

LE LIVRE BLANC

Colloque « Bien vivre sous les toits » - Amphithéâtre de la SMABTP - 2026

Sous la direction scientifique du Mastère Spécialisé Réhabilitation du Bâti ancien
École des Ponts / École de Chaillot

Rédaction du livre blanc : Dominique Naert et Thomas Lesne

ISBN : 979-10-989610-0-7

Comité de pilotage

Thomas Lesne, président du comité de pilotage, dirigeant de Toiture Parisienne, représentant GCCP

Dominique Naert, directeur du Mastère Spécialisé Réhabilitation Énergétique du Bâti Ancien, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées-Institut Polytechnique de Paris et Ecole de Chaillot-Cité de l'Architecture et du Patrimoine.

Mériadec Aulanier, délégué général du GCCP

Ronan Lelièvre, délégué de métier des Compagnons Couvreurs du Devoir

Florent Cordier, responsable de l'Institut Supérieur de la Couverture

Sommaire

Comité de pilotage 2
Avant-propos 4
Introduction — Pourquoi ce colloque, pourquoi maintenant 5
Chapitre 1 — L'ouverture des Assises 7
Chapitre 2 — La physiologie humaine face à la chaleur 9
Chapitre 3 — La dimension sociale : habiter le dernier étage aujourd'hui 11
Chapitre 4 — Architecture patrimoniale et réhabilitation 12
Chapitre 5 — Vivre avec la lumière naturelle l'hiver et à l'ombre l'été 15
Chapitre 6 — Les dimensions physiques du bâtiment 17
Chapitre 7 — Solutions d'architecture et d'ingénierie 21
Chapitre 8 — Les enseignements des pays chauds et tropicaux 31
Chapitre 9 — Les ateliers de l'après-midi 33
Chapitre 10 — Conclusion : de la connaissance à l'action collective 42
Plan d'actions 44
Ressources en ligne 50
Annexe — Phénomènes physiques et cahier des charges idéal 51
Annexe — Communications partenaires 57
Glossaire 63

Avant-propos

« Le toit, c'est l'élément le plus exposé de notre patrimoine, la première barrière face aux éléments. » — Stéphan Lemonsu, en ouverture du colloque

Ce livre blanc restitue les travaux des Premières Assises de France des métiers de la couverture, organisées autour du colloque « Bien vivre sous les toits », qui a réuni le temps d'une journée près de 500 participants au siège de la SMABTP : couvreurs, architectes, architectes des Bâtiments de France, ingénieurs, chercheurs, industriels, syndics, élus, sociologues et habitants du dernier étage. Cette diversité, rare dans ce format, est précisément ce qui donne sa valeur à la matière recueillie : elle croise le geste du compagnon et le calcul de l'ingénieur, la donnée de santé publique et le vécu de l'habitant, la doctrine patrimoniale et l'urgence climatique.

Le fil conducteur de la journée peut se résumer en une question, volontairement provocante dans sa formulation : peut-on encore, demain, habiter sous les toits ? La réponse qui se dégage des échanges n'est ni un oui naïf, ni un non résigné. C'est un « oui, à condition » — condition de connaissance du bâti, de méthode collective, de formation des professionnels et d'accompagnement des habitants.

Ce document reprend la structure même de la journée — table ronde après table ronde, atelier après atelier — pour n'en perdre ni la matière ni la dynamique, tout en l'enrichissant de chapitres transversaux consacrés à la physiologie du confort thermique, aux dimensions physiques du bâtiment, aux solutions d'ingénierie et aux enseignements que l'architecture des pays chauds peut nous offrir. A noter que ce document est un compte-rendu précieux des échanges entre les différents acteurs présents au colloque, il n’a pas vocation à statuer précisément sur les enjeux techniques, scientifiques et architecturaux qui restent à préciser au cas par cas sur les projets de réhabilitation. Si le colloque s'est concentré sur le patrimoine urbain parisien, notamment haussmannien, la démarche et les principes qui en ressortent s'adressent à tout type de bâti, ancien ou récent, urbain comme rural.

