou des stores

Les volets motorisés peuvent être associés à des applications domotiques permettant d'automatiser leur fonctionnement ou de le piloter à distance, ce qui conduit à un taux d'utilisation plus élevé et à un meilleur résultat. Cette option peut être mise en avant pour les situations les plus stratégiques où l'occupant n'est pas responsabilisé (parties communes, fenêtre de toit). Elle est à éviter pour les portes-fenêtres (conflit d'usage/ accès terrasse).

An architectural rendering of a modern residential development. The scene features several multi-story apartment buildings with light-colored facades and prominent circular windows. A central courtyard is paved with a light-colored material and contains a small tree with white blossoms, a cluster of colorful balloons (red, orange, and yellow), and a group of people, including children and adults, engaged in various activities. In the foreground, a couple is seen from behind, walking towards the courtyard. The sky is blue with scattered white clouds. The overall atmosphere is bright and inviting, showcasing a community-oriented living environment.





ASPECT FINANCIER

L'installation de volets pour les baies qui n'en ont pas encore n'est pas coûteuse à l'échelle du logement.

Le choix des meilleures solutions de volets dans les opérations neuves ou dans les rénovations impliquant leur remplacement a une incidence financière modérée. Le surcoût peut être maîtrisé en effectuant un choix proportionné à l'exposition des logements et des baies. L'importance de la protection solaire conduit à recommander de ne pas privilégier le moins disant.



POINTS DE VIGILANCE

Usage :

- Les volets doivent être gérés pour une pleine efficacité ; cela implique une sensibilisation des occupants et un choix de matériel performant et incitatif. Les solutions simples d'utilisation et permettant de concilier besoins d'éclairage naturel et protections solaires sont donc à privilégier.
- Pour les stores tissus, point de vigilance du vent.

Maintenance :

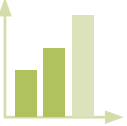
- Questionnement préalable sur les matériaux et leur entretien.
- Accessibilité des systèmes pour l'entretien maintenance.
- Qualité des produits à lames orientables.
- Qualité des dispositifs de manœuvre.
- Fonctionnement des systèmes de télégestion des volets motorisés.

POUR ALLER PLUS LOIN

- Renoptim PROFEEL, Optimiser le confort d'été des appartements, en limitant le recours à la climatisation, CSTB, 2025
- Bâtiments publics, prévenir les coups de chaleur, Les essentiels, Cerema, 2023
- Site internet energieplus-lesite.be, Protections solaires
- Site internet energieplus-lesite.be, Choisir ses protections solaires

2.4 - TRAITEMENT DES TOITURES : ALBEDO, VEGETALISATION ET PANNEAUX SOLAIRES

Les toitures, par leur exposition directe et prolongée aux rayons du soleil, sont susceptibles de s'échauffer rapidement et fortement et, si elles ne sont pas très isolées, de rendre inconfortables les logements au dernier étage. Le parti pris des présentes recommandations est de considérer que les projets concernent soit la construction neuve, soit la rénovation de bâtiments traités par ailleurs pour leur performance d'hiver (l'isolation en toiture étant ainsi systématique). L'impact de l'échauffement en toiture prend alors une importance secondaire. Cependant, l'atteinte d'un bon niveau de confort pour les logements sous toiture peut justifier un effort supplémentaire.

Importance	Cible		Incidence financière
			

Pour une journée ensoleillée induisant une température de 26°C à l'ombre, un toit exposé au soleil peut atteindre une température de 80°C si sa couleur est foncée, 45°C si sa couleur est blanche et seulement 29°C s'il est recouvert de végétaux (Fischetti, 2008).

Il s'agit de limiter l'échauffement de la toiture, en la protégeant du rayonnement solaire ou de ses effets.

Il est possible d'agir sur le pouvoir réfléchissant de la toiture en augmentant son albédo, de faire obstacle au rayonnement solaire par l'installation de panneaux solaires, et de tempérer les toitures-terrasses en les végétalisant.

Ces solutions variées ont un même objectif : limiter l'absorption des rayonnements solaires directs par le toit, et ainsi limiter les échanges thermiques avec l'intérieur. Lorsque la toiture est fortement isolée, le flux de chaleur transmis est très réduit, ce qui limite l'impact de ces solutions. Ces actions peuvent aussi influencer sur le phénomène d'îlot de chaleur urbain (ICU), dans une moindre mesure.

2.4.1 - CHAMP D'APPLICATION

Les solutions proposées pour les toitures peuvent globalement être mises en œuvre quelle que soit la localisation géographique, mais l'intérêt de chacune variera avec le contexte. Généralement, la motivation pour ces solutions viendra d'une tierce problématique, enjeu environnemental ou de gestion des eaux de pluie dans le cas de la végétalisation, production d'énergie dans le cas des installations photovoltaïque, ces deux solutions pouvant d'ailleurs être guidées par les contraintes ou orientations locales. De même, le choix d'une couverture à fort albédo pour une toiture en pente reste soumis aux règles d'urbanisme.

Les situations à plus fort risque d'inconfort (sud de la France, logements en surélévation à faible inertie) justifient d'aborder cette question. Ainsi, le choix de la teinte d'une couverture acier pour un logement en surélévation n'est pas dénué d'importance.

La végétalisation est par nature très dépendante des conditions climatiques locales, qui doivent être soigneusement prises en compte, notamment dans les régions les moins arrosées.

Enfin, l'augmentation de l'épaisseur ou de la performance de l'isolant est une piste simple à étudier en tout premier lieu.

Les solutions présentées ici ont leur équivalent pour le traitement des façades, mais celles-ci ne font pas l'objet d'un développement en raison de leur plus grande complexité (hormis le choix de l'albédo) et moindre impact sur le confort d'été. L'utilisation de teintes claires en façade est en tout cas à privilégier.



RE 2020

L'effet des toitures recouvertes de peintures réfléchissantes (cool roof) ou celui des toitures végétalisées est pris en compte.

Leur performance est traduite par un coefficient de facteur solaire pour la toiture.

Les toitures étant très isolées, leur facteur solaire est déjà très faible, l'effet relatif de ces dispositifs l'est de même.

Pour les toitures réfléchissantes, cet effet est pris en compte par l'intermédiaire du coefficient d'absorption solaire de la paroi opaque.

Pour les toitures végétalisées ce coefficient varie en fonction du type de végétalisation (intensive ou semi-intensive) de l'humidité du substrat en prenant en compte un éventuel système d'irrigation, selon la zone climatique.



2.4.2 - SOLUTIONS TECHNIQUES

› Augmenter l'albédo des toitures

L'albédo représente la capacité réfléchissante d'un matériau (figure 5). Plus cette capacité sera élevée, plus le matériau limitera la captation de chaleur par la toiture. La quantité de chaleur transmise dans le bâtiment est alors diminuée.

Il est donc recommandé d'utiliser des matériaux clairs et/ou réfléchissants pour les toitures (de même pour les façades). Des techniques existent pour réaliser des « cool roofs » (ou toitures fraîches). C'est par exemple le cas des membranes élastomères ou poly urées réfléchissantes, d'enduits réfléchissants (certains sont par exemple à base de coquilles d'huître) ou encore de graviers pâles.

La mise en œuvre de ces solutions ne pose pas de difficulté lorsqu'elle est intégrée à la réalisation d'un bâtiment neuf ou lors de la rénovation d'une toiture-terrasse. Elle peut être réalisée de façon isolée, avec une moindre opportunité.

Ces solutions augmentant l'albédo devront cependant faire l'objet d'un entretien plus régulier pour faire en sorte qu'elles conservent l'ensemble de leur propriété.

› Végétaliser les toitures

La végétalisation s'applique aux toitures-terrasses, et sur les toits à faible pente. En rénovation, elle ne sera pas possible sous toutes ses formes dans toutes les situations ; cela dépendra par exemple de la charge que la toiture peut recevoir...

Plusieurs études montrent que les toitures végétalisées ont un effet sur le bâti (amélioration du confort thermique intérieur selon degré d'isolation), mais ont peu d'effet sur l'ambiance extérieure au bâtiment. Trois types de végétalisation peuvent être envisagés (tableau 3).

	Végétalisation extensive	Végétalisation semi-extensive	Végétalisation intensive
Aspect	Tapis végétal	Prairie avec relief végétal	Jardin
Irrigation	Pas ou peu d'arrosage	Arrosage conseillé en été	Arrosage régulier, indispensable au démarrage
Entretien	Faible (2 fois par an)	Limité (4 fois par an)	Régulier

Tableau 3 : Types de végétalisation de toiture
(d'après Mairie de Paris, 2017).

