

Isolation thermique - Toitures Inversées

15 solutions technologiques
pour le confort d'été

SOMMAIRE

Résumé	3
Description physique de la solution	3
Sur quel(s) principe(s) la solution agit sur le confort d'été	4
Maturité de la solution : Traditionnel ou innovant	4
Domaine d'emploi	5
Performance technique intrinsèque : Indicateurs de performances	5
Performance technique intrinsèque : Durée de vie	5
Performance technique intrinsèque : Impact environnemental	6
Coûts	7
Points d'attention pour réussir l'intégration de la solution : Sécuriser la mise en œuvre de la solution .	7
Points d'attention pour réussir l'intégration de la solution : Considérer les locataires	7
Points d'attention pour réussir l'intégration de la solution : Dimensionnement de la solution	8
Points d'attention pour réussir l'intégration de la solution : Commissionnement de la solution.....	8
Points d'attention pour réussir l'intégration de la solution : Exploitation et maintenance de la solution .	9
Points d'attention pour réussir l'intégration de la solution : Quid des autres exigences essentielles ? ..	9
Points d'attention pour réussir l'appropriation de la solution de la part des locataires	10
Performances type à l'échelle de l'ouvrage : Performance constatées par RENOPTIM (expé/lab)...	10
Annexe : la collection Solutions technologiques pour le confort d'été	10

Isolation thermique-Toitures Inversées

Fiche rédigée en 2023

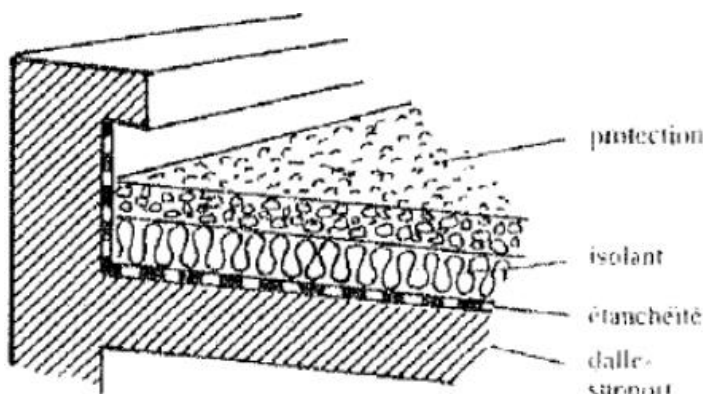
Cette fiche est extraite d'une collection de fiches « Solutions technologiques pour le confort d'été » élaborées dans le cadre du programme Profeel et du projet RENOPTIM, piloté par le CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment) et l'USH (Union Sociale pour l'Habitat). Cette collection est destinée aux professionnels des travaux qui devront dans le cadre d'opérations de rénovation de bâtiments de logements collectifs en France métropolitaine, prendre en compte le confort d'été dès la définition du projet. L'objectif est d'éclairer *la maîtrise d'ouvrage sur* le confort d'été en amont de la définition des travaux, via 15 solutions décrites précisément, qui contribuent au confort thermique d'été. NB : le détail de la collection figure en annexe. Le parti pris de cette collection est par solution technologique. Pour autant les auteurs ne souhaitent pas laisser à penser qu'une unique brique technologique est susceptible de corriger l'inconfort d'été d'un bâtiment existant.

Ce document ne peut se substituer aux textes de référence, qu'ils soient réglementaires (lois, décrets, arrêtés...) normatifs (normes, DTU ou règles de calcul) ou codificatifs (Avis Techniques, « CPT »).