Puisse ce livre blanc nourrir, comme le souhaitait Éric Pallot en conclusion de la journée, « un formidable gisement d'idées » qu'il reste maintenant à transformer en actes.

Introduction — Pourquoi ce colloque, pourquoi maintenant

Ce colloque n'est pas né du hasard d'un calendrier. Dominique Naert, qui l'a initié avec Thomas Lesne et Mériadec Aulanier, en résume l'intention première : mettre dans une même agora des professionnels qui se côtoient sur les chantiers depuis toujours, sans grande occasion d'échanger sur le fond, ni de se comprendre.

> *« L'idée première de ce colloque était de mettre dans la même agora des professionnels qui se côtoient mais qui restent dans leur couloir de nage, de mettre en œuvre l'intelligence collective et de s'acculturer mutuellement. La première étape était donc de créer un incubateur de filière collaborative et créative. »*
>
> **— Dominique Naert, directeur du Mastère Spécialisé Réhabilitation Énergétique du Bâti Ancien, ENPC-Chaillot**

En France, la couverture représente près de 30 millions de bâtiments et entre 600 millions et un milliard de mètres carrés de toiture à entretenir. Paris, à elle seule, compte 138 000 toits, soit environ 32 millions de mètres carrés — près d'un tiers de la surface de la capitale.

> *« En France, la couverture c'est près de 30 millions de bâtiments et donc entre 600 millions et 1 milliard de mètres carrés de toiture à entretenir. C'est donc une responsabilité immense. »*
>
> **— Édouard Bastien, ancien président du GCCP**

Cette responsabilité prend un relief nouveau avec le dérèglement climatique. Le toit, longtemps pensé comme une protection contre le froid et la pluie, doit désormais devenir un régulateur thermique face à la chaleur. Or l'histoire du bâti raconte l'inverse : les combles et chambres de bonne ont été conçus, historiquement, pour ne pas mourir de froid — non pour résister à la canicule.

> *« En 1879, moins 25°C, et effectivement l'eau gèle sous les toits. [...] La question préoccupante à l'époque, c'est : comment ne pas mourir de froid sous les toits ? »*
>
> **— Julien Bigorgne, Atelier parisien d'urbanisme (Apur)**

Ce renversement de paradigme — de la lutte contre le froid à la lutte contre la chaleur — est au cœur de ce livre blanc. Il structure chacun des chapitres qui suivent, organisés dans l'ordre même des échanges de la journée : de l'introduction institutionnelle aux cinq tables rondes thématiques, des trois ateliers de travail à la synthèse du grand témoin.