Si l'intérêt des toitures végétalisées en termes de confort thermique est limité pour les bâtiments aux toitures bien isolées, celles-ci trouvent leur intérêt au travers d'autres bénéfices (gestion des eaux pluviales, biodiversité...). Dans le cas des toitures intensives, celles-ci pourront aussi être ouvertes aux occupants et remplir une fonction sociale, servir de jardin partagé voire accueillir de l'agriculture urbaine.

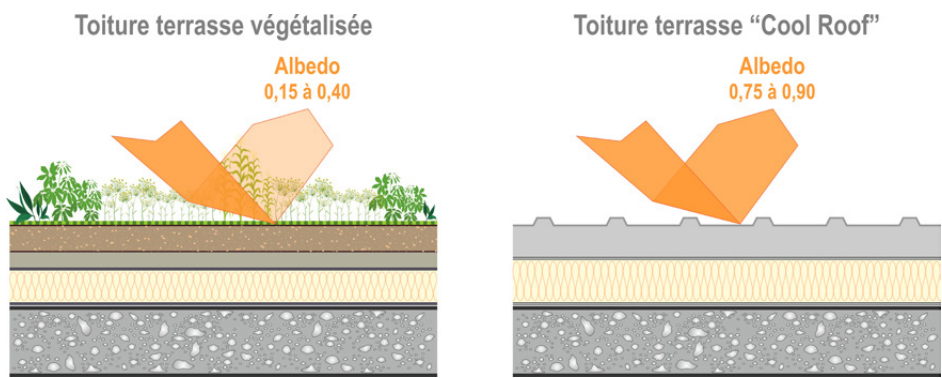


Figure 11 : Exemple de traitement d'une toiture-terrasse
(Cerema, R. Jobert, 2021).

› Équiper la toiture de panneaux solaires

Les panneaux solaires, qu'ils soient thermiques (production d'eau chaude) ou photovoltaïques (production d'électricité) permettent localement une production d'énergie. Ils peuvent être installés au niveau des bâtiments (en toiture ou en façade), mais également dans les espaces extérieurs pour réaliser des ombrières de parking par exemple, améliorant en cela l'ambiance extérieure au bâti. Ils protégeront partiellement la toiture du rayonnement du soleil direct et limiteront sa montée en température.

Une installation sur le bâti existant requiert une étude préalable permettant d'en vérifier la faisabilité technique et administrative.



2.4.3 - EXEMPLE DE PROJET

95 logements la Duranne, Aix-en-Provence (13)

- › MOA : Famille et Provence
- › Architecte : OH !SOM, ALTERN
- › BET : AD2i, AB SUD, DOMENE

Traitement des toitures pour 95 logements locatifs sociaux à la Duranne (13) qui offrent une qualité paysagère et des espaces mutualisés comme des toitures végétalisées qui donnent des vues sur le jardin potager suspendu. Cet aménagement permet aussi de créer du lien social entre les habitants.



ASPECT FINANCIER

Le coût peut être limité en ce qui concerne la modification de l'albédo de la toiture, qui peut être obtenue par la simple application d'une peinture claire, puis son entretien.

Pour ce qui est de la végétalisation, le coût varie selon la solution retenue et la structure de la toiture, mais il sera globalement important (de 60 € à 200 € le mètre carré). Des coûts d'entretien également plus conséquents seront à anticiper, d'autant plus pour une toiture intensive qui serait ouverte aux habitants.

Enfin, pour ce qui est de l'installation de panneaux solaires, le coût d'investissement est important, et dépend de la dimension de l'installation (entre 200 € et 1000 € le mètre carré), mais cet investissement est réalisé dans le cadre d'une analyse globale de rentabilité sur la base de l'énergie produite.



POINTS DE VIGILANCE

Conception :

- Le choix des matériaux et des couleurs du bâti peut être encadré par les règles d'urbanisme.

Usage :

- Arrosage des toitures végétalisées selon les cas ;
- Confort visuel et qualité paysagère (augmentation de l'albédo et panneaux photovoltaïques).

Maintenance :

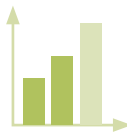
- Entretien, taille (toit végétalisé) ;
- Entretien pour conserver les propriétés de l'albédo.

POUR ALLER PLUS LOIN

- Rafranchir les villes : des solutions variées, *Ademe, Cerema, Tribu, mai 2021*
- Guide des toitures végétalisées et cultivées, *Mairie de Paris, 2017*
- Règles professionnelles pour la conception et la réalisation des terrasses et toitures végétalisées, *Adivet, mai 2018*
- Les toitures végétalisées, principes de fonctionnement et services écosystémiques, *Les ressources, Cerema, 2023*

2.5 - TRAITEMENT DES VITRAGES

Les propriétés des vitrages varient avec les traitements qui leur sont appliqués, et avec le nombre de couches de verre. Il s'agit de choisir des qualités de vitrage qui constituent le meilleur compromis entre la captation de chaleur l'hiver et la protection contre les apports solaires l'été, tout en répondant aux besoins de confort visuel.

Importance	Cible		Incidence financière
			

Le rayonnement solaire reçu au travers de baies non protégées est la source de chaleur majeure pour un logement hors exposition nord. Cette source représente en effet entre 60 % et 80 % des apports de chaleur. L'énergie reçue réchauffe les éléments intérieurs du logement, et le rayonnement infrarouge réémis, qui, lui, ne franchit pas la barrière du vitrage, reste piégé. Le rapport entre le rayonnement reçu et le rayonnement transmis s'exprime par le facteur solaire, qui peut être calculé pour le vitrage, ou pour la baie (il inclut dans ce cas aussi l'effet des différentes protections solaires, y compris l'effet de masque du pourtour de la baie). Les exigences de la réglementation portent sur le facteur solaire de la baie dans son ensemble.

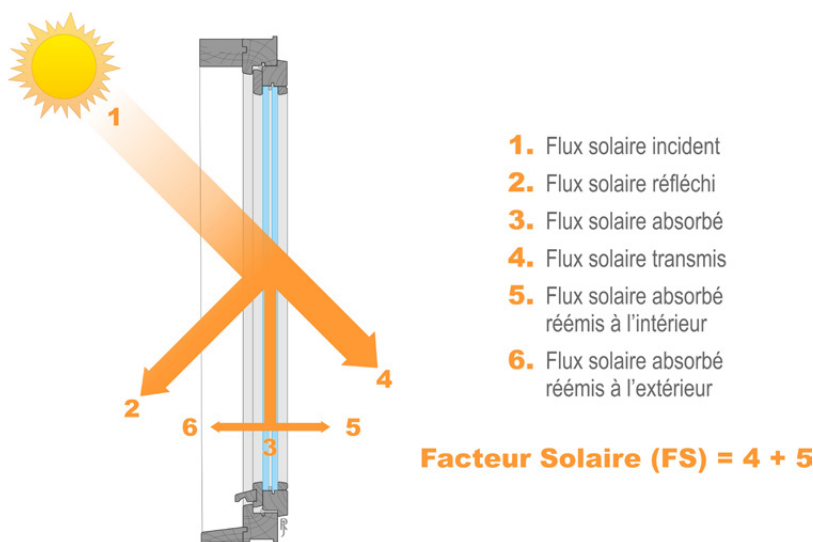


Figure 12 : Répartition des flux solaires transmis sur un vitrage

(Cerema, R. Jobert, 2021).

Les doubles et triples vitrages classiques apportent une légère réduction du rayonnement reçu de l'ordre de 10 % et 20 % par rapport à un vitrage simple. Cet effet de filtre n'est pas en rapport avec le besoin de protection globale des fenêtres exposées, et conserve tout son intérêt à l'usage de protections solaires.

Les vitrages à contrôle solaire ont des performances sensiblement modifiées, et permettent d'arrêter une part de l'apport énergétique beaucoup plus élevée. Leurs propriétés sont fixes. Le choix d'un vitrage de ce type conduit à étudier le compromis entre les attentes de performance pour l'hiver et pour l'été prenant en compte les masques solaires et protections éventuellement présentes en amont du vitrage.

Les vitrages dynamiques (dont les propriétés de réflexion lumineuse évoluent en fonction de la sollicitation), qui représentent une forme de substitut à l'occultation, sont des produits plus techniques et coûteux qui pour le moment sont mis en œuvre pour des contextes d'usage tertiaire. En effet, dans l'habitat, la solution privilégiée est de promouvoir la gestion des occultations par l'occupant.