Résumé

Dans ce procédé d'isolation thermique de toiture-terrasse, l'isolant thermique est déposé au-dessus de l'étanchéité à l'eau puis reçoit un élément de séparation (écran non tissé) puis doit ensuite être lesté et protégé. Il est commun aujourd'hui d'utiliser un matériau isolant en XPS (polystyrène extrudé) en raison de sa tenue à la compression. La protection lourde (granulat, dalle, pavée, dalle béton, terre, etc.) est fonction de l'usage du toit-terrasse et du climat. L'épaisseur totale maximum du procédé et donc de l'isolant est conditionnée par la hauteur de l'acrotère. Cette épaisseur maximum de l'isolant, conjuguée à la conductivité thermique du XPS conduit donc à une valeur maximum possible de la résistance thermique. En raison de l'exposition de l'XPS aux intempéries extérieures, la conductivité thermique sèche du matériau, en hiver, devrait être corrigée par le thermicien des effets de l'humidité et le cas échéant du drainage des eaux de pluie (suivant le type de protection lourde et d'écran non tissé). L'impact thermique de l'isolation thermique de la toiture, bénéfique en hiver et en été, sera limité aux logements directement sous la toiture-terrasse. En exploitation le contrôle annuel de la bonne évacuation des eaux pluviales est nécessaire.

Description physique de la solution



La toiture inversée désigne un système d'isolation en polystyrène extrudé (XPS) des toitures-terrasses où l'isolant thermique (XPS) se place sur le revêtement d'étanchéité puis lesté par une protection lourde de type : gravier, dalles à plots, végétalisation...etc. De grands ouvrages en France ont été réalisés selon cette technique entre autres l'esplanade de la Défense et le parvis de la bibliothèque François Mitterrand.

Néanmoins, ce procédé d'isolation thermique est aussi employé couramment sur des ouvrages de taille plus modeste tels que les immeubles d'habitation. La spécificité de ce système de toiture inversée est que l'isolant thermique de la toiture-terrasse est posé au-dessus du revêtement d'étanchéité et non en dessous, ce qui rend sa mise en œuvre plus rapide et son coût plus attractif. Le principal inconvénient de cette solution est la nécessité de déployer des épaisseurs d'isolants importantes pour atteindre des résistances thermiques intéressantes (en lien avec les mécanismes de subvention tels que les CEE) en raison des propriétés thermiques de l'isolant (XPS).

Sur quel(s) principe(s) la solution agit sur le confort d'été

Comme toute solution d'isolation, la toiture inversée, agit sur le flux de chaleur incident en atténuant son amplitude et simultanément en augmentant son déphasage par rapport au cas où il n'y a pas (ou moins) d'isolant. L'inertie apportée par la protection lourde disposée sur l'isolant (lestage en gravier, dalles en béton, toiture végétalisée...) a aussi un impact positif sur le confort d'été, mais l'inertie est dominée par la toiture en béton préexistante.

Dans la perspective du confort d'été, l'isolation d'un toit est critique pour le logement en dessous, car c'est la surface la plus exposée au rayonnement solaire directe en période estivale durant laquelle le soleil est haut. L'épaisseur de la couche d'atmosphère à traverser est plus faible et la durée d'ensoleillement est plus grande qu'en hiver. Les rayons du soleil sont quasi-perpendiculaires à la surface du toit et donc la composante du rayonnement solaire directe susceptible d'être absorbée par la surface extérieure de la toiture est nettement plus grande. L'ensemble favorise la montée en température de la surface extérieure qui de surcroît tend à être libre de tout ombrage.

Maturité de la solution : traditionnel ou innovant

Le concept de la toiture-inversée a vu le jour à partir des années 1956 et depuis, de nombreux avis techniques ont été délivrés et renouvelés. Jusqu'ici, ce procédé était donc considéré comme innovant puisque sa mise en œuvre relève de l'évaluation technique. Cependant, depuis le 30 juin 2021, la CCFAT (Commission Chargée de Formuler des Avis Techniques) a décidé de sortir du domaine d'application de la procédure d'Avis Technique, l'utilisation des panneaux en polystyrène extrudé (XPS) en isolation inversée pour les applications en toitures inaccessibles et techniques ou à zones techniques, les toitures accessibles aux piétons et séjour, les toitures jardins et végétalisées devenues traditionnelles. La mise en œuvre du procédé d'isolation inversée est maintenant définie dans les règles professionnelles de la CSFE (Chambre Syndicale Française de l'Étanchéité) « Isolation inversée de toiture-terrasse » de juin 2021. Les performances thermiques et mécaniques des panneaux sont vérifiées grâce à la certification ACERMI (Association pour la CERTification des Matériaux Isolants) avec l'usage « Isolant support de revêtement d'étanchéité posé en isolation inversée de toiture-terrasse ».