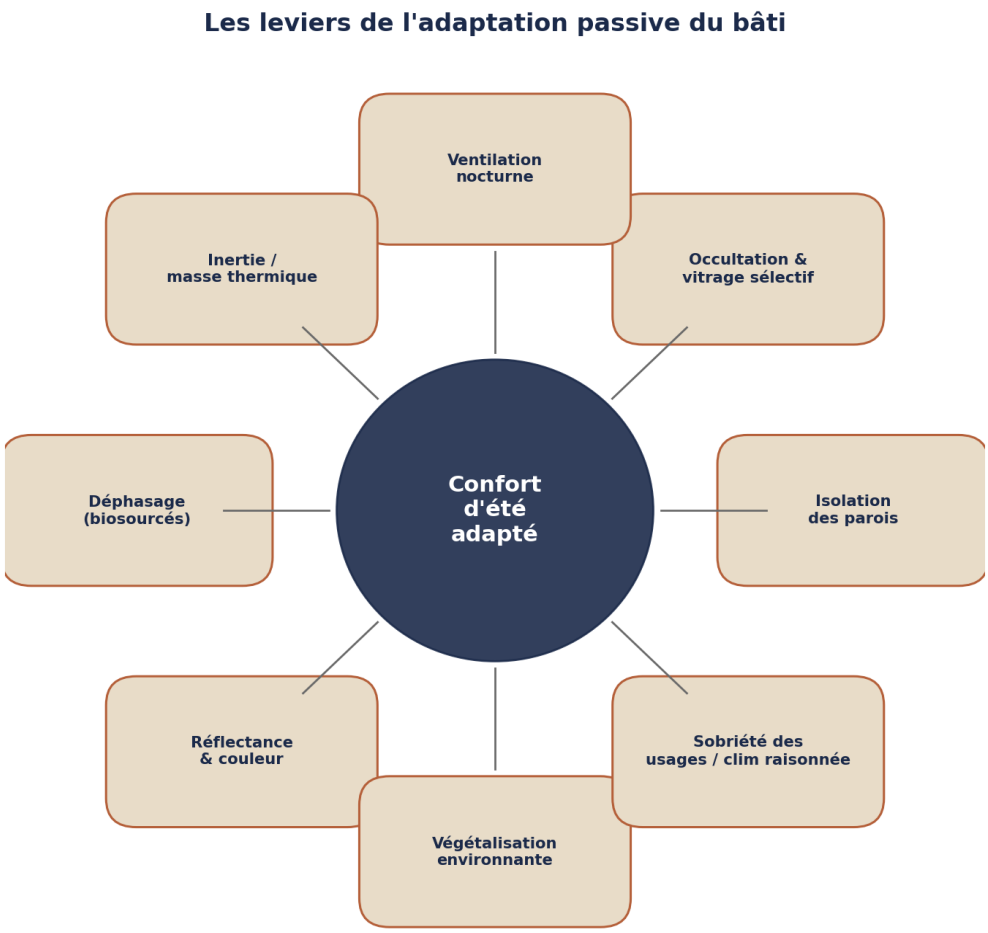


Fig. 1 — Les leviers de l'adaptation passive du bâti face au confort d'été (synthèse des interventions du colloque).

Chapitre 1 — L'ouverture des Assises : un défi technique, environnemental, patrimonial et humain

Le métier de couvreur porte, depuis décembre 2024, une reconnaissance rare pour un savoir-faire du bâtiment : le geste du couvreur et des ornemanistes a été inscrit au patrimoine culturel immatériel de l'humanité de l'UNESCO, aux côtés d'un nombre restreint de pratiques artisanales françaises. Ce classement, obtenu après près de dix années de mobilisation de la profession, n'est pas une simple distinction honorifique : il reconnaît la transmission d'un geste — l'intelligence de la main, la lecture du bâti, le rapport à la pluie et au vent — que ce livre blanc entend précisément mettre au service d'un nouveau défi, celui de la chaleur. C'est dans cet esprit, entre fierté patrimoniale et responsabilité face au changement climatique, que s'est ouverte la journée du colloque.

La journée s'est ouverte sur un constat partagé par l'ensemble des intervenants institutionnels : le métier de couvreur, séculaire, entre dans une nouvelle ère où il ne s'agit plus seulement de protéger de l'eau, mais de réguler la chaleur.

> *« C'est dans cet esprit que nous nous sommes battus pendant presque 10 ans pour faire inscrire le geste du couvreur et des ordres humanistes au patrimoine culturel immatériel de l'UNESCO. Aujourd'hui, nous avons déjà fait entrer notre métier dans le 21e siècle sans jamais oublier ce que nous devons à nos maîtres du Moyen Âge. »*
>
> **— Édouard Bastien, ancien président du GCCP**

> *« Aujourd'hui, nous ne sommes pas seulement ici pour parler de bâtiments. Nous sommes ici pour parler de vie, de confort, d'avenir. »*
>
> **— Stéphan Lemonsu, journaliste, animateur du colloque**

> *« Le défi qui est devant nous est immense. Un défi technique, un défi environnemental, et aussi un défi patrimonial et avant tout peut-être un défi humain et social. »*
>
> **— Édouard Bastien, ancien président du GCCP**

Ronan Lelièvre, délégué de métier des Compagnons couvreurs du Devoir, a souligné la tension entre le temps long de la construction — plusieurs décennies — et la rapidité des évolutions climatiques et d'usage depuis les années 1970 : c'est cette tension qui impose de repenser les solutions.