Enfin, les vitrages ont également une fonction d'isolation vis-à-vis de l'ambiance extérieure, essentielle l'hiver, mais très secondaire en été, donc sans enjeu : les doubles et triples vitrages quels qu'ils soient isolent convenablement de l'air chaud extérieur, ou de la lame d'air surchauffée derrière certaines protections solaires.

2.5.1 - CHAMP D'APPLICATION

Le choix de vitrage doit être réalisé par le maître d'œuvre de façon à concilier les besoins pour la configuration particulière du logement (exposition, masques, zone climatique et altitude). Les choix ne seront donc pas essentiellement guidés par la performance en confort d'été, en neuf comme en rénovation. Les vitrages peu émissifs seront plutôt réservés aux zones très ensoleillées, surtout dans le sud.

En construction neuve, les exigences de moyen pour le confort d'été de la RE2020 encadrent la valeur du facteur solaire des baies, combinaison de la performance du vitrage et de ses protections, de façon modulée selon la situation géographique et l'exposition. La perspective du réchauffement climatique conduit, au-delà de ces exigences, à recommander l'installation d'une protection solaire quel que soit le type de vitrage adopté dans toutes les régions hormis pour les baies très protégées (exposition nord, baies en fond de loggia sud).

Le traitement des vérandas, bow-windows, ou de certaines loggias appelle une attention redoublée, car la mise en place de protections n'est pas toujours possible. Leur fonction est notamment la captation des apports solaires en hiver, et le choix du vitrage sera un compromis. Seule l'ouverture permettra une évacuation de la chaleur en situation de forte exposition. Ainsi cette possibilité d'ouverture devra être optimisée.



RE 2020

Les apports solaires par les vitrages calculés par les logiciels d'application de la RE2020 tiennent compte des qualités déclarées concernant ces vitrages.

Le calcul intègre trois paramètres (coefficient de transmission thermique U + facteur de transmission solaire S + facteur de transmission lumineuse TL), triptyque clef pour réduire les besoins de chauffage en hiver, apporter suffisamment de lumière naturelle pour réduire les besoins d'éclairage et limiter les apports de chaleur en été.

Les méthodes de calcul pour les espaces tampons solarisés ont progressé et permettent de modéliser le comportement de ces espaces de manière fine.



2.5.2 - SOLUTIONS TECHNIQUES

› Double vitrage de contrôle solaire

Les produits courants apportent déjà naturellement une part de filtration solaire. Des produits plus spécifiques dits « de contrôle solaire » comportent un traitement de surface (parties intérieures du double vitrage) réduisant plus significativement le facteur solaire. Quoique leur dénomination utilise un terme d'action, l'effet de ces vitrages est constant. Certains doubles vitrages permettent d'abaisser fortement le facteur solaire, jusqu'à des valeurs inférieures à 0,4, sans effet important sur la luminosité ni altération de la qualité visuelle.

La protection apportée par un filtre étant constante, elle n'est pas assujettie à l'action de l'occupant, ce qui garantit son effet, mais celui-ci est limité par rapport à une occultation performante, qui peut arrêter 90% du rayonnement solaire tout en permettant une certaine luminosité.

L'utilisation de tels produits ne dispense pas nécessairement d'une protection solaire, car le facteur solaire restera trop élevé pour les zones climatiques les plus ensoleillées, et potentiellement pour toutes les régions dans une perspective de changement climatique.

Cette solution peut être utilisée notamment pour les espaces tampons et espaces de circulations pour lesquels il n'y a pas d'interaction de l'utilisateur. En fonction de l'orientation des baies, cette solution peut être couplée à un dimensionnement et un positionnement bien pensé des masques solaires fixes.

L'utilisation de vitrages à très faible facteur solaire (réduction forte de la luminosité) peut contribuer à gérer les apports des allèges vitrées.

› Triple vitrage

L'application du triple vitrage relèvera d'un choix relatif à la performance énergétique. Il apporte un petit abaissement du facteur solaire, mais qui ne change pas de façon significative la situation au regard d'autres considérations, telles que la variabilité que procure l'usage des protections solaires.



ASPECT FINANCIER

Le choix d'un vitrage adapté est sans incidence significative sur les coûts par rapport au produit de référence, correspondant au traitement de la performance énergétique d'hiver.



POINTS DE VIGILANCE

Conception :

- Choix des caractéristiques des vitrages par le maître d'œuvre.

Usage :

- Risque de surchauffe de certains vitrages traités, notamment en triple vitrage.

POUR ALLER PLUS LOIN

- Site internet energieplus-lesite.be, Choisir ses vitrages
- Guide des actions adaptatives au changement climatique, *Observatoire de l'immobilier durable*, avril 2020

2.6 - VENTILATION MECANIQUE DOUBLE FLUX

Limitier les apports par renouvellement d'air

La ventilation du logement vise à assurer des conditions d'air intérieur sain pour les occupants, et à réguler l'hygrométrie. Elle permet de renouveler l'air du logement en évacuant le CO₂ produit par les occupants ainsi que les polluants émis par le mobilier, les revêtements et les activités, et parfois de filtrer l'air entrant pour maîtriser une pollution extérieure. Elle permet d'évacuer l'humidité de l'air afin d'éviter les développements fongiques à l'origine de la dégradation des matériaux qu'ils colonisent (bois, textile, papier, pigment, verni, etc.) parfois jusqu'à la destruction totale des substrats (matériaux supports du développement fongique).

L'air entrant, à la température extérieure, joue en défaveur du maintien de l'ambiance thermique intérieure. Dans le cas de la ventilation double flux, un échangeur permet de réduire l'écart de température entre l'air entrant et l'air sortant du bâtiment. Ainsi, le renouvellement d'air n'engendre pas les mêmes déperditions en hiver ou apports de chaleur en été que dans le cas d'une VMC simple flux.

Importance	Cible		Incidence financière

En été, lorsque la température du logement en journée est de 25°C alors que la température extérieure est de 35°C, l'air extrait, qui est le plus froid, sort à une température de 33°C après avoir été réchauffé de 8°C par l'air neuf. L'air entrant est alors refroidi d'autant et ne rentre dans l'appartement qu'à la température de 27°C.

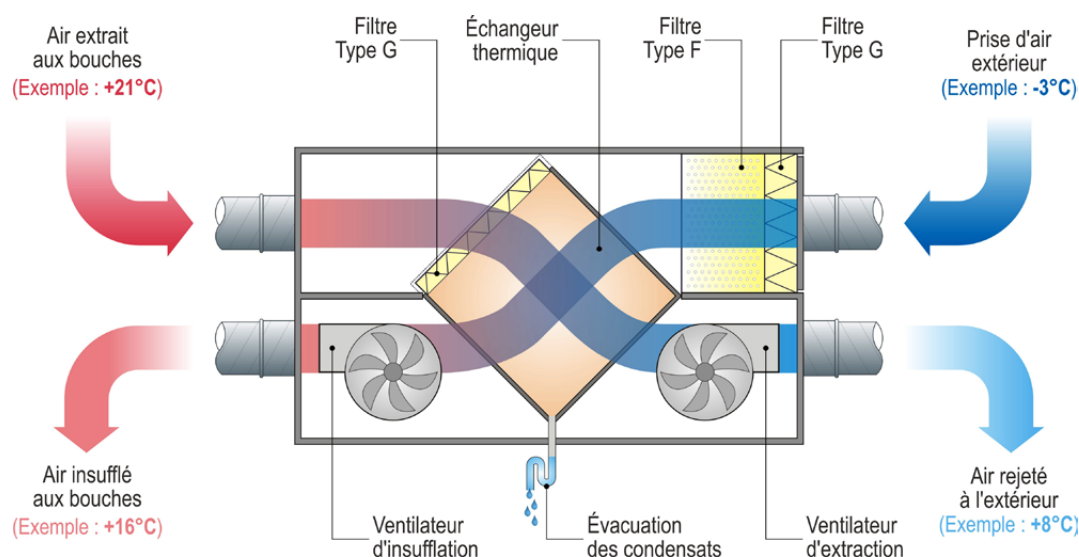


Figure 13 : VMC Double flux, principe de fonctionnement de l'échangeur

(Cerema, R. Jobert, 2014).

Ainsi la ventilation double flux ne rafraîchit pas à proprement parler, puisque l'air neuf sera toujours plus chaud que l'air intérieur. Mais en diminuant fortement la température de l'air amené par la ventilation, elle réduit le réchauffement, à proportion de l'apport de chaleur du volume d'air renouvelé.