Toutefois, les procédés d'isolation inversée sous protection lourde accessible aux véhicules relèvent toujours de la technique non courante et doivent bénéficier d'une évaluation technique (DTA ou avis technique).

Domaine d'emploi

Le procédé de toiture-inversée peut s'utiliser sur éléments porteurs en maçonnerie conforme au DTU 20.12 accessible ou inaccessible, les zones techniques, terrasses jardin ou végétalisées, terrasses parking- toitures à retenue temporaire des eaux de pluie (le tout en neuf et en rénovation). Selon la nature et la destination du toit-terrasse, différents types de protection peuvent être posés sur l'isolant. Le procédé se déploie sans contrainte particulière sur les immeubles d'habitation partout sur le territoire métropolitain.

Seuls les panneaux isolants thermiques en XPS bénéficiant de la certification ACERMI avec l'usage Isolant support

de revêtement d'étanchéité posé en isolation inversée de toiture-terrasse » sont admis pour cet emploi.

Performance technique intrinsèque : Indicateurs de performances

Les indicateurs de performance d'une solution d'isolation en toiture-inversée sont déterminés par la résistance thermique de l'isolant XPS d'une part (qui dépend de son épaisseur et de sa conductivité thermique) et de l'inertie thermique apportée par la protection lourde (lestage) et celle de la structure support d'autre part a priori en béton. La mise en œuvre d'un écran de séparation a un impact sur la performance thermique en limitant les infiltrations d'eau dans l'isolant qui agissent sur l'augmentation de sa conductivité thermique (donc de la dégradation de sa performance d'isolation thermique).

Ainsi l'humidité et de plus le drainage de l'eau qui peut s'infiltrer à travers les panneaux XPS pour se retrouver entre l'isolant et la membrane d'étanchéité, engendre une perte de la performance en isolation du complexe par rapport au cas idéal. Ce phénomène est caractérisé par un accroissement de la conductivité thermique de l'isolant (typiquement $\lambda = +0.0015$ à 0.003 W/m/K) suivant la nature de la protection en surface (leste) et d'autre part d'une dégradation de la conductance nette de la paroi suivant le climat la présence et la nature de l'écran de séparation. Il appartient au thermicien de considérer ou pas ces abattements de performance d'isolation qui en résulte en s'appuyant sur NF EN ISO 6946 et NF EN ISO. 10456.

L'écran de séparation a pour fonction de réaliser l'indépendance de la protection rapportée vis-à-vis des panneaux isolants et d'éviter le passage de particules dans l'isolation, il permet d'optimiser les performances thermiques de la paroi (empêchant les infiltrations d'eau dans l'isolant agissant sur l'augmentation de sa conductivité thermique), il est perméable à la vapeur d'eau. Il est aussi fonction, du climat et du niveau de performance thermique souhaité. Sa mise en œuvre est obligatoire sauf dans les cas d'une protection par dalles à plots.

Performance technique intrinsèque : Durée de vie

La durée de vie d'un système de toiture inversée dans le cas d'une mise en œuvre conforme aux règles de l'art (absence de sinistralité liée à des défauts de mise en œuvre) et en cas d'entretien régulier est estimée à 25 ans en moyenne. Néanmoins tous les systèmes de toiture-inversée qui sont sous avis technique sont évalués pour donner des garanties d'assurance décennale comme tous les procédés sous avis technique.