> *« Nous nous inscrivons sur du temps long, souvent pour plusieurs décennies, mais dans le même temps le contexte évolue rapidement avec un réchauffement climatique qui s'accélère et les usages du bâti qui ont profondément changé depuis les années 1970. »*
>
> **— Ronan Lelièvre, délégué de métier, Compagnons couvreurs du Devoir**

L'architecte du patrimoine Frédéric Auclair a ouvert la matinée par une mise en perspective anthropologique du toit, rappelant qu'il est depuis toujours l'expression d'une intelligence de l'observation et de l'adaptation au climat local — de l'igloo polaire aux toitures enterrées du Sud saharien.

> *« Notre humanité est fragile et ce qui est inscrit dans nos ADN, c'est le fait de survivre [...] par la transmission des expériences acquises [...]. Je vais retrouver l'intelligence de l'observation de mon environnement. »*
>
> **— Frédéric Auclair, architecte du patrimoine**

Éric Pallot, président d'ICOMOS France et grand témoin de la journée, a fixé d'emblée le changement de paradigme central du colloque : après des décennies où l'enjeu de l'isolation était le froid, c'est désormais le chaud qui s'impose.

> *« C'est en effet plus aujourd'hui la problématique de l'isolation au chaud qui s'impose que celle de l'isolation au froid : c'est vraiment un changement complet de paradigme. »*
>
> **— Éric Pallot, président d'ICOMOS France, architecte en chef des Monuments historiques honoraire**

Il a posé quatre principes qui reviendront tout au long de la journée : connaître le bâti avant d'intervenir ; ne pas limiter la réflexion au seul toit ni au seul édifice, mais l'ouvrir à l'îlot et au quartier ; ne pas répondre aux contraintes climatiques par la seule mécanisation de l'air ; et ne pas faire table rase de l'existant.

- S'adapter, c'est d'abord connaître : nature, matériaux, dispositions du bâti existant.
- S'adapter, c'est intégrer l'environnement — travailler à l'échelle du quartier, pas seulement du bâtiment.
- S'adapter, c'est éviter de répondre aux contraintes climatiques par la seule climatisation mécanique.
- S'adapter, ce n'est pas faire table rase de l'existant : le patrimoine est un réservoir de solutions.

Chapitre 2 — La physiologie humaine face à la chaleur : ce que dit la santé publique

Avant d'aborder les solutions techniques, le colloque a choisi de poser d'emblée l'enjeu sanitaire, avec les données présentées par Karine Laaidi de Santé publique France lors de la première table ronde. Elles donnent la mesure du problème que ce livre blanc entend adresser.

2.1 — Une surmortalité massive et sous-estimée

> *« Sur les années 2017-2025, on a eu 40 000 décès liés à la chaleur. [...] On a des décès tout l'été dès qu'il fait chaud, pas seulement pendant les canicules. »*
>
> **— Karine Laaidi, Santé publique France**

Ce chiffre, comparé par Stéphan Lemonsu à celui, plus médiatisé, de la mortalité routière (environ 3 000 morts par an), donne la mesure du décalage entre perception publique et réalité sanitaire du risque thermique.

2.2 — Le dernier étage, facteur de risque identifié

Une étude menée après la canicule de 2003 sur les personnes de 65 ans et plus en région parisienne a établi un lien direct entre l'étage d'habitation et le risque de décès.

> *« Elles avaient un risque de décès qui était deux à trois fois plus élevé lorsqu'elles habitaient dans un quartier plus chaud, et quatre fois plus élevé lorsqu'elles habitaient dans une chambre sous les toits. »*
>
> **— Karine Laaidi, Santé publique France**

Ce risque touche prioritairement les personnes de plus de 45 ans, mais concerne aussi les femmes enceintes (risque de prématurité), les enfants (baisse des apprentissages scolaires) et les travailleurs extérieurs — les couvreurs eux-mêmes étant en première ligne de l'exposition.

2.3 — Le piège du dernier étage : accessibilité et isolement

Un aspect moins connu, documenté par une étude américaine sur les « oubliés de la canicule de 2003 », concerne l'accessibilité physique des logements sous toiture, souvent desservis par un escalier de service distinct de l'escalier noble.