Le principe s'inverse lorsque la température extérieure devient inférieure à la température intérieure, la nuit notamment. Ainsi, le système de by-pass doit permettre de cesser l'échange, pour que l'air frais extérieur entrant ne soit pas réchauffé par l'air sortant. Le réglage du système a donc toute son importance, en fonction des saisons.

L'air qui rentre dans le logement, même après avoir été rafraîchi par l'échangeur de la VMC reste néanmoins quelques degrés au-dessus de la température intérieure. Il constitue donc toujours un apport de chaleur. Le dispositif de VMC est un bon support pour d'autres dispositifs permettant d'obtenir un air plus frais, comme les puits climatiques hydrauliques post-VMC ou les batteries thermodynamiques, éventuellement à terme.

2.6.1 - CHAMP D'APPLICATION

L'installation de VMC double flux dans la construction neuve est minoritaire, et sa justification est notamment associée à l'économie d'énergie réalisée en hiver, ou à un objectif de qualité de l'air vis-à-vis d'un contexte extérieur défavorable. Dans ce cas, elle permettra de contribuer au maintien du confort en journée.

Par sa contribution modérée à la régulation thermique vis-à-vis des phénomènes dominants (apports solaires), l'orientation vers une VMC double flux n'aura de sens que dans le cas des bâtiments bien traités et atteignant par ailleurs un certain niveau de confort.

L'installation en rénovation, plus rare, sera d'autant plus déterminée par des considérations autres que le confort d'été.



RE 2020

Les apports par renouvellement d'air dans le calcul RE2020 sont basés sur la différence entre la température extérieure (fichier météo de la zone) et la température intérieure.

Dans le cas d'une VMC double flux, le calcul tient compte de l'efficacité de celle-ci pour l'été comme elle le fait pour l'hiver.



2.6.2 - EXEMPLE DE PROJET

Quartier Europe, Colmar

- › MOA : Pôle habitat Colmar
- › Architecte : DeA Architectes
- › BET : Solares Bauen

Bâtiment des années 60 dont une partie a été détruite pour laisser place à une construction neuve Passive. L'immeuble de 5 niveaux est certifié PassivHaus Standard et se dote d'une ventilation double flux.



ASPECT FINANCIER

La dépense associée à l'installation d'un simple équipement de VMC double flux, plus coûteuse et plus contraignante qu'un équipement simple flux, ne sera généralement pas motivée par le seul sujet du confort d'été.



POINTS DE VIGILANCE

Conception :

- By-pass et programmation pour éviter les apports en période nocturne.



CHAPITRE 3

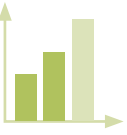
Rafraîchir

RAFRAÎCHIR

3.1 - BRASSEUR D'AIR

Vitesse d'air et confort des occupants

Les brasseurs d'air permettent le rafraîchissement des occupants par une augmentation de la vitesse de l'air au contact de leur peau. Dans certains contextes hygrométriques, une vitesse d'air de 1 m/s peut créer un abaissement de la température ressentie (ou température résultante) allant jusqu'à 4°C. les brasseurs d'air améliorent le confort thermique et hygrothermique tout en ayant un faible impact environnemental. C'est un produit qui, par son efficacité, est très largement répandu en outre-mer et à travers le monde dans les régions chaudes. Ils représentent une solution performante pour améliorer le confort thermique en période estivale, et diminuer significativement l'inconfort des périodes critiques.

Importance	Cible		Incidence financière
			

Les ventilateurs augmentent la vitesse de l'air qui active deux des mécanismes de transfert de chaleur décrit ci-dessous : convection et évaporation. L'évaporation de l'humidité de la peau augmente, ce qui provoque un rafraîchissement superficiel en lien avec le changement de phase de l'eau, et le mouvement d'air aide à évacuer la chaleur du corps vers l'ambiance. Ainsi, les ventilateurs accélèrent la perte de chaleur du corps, procurant une sensation de fraîcheur. La sensation de fraîcheur due à l'augmentation de la vitesse de l'air permet au corps de maintenir le confort thermique à des températures d'air plus élevées pouvant aller jusqu'à une température ressentie 4°C inférieure.

Par la nature de leurs effets, les ventilateurs apportent un confort instantané, contrairement à un système de climatisation à air qui met généralement plus de 15 minutes à modifier de façon perceptible l'environnement thermique de l'occupant. Si l'occupant a trop chaud, allumer ou augmenter la vitesse d'un ventilateur induit un résultat instantané. De même, si un occupant a trop froid et que le ventilateur fonctionne, réduire la vitesse du ventilateur de plafond ou l'éteindre procure instantanément une sensation plus chaude.

Les ventilateurs de plafond sont également parfaitement adaptés pour s'adapter aux fluctuations naturelles et transitionnelles de la température corporelle et aux préférences de confort tout au long de la journée. Par exemple, après avoir marché ou effectué une activité physique, le corps aura besoin d'un certain temps pour revenir à un taux métabolique de repos.

Enfin, les brasseurs d'air installés en plafond sont plus efficaces que les équipements portatifs en raison de leurs plus grandes dimensions et de leur plus faible niveau sonore en regard du volume d'air brassé.

3.1.1 - CHAMP D'APPLICATION

L'intérêt de l'installation d'un brasseur d'air est lié à la fois à la durée de la période d'utilisation, plus importante dans les contextes climatiques les plus chauds, et à l'intérêt que représente le gain potentiel de plusieurs degrés dans les situations de surchauffe.

L'installation de brasseurs d'air peut être modulée selon le risque d'inconfort parmi les logements d'une même opération. Elle est d'autant plus pertinente que des contraintes sont identifiées pour l'ouverture des fenêtres (bruit, insécurité) avec un risque d'inconfort associé.

Le brasseur d'air peut également être associé à une stratégie de ventilation naturelle nocturne dans des logements traversants. Celui-ci permettra d'augmenter les vitesses d'air en l'absence de vent et lorsque le tirage thermique est faible.



RE 2020

Les brasseurs d'air sont pris en compte dans le calcul RE2020.

Les modes de gestion de la vitesse sont définis au niveau de chaque type de brasseurs d'air. Ils peuvent être pilotés de façon plus ou moins automatique : gestion manuelle de la vitesse ou gestion automatique avec thermostats.



3.1.2 - SOLUTIONS TECHNIQUES

L'impact des brasseurs d'air sera pris en compte dans le calcul de l'indicateur degré heure DH et dépend des performances de l'appareil (vitesse d'air).

› L'installation de ventilateurs de plafond

Les brasseurs d'air se présentent sous différentes formes : ventilateurs classiques et brasseurs sans pales. Les produits classiques ont des caractéristiques variables, en termes d'efficacité du brassage, de graduation de la vitesse, d'émission sonore, considérations qui ont leur importance. Leurs caractéristiques ne sont pas toujours explicites dans le descriptif des fournisseurs. La maîtrise d'œuvre sera amenée à poser les exigences adéquates et à les vérifier.



Exemple de brasseurs d'air

(source : www.casafan.fr et www.exhale-fans.com).

L'installation d'un ventilateur de plafond amène les questions suivantes :

› Emplacement

Le choix des logements ou des pièces à équiper d'un brasseur d'air tiendra compte du niveau d'inconfort évalué, fonction de leur situation et exposition. À titre de référence, la réglementation pour les DOM privilégie l'installation de brasseurs d'air dans les chambres, et demande la présence d'attentes dans les pièces de vie non équipées, pour faciliter une installation ultérieure.

La hauteur de plafond permettant d'installer un ventilateur de plafond avec pales apparentes est de 2,5 mètres minima, la hauteur sous pales recommandée étant de 2,3 mètres, pour des raisons de sécurité. Différentes longueurs de dispositif de fixation existent en raison de cette contrainte. Les solutions avec protection des pales ou les brasseurs d'air sans pales peuvent être installés avec des hauteurs sous plafond inférieures.

L'efficacité des brasseurs d'air à pales décroît vite lorsque l'on s'éloigne de leur axe, le brassage d'air étant maximal dans la projection des pales. Le ventilateur de plafond est généralement installé au centre de la pièce pour assurer une meilleure compatibilité avec les options d'aménagement. Les extrémités des pales doivent être à une distance de 50 cm de tout élément qui pourrait gêner le bon fonctionnement, comme des rideaux par exemple.