Performance technique intrinsèque : Impact environnemental

L'analyse des données environnementales disponibles sur la base INIES, à date de rédaction, permet de définir des ordres de grandeur. Ces points de repère sont à mettre en perspective avec l'impact des autres gestes de rénovation et de la stratégie carbone définie par le maître d'ouvrage à l'échelle du parc.

NB : les émissions de gaz à effet de serre indiquées ci-après sont exprimées pour 50 ans d'utilisation, en comptabilisant les éventuels remplacements de composants au cours de cette période.

Système d'étanchéité

Si la rénovation prévoit le renouvellement de l'étanchéité, alors l'impact de la mise en œuvre de l'étanchéité neuve dépend du matériau utilisé. Le tableau ci-dessous donne des ordres de grandeur exprimés sous forme d'intervalles. Certains matériaux ne sont pas mentionnés par manque de données.

Matériau principal	Impact carbone sur 50 ans (kgCO ₂ eq/m ²)
Bitume, asphalte ou PVC	[4;13]
Caoutchouc synthétique (EPDM)	[10;17]
Thermoplastique polyoléfine (TPO ou FPO)	[6;26]
Résine méthacrylate de méthyle (MMA)	[20;73]

Isolant

Le seul matériau isolant utilisé en toiture inversée est le XPS (rigidité compatible avec le poids du lest et tenue à l'humidité). L'impact environnemental est déterminé pour 1m² de panneau et varie en fonction de l'épaisseur. À titre indicatif, pour une épaisseur de 180 mm correspondant à une résistance thermique d'environ 5 m².K/W, l'impact carbone varie entre 16 et 22 kgCO₂eq/m².

Protection lourde

Peu de données environnementales sont disponibles pour ces produits sur la base INIES. Une Donnée Environnementale par Défaut (DED, pénalisante) indique pour les graviers un impact de l'ordre de 30 kgCO₂eq/m³, ce qui correspondrait à 3 kgCO₂eq/m² pour une épaisseur de 10 cm.

Pour les dalles à plots en béton, une FDES collective indique un impact de l'ordre de 20 kgCO₂eq/m².

Pour les systèmes de végétalisation intensive ou extensive, se référer à la fiche dédiée aux toitures végétalisées.

Système complet

Selon la combinaison de produits retenue, le système complet peut représenter un impact de **20 à plus de 100 kgCO₂eq/m²** de toiture.

Coûts

ND

Points d'attention pour réussir l'intégration de la solution : Sécuriser la mise en œuvre de la solution

Le NF DTU 43.5, les Documents Techniques d'Application et les règles professionnelles de la CSFE (Chambre Syndicale Française d'Étanchéité) « Isolation inversée de toiture-terrasse » de juin 2021 fournissent les exigences et les détails de pose à respecter pour les points singuliers ou interactions.

Une bonne mise en œuvre de la toiture inversée est liée au respect des règles détaillées dans les documents de référence listés ci-dessus et au choix d'une main-d'œuvre professionnelle qualifiée, néanmoins, quelques points d'attention sont rappelés ci-dessous pour la mise en œuvre de cette solution :

Vérifier l'état de la membrane d'étanchéité en place avant début des travaux (celle-ci peut-elle être conservée ou remplacée) selon son état.

Certains emplois nécessitent de mettre en place un écran de désolidarisation entre l'étanchéité et l'isolant afin de prévenir tout risque de sinistre dû à la dilatation/rétractation des panneaux. Cet écran et sa mise en œuvre sont définis dans le DTA du procédé isolant ou dans les RP CSFE.

En cas de présence d'un écran de protection de l'isolant contre les eaux pluviales entre la protection (lestage et l'isolant), ce dernier doit être ouvert à la diffusion de vapeur, imperméable à l'eau liquide et imputrescible et conforme aux RP CSFE.

Les panneaux sont posés à l'avancement, en quinconce et jointifs en 1 ou 2 lits. Dans le cas de la pose en 2 lits, la seconde couche est décalée par rapport à la première, et l'emploi d'un écran de séparation (entre isolant et protection) est obligatoire.