> *« Comme ils étaient soit malades soit en surpoids [...] pour aller chercher de la fraîcheur dehors, il fallait descendre mais après il faut remonter. [...] Ce sont des gens qui sont morts tout seuls sous les toits. »*
>
> **— Karine Laaidi, Santé publique France**

2.4 — Ce que révèle le terrain : inégalités et tactiques d'adaptation

La géographe Malou Allagnat, dont la thèse porte sur les inégalités sociales et spatiales face aux fortes chaleurs (plan climat de la métropole de Lyon), a documenté par une enquête immersive les stratégies d'adaptation, souvent dérisoires, développées par les habitants.

> *« Il y a des vulnérabilités thermophysiologiques liées à notre corps, mais aussi des vulnérabilités socio-économiques liées à nos conditions de vie. [...] Ils développent des ruses et des tactiques [...] mais c'est une efficacité vraiment fugace. »*
>
> **— Malou Allagnat, chercheuse en géographie sociale**

Ces tactiques — drap au congélateur, éventail, volets fermés toute la journée — révèlent aussi un dilemme sanitaire : l'isolement social qu'impose le repli derrière des volets clos aggrave la vulnérabilité psychique, en particulier des personnes déjà isolées.

2.5 — Le métabolisme humain face à la chaleur : comprendre pour mieux concevoir

Le corps humain est un système homéotherme : il maintient sa température interne autour de 37°C quelles que soient les conditions extérieures, grâce à un centre de régulation situé dans l'hypothalamus. Face à une élévation de la température ambiante, l'organisme mobilise trois mécanismes de défense. La vasodilatation cutanée, d'abord, augmente le débit sanguin périphérique pour évacuer vers la peau la chaleur produite par le métabolisme, au prix d'une sollicitation accrue du système cardiovasculaire. La sudation, ensuite, refroidit le corps par évaporation : chaque litre de sueur évaporé dissipe environ 600 kilocalories, mais ce mécanisme perd son efficacité dès que l'air ambiant est déjà saturé en humidité, ou lorsque la ventilation au contact de la peau est insuffisante — ce qui explique pourquoi une chaleur humide est physiologiquement plus dangereuse qu'une chaleur sèche de même température. Enfin, l'adaptation comportementale — recherche de l'ombre, réduction de l'activité, hydratation — complète ces réponses, mais suppose une marge de manœuvre dont ne disposent pas toujours les publics les plus vulnérables évoqués plus haut.

Ces mécanismes ont une limite : au-delà d'un certain seuil de chaleur et d'humidité combinées, le corps ne parvient plus à évacuer sa propre chaleur métabolique, quelle que soit l'intensité de la sudation. C'est le stress thermique, qui se traduit cliniquement par une cascade de symptômes — crampes, épuisement, puis, en l'absence de récupération, coup de chaleur, véritable urgence vitale par défaillance des organes. Ce risque est démultiplié lorsque la température ne redescend pas suffisamment la nuit : c'est l'absence de récupération thermique nocturne, plus que le seul pic diurne, qui explique une large part de la surmortalité observée lors des canicules prolongées — un mécanisme central pour comprendre pourquoi la ventilation nocturne (chapitres 6 et 7) constitue un levier aussi déterminant que l'isolation.

Ce cadre physiologique éclaire directement les solutions développées dans ce livre blanc. Il n'est pas nécessaire de ramener un logement à une température de confort hivernal pour restaurer les conditions d'une thermorégulation efficace : un écart de quelques degrés avec l'extérieur, conjugué à un renouvellement d'air suffisant pour ne pas entraver la sudation, suffit à sortir l'organisme de la zone de stress thermique. C'est cette logique — rafraîchissement modéré plutôt que climatisation intégrale — qui sous-tend le compromis avancé par plusieurs intervenants du colloque.