› Fixation

Un ventilateur de plafond représente un poids conséquent, et requiert une fixation très solide, sur un support adapté. Ainsi l'installation par la maîtrise d'ouvrage sera plus appropriée qu'une installation *a posteriori* par l'occupant. À noter que l'installation d'une attente pour pose ultérieure d'un équipement est une option qui peut permettre d'adapter l'équipement à l'inconfort réel et futur.

› Acoustique

Le niveau sonore émis par les équipements est limité par la réglementation acoustique (35 dB). Le choix des produits doit en tenir compte.



ASPECT FINANCIER

Les prix de fourniture vont de 100 € pour les modèles d'entrée de gamme jusqu'à plus de 500 € pour les modèles haut de gamme intégrant un luminaire ou les brasseurs d'air sans pales.

Les performances des brasseurs d'air varient fortement selon les modèles, ainsi une certaine exigence en termes de volume d'air brassé et de contrôle de l'émission sonore conduira à éviter les modèles d'entrée de gamme.



POINTS DE VIGILANCE

Usage :

- Choix de brasseurs d'air performants (vitesse d'air, bruit) ;
- Sécurité et hauteur sous pales pour les brasseurs d'air classiques.



3.1.3 - EXEMPLE DE PROJET

80 rue d'Aubagne - Marseille

- › MOA : Loger Marseille Jeunes
- › Architecte : Averous & Simay Architecture
- › BET : Solair

80 rue d'Aubagne à Marseille : une hauteur sous plafond satisfaisante pour mettre en place des brasseurs d'air.



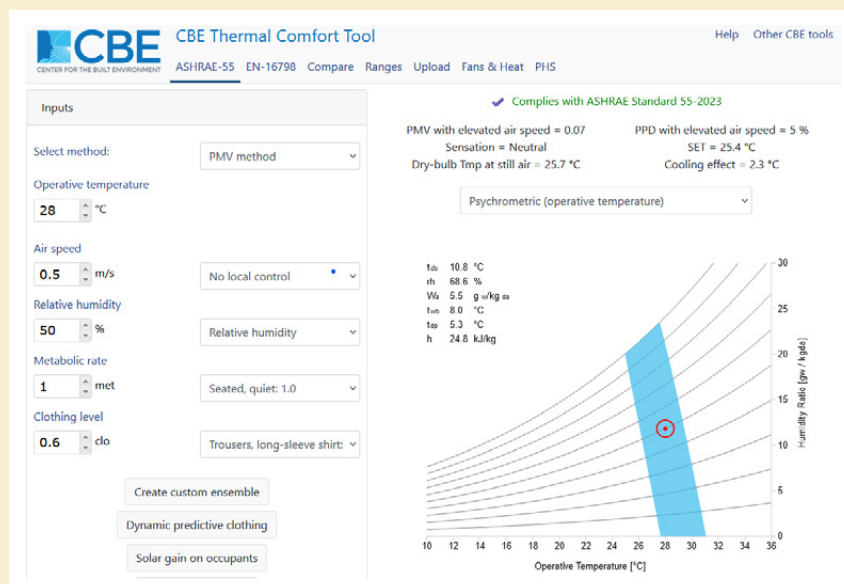
POUR ALLER PLUS LOIN

Les niveaux de confort et les préconisations de vitesse d'air nécessaire pour le confort thermique et la satisfaction des occupants, sont décrits par la norme ASHRAE 55.

Cette norme identifie les facteurs qui peuvent affecter le confort thermique dans un environnement intérieur et comment l'occupant est affecté lorsque ils sont modifiés. La norme fournit également des méthodes pour déterminer les valeurs optimales pour chacun des facteurs afin de créer un environnement confortable.

La méthode de confort analytique calcule un vote moyen prédit (PMV) sur la base d'une combinaison de facteurs de confort thermique. C'est un indice qui prédit le vote moyen de confort thermique dans un groupe de personnes sur une échelle de -3 (froid) à 3 (chaud), où un score de 0 serait considéré comme parfaitement confortable. Un indice compris entre -0,5 et 0,5 est considéré conforme.

Le graphique ci-dessous montre que l'augmentation des vitesses d'air permet d'être conforme à la norme ASHRAE 55 à des températures plus élevées.



3.2 - LOGEMENTS TRAVERSANTS

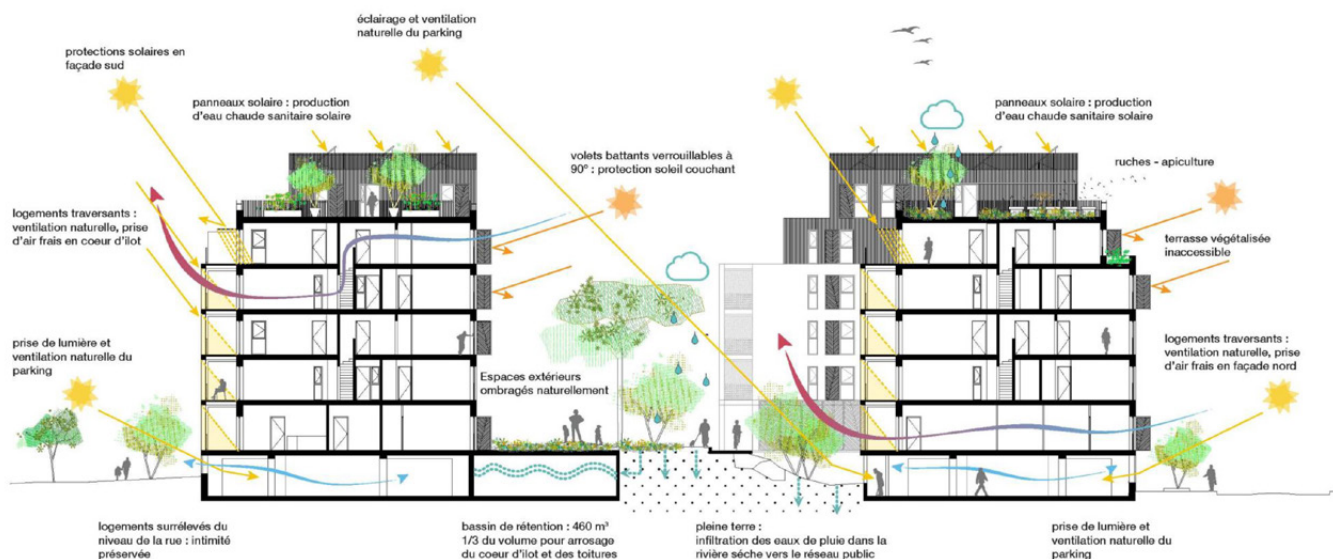
3.2.1 - DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES FAVORABLES AU RAFRAÎCHISSEMENT OPTIMISATION DU CONFORT THERMIQUE ET VISUEL

Un logement traversant est un logement offrant des ouvertures sur l'extérieur (fenêtre ou porte-fenêtre pouvant être ouverte) sur au moins 2 façades d'orientations différentes.

Cette configuration offre à la fois des conditions beaucoup plus propices de sur-ventilation nocturne en été et permet d'occulter le rayonnement solaire de façon différenciée par façade pour conserver un éclairage naturel satisfaisant.

Importance	Cible		Incidence financière
			

Les logements traversants et bi-orientés sont les typologies qui permettent d'obtenir les débits de ventilation naturelle nocturne les plus élevés en vue de la décharge thermique nocturne. Le taux de renouvellement d'air peut être supérieur à 10 Vol/h pour un vent de 1m/s, ces débits sont cinq à six fois plus faibles dans des logements mono-orientés. Cette capacité est à mettre en perspective avec les préconisations de la partie sur la ventilation naturelle, les volets et garde-corps doivent laisser passer le flux d'air pour conserver un rafraîchissement nocturne efficace. Le transfert d'air entre les pièces est efficace seulement si les portes des pièces sont ouvertes, le seul détalonnage des portes n'est pas suffisant pour assurer un débit de surventilation.



Exemple de conception de logements traversants : 100 logements La Duranne, Aix-en-Provence (13)

(Source : Agence Leteissier Corriol).



RE 2020

Le caractère traversant d'un logement est considéré dans le calcul et conduit à une plus grande efficacité de la ventilation naturelle.

En logement collectif, le caractère traversant d'un logement dépend de sa configuration. « Un logement est dit traversant au sens du confort d'été si pour chaque orientation (verticale nord, verticale est, verticale sud, verticale ouest, horizontale) la surface des baies est inférieure à 75 % de la surface totale des baies du logement ».

Un groupe de logements (maille de calcul RE2020) est considéré comme traversant si au moins la moitié de sa surface habitable est traversante.

Un groupe de logements (maille de calcul RE2020) est considéré comme traversant si au moins la moitié de sa surface habitable est traversante.