Isoler thermiquement les acrotères de hauteur > 0,30 m au-dessus de la protection appliquée en toiture inversée.

La densité de l'isolant doit être sélectionnée en fonction de l'usage de la toiture inversée notamment en termes d'accessibilité (piétonne, véhicules, inaccessible, etc.).

Les panneaux d'isolants sont posés librement sur le revêtement d'étanchéités

Les quatre bords de panneaux sont feuillures (feuillures en forme de L mâle/femelle) assurant la jonction entre panneaux.

Points d'attention pour réussir l'intégration de la solution : Considérer les locataires

Les travaux sont tout à fait possibles en site occupé. Toutefois, signalons des nuisances sonores probables durant la phase chantier notamment pour les occupants du dernier étage.

La réalisation d'une toiture-inversée ne nécessite pas de gros travaux du moment qu'elle est déployée en extérieur et au-dessus de l'étanchéité directement, néanmoins la mise en place de nacelles ou de

monte-charge pour le transport des matériaux ainsi que leur stockage au pied du bâtiment durant la phase chantier peut impacter les locataires.

À noter que le comportement acoustique des logements sous la toiture sera probablement modifié avec l'émergence, par contraste, des bruits de voisinage intérieurs au bâtiment.

Points d'attention pour réussir l'intégration de la solution : Dimensionnement de la solution

La quantification de l'impact sur le confort d'été doit mobiliser l'utilisation d'un outil de Simulation Thermique Dynamique appliqué sur l'ensemble du logement sous la toiture-terrasse. L'outil doit être apte à prendre en compte chaque chemin thermique liant le milieu extérieur à l'intérieur du logement, les inerties des matériaux au pas horaire, la ventilation, les baies, leurs protections solaires et les usages présumés des occupants.

On notera que la hauteur de la corniche des lanternes existants peut limiter la hauteur disponible pour le complexe d'étanchéité (et donc de l'isolant) et limiter ainsi la résistance thermique de la toiture. Ceci peut conduire à sélectionner un autre procédé d'isolation pour les toitures-terrasses afin d'atteindre un objectif de résistance thermique donnée.

Le thermicien doit juger si le dimensionnement de l'isolant doit tenir compte pour l'hiver des corrections de la résistance thermique induit par l'humidité (suivant la nature du lest) et l'éventuelle infiltration d'eau sous l'isolant en l'absence d'écran de séparation.

Le cas échéant il est nécessaire de prendre en compte les ponts thermiques résiduels associés à toutes les singularités de la partie courante (ex-édicule d'ascenseur, évacuation gaz de combustion, VMC ...) et le long du périmètre de la toiture.

Signalons que le dimensionnement mécanique vis-à-vis de la tenue au vent du procédé (quantité de granulats ...) est décrit dans le DTA du procédé isolant ou dans les RP CSFE.

Points d'attention pour réussir l'intégration de la solution : Commissionnement de la solution

Il est nécessaire de :

- Vérifier l'homogénéité de la couche de protection (lestage).
- S'efforcer de détecter par constat visuel des voies d'eau éventuelles susceptibles de déplacer le lestage
- Vérifier l'absence de condensation en sous-face du toit-terrasse ou des signes d'apparition de condensation interstitielle au sein même du toit.

Points d'attention pour réussir l'intégration de la solution : Exploitation et maintenance de la solution

Les points d'attention sont :

L'entretien régulier des membranes d'étanchéité et des éléments de protection : nettoyage des entrées d'eau pluviale, démoussage des dalles, remplacement des mastics des bandes de solins...

L'inspection des relevés, enlèvement des mousses, détritrus,

Le déplacement des protections meubles, l'enlèvement des boues et des limons sur les revêtements autoprotégés (enlever tout objet étranger qui pourrait se trouver sur la toiture-inversée)

D'opérer des contrôles périodiques plus courts par le maître d'ouvrage (tous les 6 mois) et plus longs (tous les deux ans) par un étancheur pour détecter assez tôt les éventuels dommages (déplacements de gravier, mauvaises herbes, décollement de joints...etc.).