> *« Je vous rappelle que quand vous avez 4 ou 5 degrés en moins par rapport à l'extérieur, vous avez l'impression d'être beaucoup mieux. [...] Si vous passez de 35 dehors à 21 dans l'appartement, vous allez avoir un vrai problème de santé. »*
>
> **— Olivier Safar, Safar Immobilier, président UNIS France et Grand Paris**

Cette donnée physiologique n'est pas seulement médicale : elle est un critère de conception. Elle fixe l'objectif réellement visé par l'ensemble des solutions présentées dans ce livre blanc — isolation, occultation, inertie, ventilation nocturne, rafraîchissement adiabatique, puits climatique. Il ne s'agit pas de reproduire un climat artificiel constant, mais de restaurer un écart et une variabilité jour/nuit suffisants pour que le corps humain retrouve sa capacité naturelle de régulation.

Chapitre 3 — La dimension sociale : habiter le dernier étage aujourd'hui

3.1 — De la chambre de domestique au loft : une histoire de la ségrégation verticale

Julien Bigorgne (Apur) a rappelé que la stratification sociale verticale des immeubles haussmanniens — étages nobles en bas, chambres de service sous les combles — répondait à une logique bioclimatique et économique de l'époque, largement inversée aujourd'hui par l'arrivée de l'ascenseur.

> *« On met les domestiques en haut. [...] Il n'y a pas le même intérêt porté à la qualité de l'espace que dans les étages nobles. »*
>
> **— Julien Bigorgne, Apur**

> *« Maintenant que l'ascenseur est arrivé dans les immeubles haussmanniens, on s'aperçoit que finalement le 6e étage devient l'étage noble. »*
>
> **— Christophe Rodriguez, directeur général, IFPEB**

3.2 — Une question de justice sociale autant que technique

Alexandre Florentin, ancien élu parisien et cofondateur du collectif « 7e Ciel » (mouvement Demain 50 degrés), a porté dans les deux tables rondes de l'après-midi une alerte forte : à défaut de politique publique claire, les occupants les plus fragiles du dernier étage restent les premières victimes des vagues de chaleur.

> *« Le climat ne revient pas en arrière. [...] Plus personne dans l'histoire de l'humanité ne connaîtra les étés frais de votre enfance. [...] Les habitants du dernier étage chercheront des responsables. »*
>
> **— Alexandre Florentin, collectif du dernier étage / mouvement Demain 50 degrés**

Il propose de transposer au risque thermique la méthode qui a permis de diviser par plus de cinq la mortalité routière en France : éducation dès l'école, mobilisation industrielle, contrôle et accompagnement — bâtir une véritable « sécurité climatique ».

3.3 — Le coût, frein et facteur d'inégalité entre copropriétaires

Olivier Safar a détaillé les tensions concrètes que ces enjeux font naître en assemblée générale de copropriété, entre les occupants des étages inférieurs, peu concernés par la chaleur sous toiture, et ceux du dernier étage.

> *« On se retrouve avec des vraies difficultés dans certains immeubles. [...] Le copropriétaire qui est au premier étage va vous dire : ça fuit ou ça ne fuit pas ? Ça ne fuit pas. Bah alors, on ne fait pas les travaux. »*
>
> **— Olivier Safar, Safar Immobilier**

Maud Lelièvre, autrice de Faire face à la canicule et membre de la mission « Paris à 50° », a défendu une position plus radicale sur la climatisation individuelle, tout en posant la question de fond : peut-on encore habiter au dernier étage sans accompagnement massif de la transformation du bâti ?

> *« C'est une question de justice sociale et de politique, pas seulement technique. [...] Une question radicale se pose : peut-on encore habiter au dernier étage ? »*
>
> **— Maud Lelièvre, mission Paris à 50°, autrice**

Cette position a suscité un débat vif dans la salle, notamment sur l'interdiction de la climatisation individuelle, révélateur des tensions qui traversent encore la profession et les habitants entre approche low-tech et recours à la technique active.

Chapitre 4 — Architecture patrimoniale et réhabilitation : conserver sans figer

Ce chapitre central pour la démarche de ce livre blanc — résolument tourné vers la réhabilitation plutôt que la table rase — reprend la deuxième table ronde du colloque, consacrée à la conservation du patrimoine bâti des toitures habitées.