Le calcul des débits d'air dépend de la configuration (orientation, type et dimension des ouvrants, perméabilité des occultations...)

Selon les premières simulations en zone climatique H3 le nombre d'heure d'inconfort est réduit de moitié pour une zone traversante (Source : GT modélisation).



3.2.2 - SOLUTIONS TECHNIQUES

La généralisation d'appartements traversants exclut de fait les bâtiments trop épais et les distributions par un couloir central. Les solutions les plus courantes pour maximiser le nombre d'appartements traversants consistent à augmenter le nombre de distributions verticales ou adopter une distribution par des coursives extérieures.

Lorsqu'il n'est pas envisageable de réaliser des logements traversants notamment pour les T1 et T2, il est possible d'adapter la forme des fenêtres. Par exemple : remplacer une allège vitrée fixe par un ouvrant toute hauteur avec garde-corps exercera une influence positive sur le débit de ventilation naturelle. Dans cette configuration, l'effet de convection vient renforcer le taux de renouvellement d'air.

Les espaces extérieurs pouvant être considérés comme une pièce à vivre supplémentaire participent aussi au confort d'été. Lorsque la température extérieure commence à baisser en fin de journée et qu'il convient de commencer à ouvrir le logement, la terrasse ou le balcon deviennent la pièce la plus fraîche pendant le temps de la décharge thermique de l'appartement. En l'absence d'espace extérieur individualisé, les coursives ou terrasses partagées peuvent remplir la même fonction.



ASPECT FINANCIER

L'incidence financière de la réalisation de logements traversants dépend de la taille des opérations et du contexte foncier. Le coût engendré par la généralisation ou la forte proportion de logements traversants peut être élevé. Les avantages induits ne se limitent en tout cas pas au confort d'été.



POINTS DE VIGILANCE

Usage :

- La relation entre les coursives et les logements doit être bien gérée pour préserver l'intimité

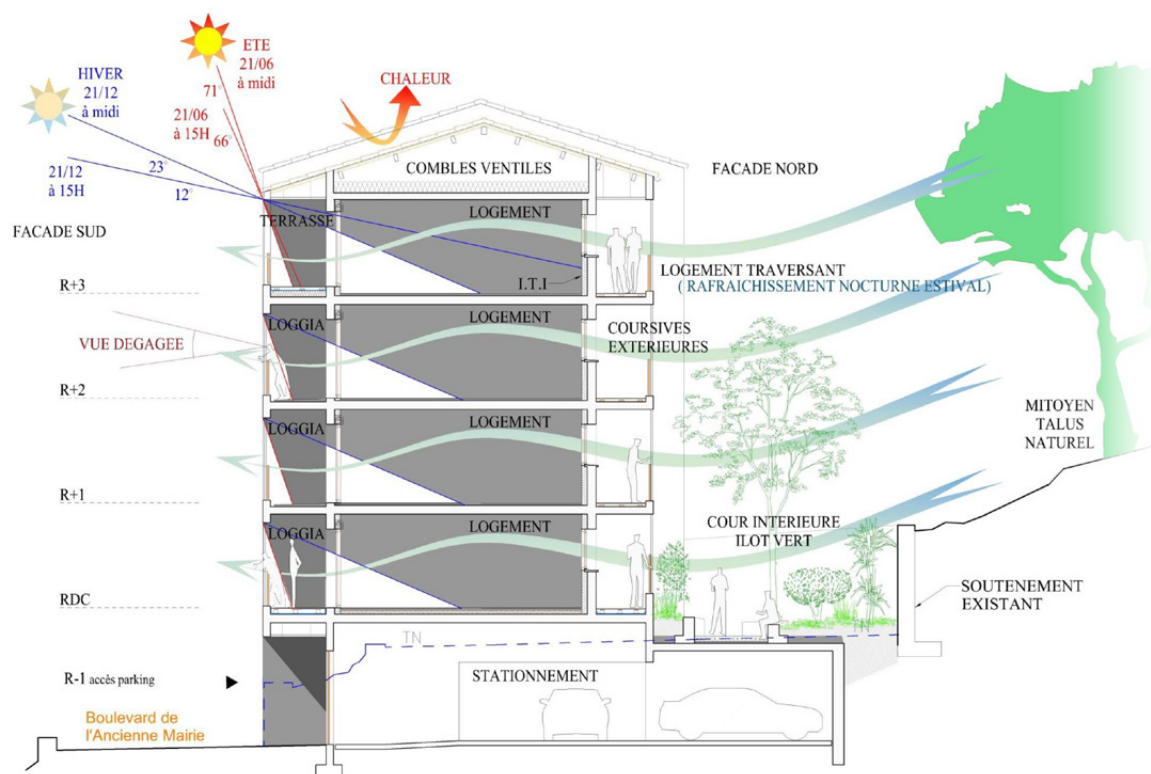


3.2.3 - EXEMPLE DE PROJET

36 logements sociaux Bagnols-en-Forêt (83)

- › MOA : La maison familiale de Provence
- › Architecte : Hubert & Arnal
- › BET : BECT Provence

Conception de logements traversants pour 38 logements sociaux à Bagnols-en-forêt (83) avec coursives au Nord et loggia au Sud.



POUR ALLER PLUS LOIN

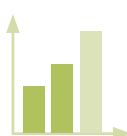
Le « village vertical », Rhône-Saône Habitat.

3.3 - VENTILATION NATURELLE

Faciliter l'ouverture nocturne des fenêtres

L'ouverture nocturne des fenêtres est, parmi les solutions passives, le principal moyen d'évacuer la chaleur accumulée durant la journée dans le logement. Le type de menuiserie choisi importe, pour tirer le meilleur parti du potentiel de rafraîchissement :

- par la proportion d'ouvrant ;
- par la sécurité de l'ouverture.

Importance	Cible		Incidence financière
			

La source de fraîcheur la plus accessible est l'ambiance extérieure dont la température est plus basse la nuit. Les logements bien isolés ne peuvent pas être rafraîchis par conduction des parois vers l'intérieur, mais par un passage de l'air extérieur plus frais à l'intérieur de l'habitat. Plus la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur est importante et plus le flux d'air est important, plus la ventilation est efficace.

La ventilation par l'ouverture des fenêtres représente des débits bien supérieurs à ceux d'une ventilation mécanique, et constitue à ce titre un moyen du rafraîchissement passif. Un deuxième effet bénéfique de la circulation d'air, qui ne se manifeste que si le flux est suffisant, est l'abaissement de la température ressentie par l'occupant, par effet d'évapotranspiration.

L'importance du flux d'air, outre les phénomènes de vent qui peuvent être favorisés par l'orientation mais restent éminemment variables, dépend beaucoup du positionnement des ouvrants qui détermine le caractère plus ou moins traversant des logements. Ainsi, un logement disposant d'ouvertures sur deux façades opposées sera favorisé par rapport à un logement orienté sur deux façades perpendiculaires. Un certain équilibre des surfaces d'ouverture entre les façades est également positif. Les logements mono-orientés seront pénalisés.

Au-delà de ces différences liées à la configuration du logement, un choix d'ouvrants et d'équipement des baies adapté peut contribuer à la meilleure efficacité du rafraîchissement. Pour une même surface vitrée, le taux de porosité de la baie varie beaucoup selon le type de menuiserie : 45 % pour une fenêtre coulissante à deux vantaux standard, ou pour une fenêtre toute hauteur avec allège fixe, 90 % pour un ouvrant à la française. Le risque d'intempérie ou de coup de vent peut faire renoncer à ouvrir des ouvrants à la française. L'insécurité est un frein à l'ouverture nocturne des fenêtres, qui appelle des solutions particulières. La présence de moustiques est, localement une autre sujétion pour l'ouverture nocturne, mais les moustiquaires intégrées ne sont pas suggérées, au vu des questions de leur durabilité et des alternatives (moustiquaires de lit, répulsifs).

Enfin, les dimensions des ouvrants conditionnent le brassage de l'air dans les logements mono-orientés.

3.3.1 - CHAMP D'APPLICATION

L'ouverture nocturne des fenêtres est temporairement utile et pratiquée dans les faits quelle que soit la situation du logement. En effet, même dans les sites très contraints par le bruit notamment, en cas de surchauffe trop importante, l'occupant ouvre les fenêtres.

L'optimisation des ouvrants en vue de la ventilation naturelle n'engendre pas de sujétions défavorables sur un autre plan, elle est toujours positive. La limite sera financière, les menuiseries plus complexes étant plus coûteuses, et les châssis mobiles plus coûteux que les châssis fixes.