L'entretien régulier des raccords et des périphéries des toitures-inversées.

L'inspection des évacuations des eaux pluviales au moins une fois par an et éliminer tout blocage et deux fois par an si les toits sont adjacents aux arbres (inspecter de préférence à l'automne et au printemps).

Points d'attention pour réussir l'intégration de la solution : Quid des autres exigences essentielles ?

La solution offre des possibilités architecturales et un temps de pose intéressants (terrasse ouverte au public, toitures végétalisées...).

La mise en œuvre de l'isolant en toiture-inversée est indépendante des conditions hygrométriques intérieures et ne nécessite pas de pose de pare-vapeur contrairement aux autres systèmes d'isolation des toitures-terrasses, puisque ce dernier est posé sur le système d'étanchéité réputé fonctionnel.

Il n'y a pas de réelles limites pour l'accessibilité des toitures inversées à condition de choisir des densités de l'isolant qui soient adaptées aux charges induites par l'accessibilité.

La mise en œuvre d'une isolation en toiture-inversée protège la membrane d'étanchéité du vieillissement dû aux rayons UV, des variations de température, des cycles gel/ dégel et des dommages mécaniques.

La mise en œuvre de cette solution admettant d'être intégralement en pose libre, elle permet un réemploi ou un recyclage plus facile des différents composants en fin de vie.

Points d'attention pour réussir l'appropriation de la solution de la part des locataires

Cette solution n'implique aucune mesure d'appropriation particulière par les locataires.

Toutefois les bénéficiaires de la solution en termes de confort d'été seront uniquement les occupants du dernier étage qui verront en outre un comportement acoustique de leur logement modifié avec possiblement l'émergence par contraste des bruits de voisinage.

Signalons qu'un tel chantier est favorable à entreprendre une sensibilisation des occupants aux écogestes d'été. On pourra s'appuyer sur les vidéos produites par le projet RENOPTIM.

Performances type à l'échelle de l'ouvrage : Performances constatées par RENOPTIM (expé/lab)

ND

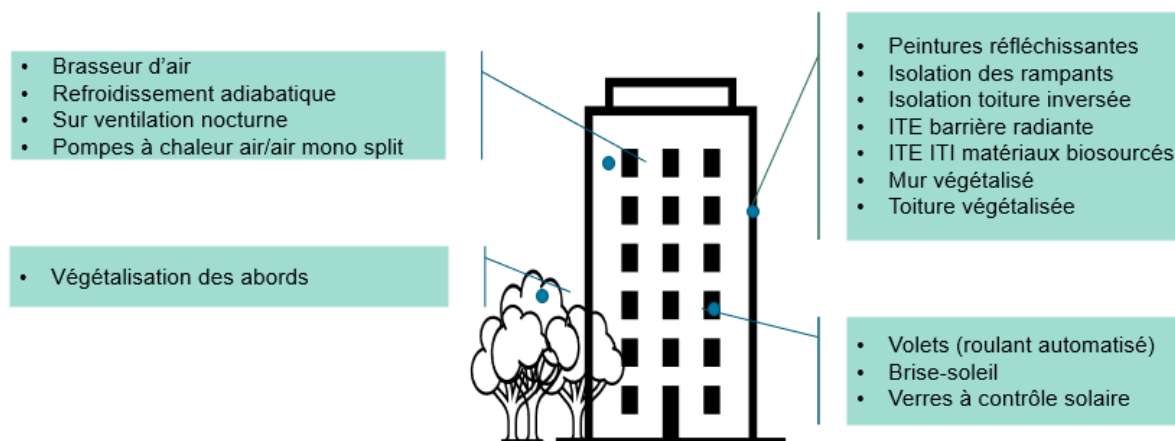
Annexe : la collection Solutions technologiques pour le confort d'été

De quoi s'agit-il ?