Les logements traversants n'auront pas tant besoin d'optimisation de la part d'ouvrant des baies ou de leurs dimensions que de solutions fiabilisant l'ouverture des battants.

Pour les logements mono-orientés, ce sont au contraire les dimensions des ouvrants, et leur taux d'ouverture qui sont importants. Pour les baies verticales, une ouverture toute hauteur, protégée par un garde-corps perméable favorise le brassage d'air par convection, à l'inverse des menuiseries à allège vitrée qui le limitent.

En ce qui concerne la sécurisation des baies, c'est dans les contextes urbains qui le nécessitent, pour les premiers étages ou certains cas plus exposés (coursives) que cela doit être prévu.



RE 2020

La part d'ouvrant correspondant à la typologie de menuiserie est considérée dans le calcul, de même que leur dimension et leur forme.

Les dispositifs favorables à la sécurisation de l'ouverture des fenêtres ne le sont pas, la convention n'est pas modifiée sur ce point.

La méthode RE 2020 considère qu'en cas de très forte chaleur dans le logement, l'ouverture des fenêtres sera automatiquement pratiquée dans les périodes d'occupation conventionnelles des logements, quoique dans une moindre mesure pour les baies exposées au bruit.

Les débits pris en compte sont fonction du caractère traversant ou non, de la taille et du type de menuiserie et d'occultation

À titre d'exemple, la surface de l'ouvrant est affectée d'un abattement de 90 % en présence d'un volet roulant, et de 25 % dans le cas de volets ajourés ou à projection.

Toute contrainte (bruit, sécurité...) conduisant à des comportements différents des scénarios RE 2020 réduira l'efficacité de la ventilation par rapport au calcul, de même une attitude impliquée l'augmentera.



3.3.2 - SOLUTIONS TECHNIQUES

› Baies à galandage (augmenter la surface d'ouvrant)

Les baies coulissantes à galandage, dont les vantaux ne se superposent pas mais coulissent dans le doublage du mur permettent de doubler la perméabilité d'une baie à deux vantaux. Leur coût est plus élevé que la solution standard et la performance énergétique d'hiver est moindre, mais cette option peut contribuer au confort d'un logement très exposé au risque d'inconfort.

› Menuiseries oscillo-battantes (faciliter et sécuriser l'ouverture)

Les menuiseries oscillo-battantes permettent soit d'ouvrir la fenêtre en grand, soit de la maintenir en position entrouverte sécurisée, par bascule horizontale. Dans cette position, les ouvrants sont stables vis-à-vis des courants d'air, le risque que de l'eau pénètre en cas de pluie est limité et l'exposition au risque d'intrusion est maîtrisée. Ces fenêtres étant d'une manœuvre plus délicate, elles sont susceptibles de générer des interventions en maintenance, mais dans une bien moindre mesure pour les petites baies.

› Automatisation de l'ouverture de baies

L'automatisation des ouvertures de fenêtre, envisageable pour des parties communes intérieures recevant des apports solaires significatifs peut contribuer à réduire le nombre d'heures d'inconfort.

› Grilles (sécuriser l'ouverture)

Les grilles anti-intrusion constituent une solution très efficace pour redonner une liberté d'ouverture des fenêtres en rez-de-chaussée. L'image négative du barreaudage peut être atténuée par un traitement architectural plus léger, si la protection n'est pas nécessaire pour un autre motif que le rafraîchissement nocturne en présence de l'occupant.

› Persiennes et volets à lames (solution de sécurisation et d'occultation)

Les volets très ajourés ou stores renforcés présentent l'avantage de constituer à la fois une solution d'occultation et de sécurisation tout en permettant le passage de l'air pour le rafraîchissement nocturne. Pour plus d'information, se référer à la partie relative aux volets et stores.



3.3.3 - EXEMPLE DE PROJET

36 logements collectifs, rue Voltaire à Miramas (13)

- › MOA : ICF Habitat Sud Est Méditerranée
- › Architecte : MAP architecture
- › BET : AB Sud ingénierie (BET QEB)
TB Philippe François (BE Thermique)

Béton isolation thermique par l'intérieur, ou par murs en Siporex ; chauffage et ECS par chaudière individuelle à condensation au gaz de ville ; ventilation Hygro B.



ASPECT FINANCIER

L'enjeu financier du choix du type de menuiserie est faible à modéré. Les ouvrants les plus sophistiqués ont un coût supérieur aux solutions standards. Le surcoût dépend du nombre de baies à équiper, ce qui confirme l'intérêt d'un choix différencié.

La sécurisation des petites baies n'a qu'une incidence financière limitée car elle ne porte que sur une part des ouvertures voire des étages, et qu'il est toujours possible de l'envisager par un simple choix de volets adaptés.



POINTS DE VIGILANCE

Usage :

- L'information de l'occupant quant aux meilleures pratiques d'ouverture des baies contribue à l'atteinte du confort, par exemple concernant les meilleurs horaires d'ouverture.
- Les habitudes d'ouvertures des fenêtres sont rarement calées sur ce qui serait le plus efficace, notamment dans les régions où les fortes chaleurs ne sont pas une tradition. Idéalement, les fenêtres seront fermées le jour dès que la température extérieure est supérieure à la température intérieure. La nuit, et le soir dès que la température baisse, elles seront ouvertes, sous réserve de condition de sécurité adaptée.
- Perception sociale de la présence de grilles.

Maintenance :

- Durabilité des menuiseries oscillo-battantes.



Annexes

Table des exemples

Table des figures et tableaux

Table des matières

TABLE DES EXEMPLES

Page 20. Construction de 30 logements Quartier Saint-Mauront - Marseille (13)

- › MOA : LOGEO MÉDITERRANÉE
- › Architecte : BAUA + A Chapuis
- › BET : SIGMA

Page 25. Les Moulins îlot E, Nice (06)

- › MOA : ERILIA
- › Architecte : Cabinet d'Hautserre
- › BET : Conseil+
- › AMO QEB : SLK Ingénierie

Page 29. Réhabilitation Grand Parc, Bordeaux (33)

- › MOA : Aquitanis
- › Architecte : Lacaton, Vassal
- › BET : Cardonnel ingénierie

Page 36. Résidence Salvador Allende, Martigues (13)

- › MOA : Bouygues
- › Architecte : Baldassari Sibourg
- › BET : TPFI

Page 41. 95 logements la Duranne, Aix-en-Provence (13)

- › MOA : Famille et Provence
- › Architecte : OH !SOM, ALTERN
- › BET : AD2i, AB SUD, DOMENE

Page 47. Quartier Europe, Colmar (68)

- › MOA : Pôle habitat Colmar
- › Architecte : DeA Architectes
- › BET : Solares Bauen

Page 53. 80 rue d'Aubagne - Marseille (13)

- › MOA : Loger Marseille Jeunes
- › Architecte : Averous & Simay Architecture
- › BET : Solair

Page 56. 36 logements sociaux Bagnols-en-Forêt (83)

- › MOA : La maison familiale de Provence
- › Architecte : Hubert & Arnal
- › BET : BECT Provence

Page 59. 36 logements collectifs, rue Voltaire à Miramas (13)

- › MOA : ICF Habitat Sud Est Méditerranée
- › Architecte : MAP architecture
- › BET : AB Sud ingénierie (BET QEB)
TB Philippe François (BE Thermique)

TABLE DES FIGURES ET TABLEAUX

FIGURES

Figure 1 : Effets des arbres sur le confort thermique et l'ICU - Apur, 2014 - Adaptation Cerema R. Jobert.

Figure 2 : Rafraichissement localisé moyen relevé - Marry et al., 2021 d'après Santamouris et al., 2017 - Adaptation Cerema R. Jobert.

Figure 3 : Cycle de stockage déstockage de l'énergie solaire dans les revêtements de sol - Apur, 2017 - Cerema adaptation 2021.

Figure 4 : Exemple de noue paysagère - Cerema, R. Jobert, 2021.

Figure 5 : Influence de la nature du sol sur l'albédo - Cerema, R. Jobert, 2021.

Figure 6 : Exemples de masques horizontaux ou brises-soleil - Guide RAGE, Brise-soleil métallique, avril 2014 - Adaptation Cerema.

Figure 7 : Exemple de dimensionnement des masques horizontaux - d'après T. Salomon, 2004 - Adaptation Cerema.

Figure 8 : Exemples de masques verticaux, joues et débords - Cerema - R. Jobert 2021.

Figure 9 : Stores de toile sur vitrages - d'après T. Salomon et C. Aubert, 2007 - Adaptation Cerema.

Figure 10 : Exemple de facteur solaire pour une protection par volets battants - d'après T. Salomon et C. Aubert, 2007 - Adaptation Cerema.

Figure 11 : Exemple de traitement d'une toiture-terrasse - Cerema, R. Jobert, 2021.

Figure 12 : Répartition des flux solaires transmis sur un vitrage - Cerema, R. Jobert, 2021.

Figure 13 : VMC Double flux, principe de fonctionnement de l'échangeur - Cerema, R. Jobert, 2014.

Figure 14 : Exemple de conception de logements traversants : 100 logements La Duranne.

TABLEAUX

Tableau 1 : Comportement climatique qualitatif de 5 matériaux suite à une insolation longue - Bigorgne and Hendel, 2017.

Tableau 2 : Comparaison des propriétés de revêtements - Bigorgne and Hendel, 2017.

Tableau 3 : Types de végétalisation de toiture d'après Mairie de Paris, 2017.

TABLE DES MATIÈRES

Introduction	6
---------------------	----------

CHAPITRE 1

Aménager	9
-----------------	----------

1.1 - Espaces végétalisés et zones humides	10
---	-----------

1.1.1 - Champs d'application	12
1.1.2 - L'ombrage des arbres	12
1.1.3 - Les espaces végétalisés	12
1.1.4 - Les zones d'eau	12

1.2 - Matériaux et sols	15
--------------------------------	-----------

1.2.1 - Champs d'application	16
1.2.2 - Solutions techniques	17
1.2.3 - Exemple de projet	20

CHAPITRE 2

Protéger	23
-----------------	-----------

2.1 - Inertie et isolation	24
-----------------------------------	-----------

2.2 - Masques architecturaux	26
-------------------------------------	-----------

2.2.1 - Champs d'application	27
2.2.2 - Solutions techniques	28
2.2.3 - Exemple de projet	29

2.3 - Occultation des baies vitrées	30
--	-----------

2.3.1 - Champs d'application	32
2.3.2 - Solutions techniques	33
2.3.3 - Exemple de projet	33

2.4 - Traitement des toitures : Albédo, végétalisation et panneaux solaires	38
--	-----------

2.4.1 - Champs d'application	38
2.4.2 - Solutions techniques	39
2.4.3 - Exemple de projet	41

2.5 - Traitement des vitrages	42
--------------------------------------	-----------

2.5.1 - Champs d'application	43
2.5.2 - Solutions techniques	44

2.6 - Ventilation mécanique double flux	45
--	-----------

2.6.1 - Champs d'application	46
2.6.2 - Exemple de projet	47

CHAPITRE 3

Rafrâchir

49

3.1 - Brasseur d'air	50
3.1.1 - Champs d'application	51
3.1.2 - Solutions techniques	51
3.1.3 - Exemple de projet	53
3.2 - Logements traversants	54
3.2.1 - Dispositions constructives favorables au rafraîchissement Optimisation du confort thermique et visuel	54
3.2.2 - Solutions techniques	55
3.2.3 - Exemple de projet	56
3.3 - Ventilation naturelle	57
3.3.1 - Champs d'application	57
3.3.2 - Solutions techniques	58
3.3.3 - Exemple de projet	59

Annexes

61

Table des exemples	62
Table des figures et tableaux	63

Improve summer comfort in collective housing

Technical solutions

Adapting buildings to climate change and associated risks is a major challenge for the decades ahead. In response to the increasing frequency and intensity of heat waves, as well as the growing impact of urban heat islands, Cerema offers an overview of technical solutions to reduce overheating risks in collective housing. This guide, enriched with feedback from social housing providers, provides project owners with practical benchmarks to help them identify the most suitable solutions, understand their conditions of implementation, and anticipate costs and efficiency. By combining scientific analysis, real-world case studies, and practical recommendations, it supports the evolution of practices in both new construction and renovation, contributing to the development of buildings that are more resilient to extreme heat events.

Mejorar el confort estival en los edificios de viviendas

Soluciones técnicas

La adaptación de los edificios a los riesgos y cambios climáticos es uno de los principales retos a los que se deberá hacer frente en las próximas décadas. El Cerema presenta una visión general de las soluciones técnicas para reducir el riesgo de sobrecalentamiento en los edificios de viviendas en un momento en el que se intensifican las olas de calor y se dejan sentir los efectos de las islas de calor. Ilustrada con las aportaciones de arrendadores de viviendas sociales, esta guía ofrece a los promotores una orientación para elegir las soluciones más adecuadas, comprender cómo pueden aplicarse y prever su coste y eficacia. Combinando un planteamiento científico, aportaciones de experiencias y pragmatismo, su objetivo es facilitar cambios en las prácticas de la nueva construcción y la rehabilitación de edificios para que estos sean más resilientes a las olas de calor.

© 2025 - Cerema

LE CEREMA, L'EXPERTISE PUBLIQUE POUR LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET LA COHÉSION DES TERRITOIRES

Le Cerema, Centre d'Études et d'Expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement, est un établissement public qui apporte son concours à l'État et aux collectivités territoriales pour l'élaboration, la mise en œuvre et l'évaluation des politiques publiques au service de la transition écologique, de l'adaptation au changement climatique et de la cohésion des territoires. Il porte des missions de recherche & innovation et appuie le transfert d'innovations dans les territoires et auprès des acteurs privés.

Le Cerema agit dans 6 domaines d'activité : Expertise & Ingénierie territoriale, Bâtiment, Mobilités, Infrastructures de transport, Environnement & Risques, Mer & Littoral. Présent partout en métropole et dans les Outre-mer par ses 26 implantations, il développe une expertise de référence au contact de ses partenaires européens et contribue à diffuser le savoir-faire français à l'international.

Le Cerema capitalise les connaissances et savoir-faire dans ses domaines d'activité. Éditeur, il mène sa mission de centre de ressources en ingénierie par la mise à disposition de près de 3 000 références à retrouver sur <https://doc.cerema.fr/>.

Toute reproduction intégrale ou partielle, faite sans le consentement du Cerema est illicite (article L. 122-4 du Code de la propriété intellectuelle). Cette reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et L. 335-3 du CPI.

Cet ouvrage a été imprimé sur du papier issu de forêts gérées durablement (norme PEFC) et fabriqué proprement (norme ECF). L'imprimerie Dupliprint est une installation classée pour la protection de l'environnement et respecte les directives européennes en vigueur relatives à l'utilisation d'encre végétales, le recyclage des rognures de papier, le traitement des déchets dangereux par des filières agréées et la réduction des émissions de COV.

Coordination : Direction de la Stratégie et de la Communication / Pôle éditions

Conception de la maquette graphique : Farénis

Mise en page : laurentmathieu.fr

Photo de couverture : Haugesund, Norvège (Photo : © iStock.com/Alphotographic)

Impression : Dupliprint – 733 rue Saint Leonard – 53100 Mayenne – Tél. 02 43 11 09 00

Achevé d'imprimer : septembre 2025

Dépôt légal : septembre 2025

ISBN : 978-2-37180-726-6 (papier) - ISBN : 978-2-37180-727-3 (pdf) - ISSN : 2276-0164

Éditions du Cerema

2 rue Antoine Charial - CS 33927 - 69426 Lyon Cedex 03 - France

www.cerema.fr

AMÉLIORER LE CONFORT D'ÉTÉ EN LOGEMENTS COLLECTIFS

Des solutions techniques

L'adaptation des bâtiments face aux risques et évolutions climatiques constitue un enjeu majeur pour les décennies à venir. Le Cerema présente un panorama des solutions techniques permettant de réduire les risques de surchauffe dans l'habitat collectif dans ce contexte d'intensification des périodes caniculaires, et des effets des îlots de chaleur... Illustré de retours d'expérience de bailleurs sociaux, ce guide propose aux maîtres d'ouvrage des repères pour choisir les solutions les plus pertinentes, comprendre leurs conditions d'application et anticiper leur coût et leur efficacité. En croisant approche scientifique, retours d'expérience et pragmatisme, il vise à faciliter l'évolution des pratiques dans la construction neuve et dans la réhabilitation, pour des bâtiments plus résilients face aux vagues de chaleur.



EXPERTISE & INGÉNIERIE TERRITORIALE | **BÂTIMENT** | MOBILITÉS |
INFRASTRUCTURES DE TRANSPORT | ENVIRONNEMENT & RISQUES |
MER & LITTORAL