Cette fiche est extraite d'une collection de fiches « Solutions technologiques pour le confort d'été ». Cette collection constitue un livrable du projet PROFEEL2 RENOPTIM, piloté par le CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment) et l'USH (Union Sociale pour l'Habitat).

Pour quel public et pour quel objectif ?

Cette collection est à destination des professionnels des travaux qui devront dans le cadre de la rénovation de bâtiments d'habitation collectifs en France métropolitaine prendre en compte dans la définition du projet le confort d'été. L'objectif est d'éclairer en amont de la définition des travaux la maîtrise d'ouvrage sur le confort d'été à travers le parti pris de solutions technologiques qui concourent au confort thermique d'été. 15 solutions technologiques (schéma ci-dessous) y sont décrites suivant plusieurs axes : les principes physiques suivant lesquels la solution agit sur le confort d'été, le domaine d'emploi, la maturité de la solution, les indicateurs de performances, la durée de vie, l'impact environnemental, la sécurisation de la mise en œuvre du commissionnement et de l'exploitation, et la prise en compte des locataires...



Les 15 solutions technologiques de la Collection : une fiche par solution

Comment et quand cette collection a-t-elle été élaborée ?

Quels sont les droits de diffusion de cette collection ?

Ces fiches sont libres de diffusion, sous réserve d'une part, de ne pas dénaturer le sens des propos développés et d'autre part, de mentionner « RENOPTIM, un projet PROFEEL CEE ».

L'analyse que tout lecteur fera des fiches ainsi que les décisions qu'il serait amené à prendre à la suite de cette analyse relèveront de sa seule responsabilité. Par conséquent, le CSTB et l'USH ne sauraient être tenus responsables de quelconques dommages subis par tout lecteur du fait de cette analyse des fiches.

Avertissement

Ces documents ne peuvent se substituer aux textes de référence, qu'ils soient réglementaires (lois, décrets, arrêtés...) normatifs (normes, DTU ou règles de calcul) ou codificatifs (Avis Techniques, « CPT »).

Note des auteurs

Le parti pris de cette collection est par solution technologique. Pour autant les auteurs ne souhaitent pas laisser à penser qu'une unique brique technologique est susceptible de corriger l'inconfort d'été d'un bâtiment existant. La rubrique « Dimensionnement » de ces fiches insiste sur la nécessité d'une approche systémique qui doit considérer l'ensemble du logement pour quantifier les apports en matière de confort thermique d'été. Un outil, « SaaS RENOPTIM », en cours de développement à la date d'édition de cette collection, donnera accès à cette vision complète pour aider les professionnels dans leurs réflexions. Plus encore que pour le confort thermique d'hiver, le comportement des occupants en été est décisif. Or, certains occupants sous-estiment la relation de causalité qui existe entre le comportement quotidien et l'inconfort thermique d'été. Ainsi, pour les sensibiliser, les bonnes pratiques ont été mises en image dans 6 vidéos écogestes d'été à vocation pédagogique pour les occupants. Ces vidéos, gratuites peuvent être visionnées sur proreno.fr, la bibliothèque numérique de l'AQC : PRORENO : ProReno - La rénovation énergétique pour les professionnels.

En outre, il est recommandé de consulter les occupants lors de la définition du projet de rénovation pour bien établir le diagnostic du confort d'été (cf. dans ces fiches la rubrique « Considérer les occupants »), puis optimiser l'appropriation des solutions : les occupants sont les premiers experts de leur lieu de vie.

Enfin, les lecteurs sont invités à consulter le document "Rapport d'état de l'art : Confort thermique estival, vulnérabilité du parc bâti à la surchauffe et comportements d'adaptation aux fortes chaleurs", accessible gratuitement sur proreno.fr. Le confort thermique d'été est une problématique qui va devenir de plus en plus prégnante. Cet état de l'art développe les concepts et clés qui peuvent aider les professionnels à mieux appréhender le sujet.