4.1 — Un vocabulaire à clarifier : restauration, rénovation, réhabilitation, restructuration

Judicaël de la Soudière, architecte du patrimoine et enseignante au Centre des hautes études de Chaillot, a insisté sur la charge sémantique des mots employés, chacun engageant une intention différente vis-à-vis de l'existant.

> *« Restructuration, je me méfie de ce mot. [...] Réhabilitation, c'est un terme que j'aime bien [...]. On réhabilite quelqu'un qui a été injustement maltraité par le passé — et pareil pour un bâtiment. »*
>
> **— Judicaël de la Soudière, architecte du patrimoine, École de Chaillot**

4.2 — Le patrimoine comme réservoir de solutions perdues

Plusieurs savoir-faire anciens, abandonnés au XXe siècle, réapparaissent aujourd'hui comme des réponses pertinentes au confort d'été : la terre crue (torchis), qui régule naturellement l'hygrométrie ; la tuile de terre cuite, plus claire et moins captatrice de chaleur que l'ardoise ; les cheminées et petits ouvrages de couverture (châtières, passe-oiseaux, lucarnes), vecteurs de ventilation naturelle. L'intérêt de ces matériaux traditionnels ne tient pas seulement à leurs propriétés physiques : ils ont surtout fait leurs preuves à travers les quatre saisons, répétées sur plusieurs années voire plusieurs décennies, quand un matériau ou un procédé récent ne dispose encore que d'un recul limité.

> *« Le monde de la toiture, c'est un monde d'ouverture et de ventilation, qu'il faut absolument réintégrer dans ces couvertures. »*
>
> **— Judicaël de la Soudière, architecte du patrimoine**

4.3 — Le rôle des Architectes des Bâtiments de France : accompagner, non empêcher

Frédéric Masviel, chef de l'UDAP 75, a détaillé le fonctionnement de l'instruction des dossiers de toiture à Paris — 138 000 toits, 32 km² — et démonté l'image d'une administration systématiquement restrictive.

> *« Sur les toitures, nous en avons refusé 10 %. C'est vous dire que nous ne sommes pas si empêcheurs de tourner en rond que cela. [...] Il faut cesser d'être dans une espèce de clivage où on aurait le patrimoine versus climat. »*
>
> **— Frédéric Masviel, UDAP 75, architecte des Bâtiments de France**

Il insiste sur le rôle décisif de la qualité des dossiers déposés : c'est souvent l'insuffisance des pièces techniques, plus que le principe même du projet, qui motive un refus ou un délai.

4.4 — Le prototype comme outil de dialogue

Frédéric Masviel comme les ateliers de restitution de l'après-midi convergent vers une même méthode : construire des prototypes physiques, testés grandeur nature, plutôt que de multiplier les débats théoriques.

> *« Le prototype, c'est la seule réalité concrète qui permet de se mettre d'accord. [...] J'aime bien l'idée du modèle — il faut le construire et le bâtir. »*
>
> **— Frédéric Masviel, UDAP 75**

4.5 — Une lecture historique du changement : l'exemple des cahiers de prescriptions

Jean-Marc Zuretti, directeur de l'École de Chaillot, a proposé en clôture une méthode déjà éprouvée à Paris pour concilier des injonctions contradictoires : les cahiers de prescriptions architecturales, urbaines et paysagères, élaborés collectivement pour les berges de Seine (1999, puis enrichis d'une dimension environnementale en 2022).

> *« Il serait utile qu'effectivement on arrive à inciter à ce que Paris [...] se dote d'un cadre collectif de définition et de réflexion et d'action, pour les toitures comme cela a été fait pour les berges de Seine. »*
>
> **— Jean-Marc Zuretti, directeur, École de Chaillot**

Cette approche, née à Paris pour un patrimoine urbain dense et haussmannien, est transposable à d'autres centres historiques — Rennes, Bordeaux, Toulouse ont été cités au cours de la journée — et, plus largement, à tout patrimoine bâti ancien, urbain ou rural, dès lors que la méthode de diagnostic et de concertation collective est respectée.

4.6 — Un débat qui dépasse le colloque : vers une évolution du cadre réglementaire des ABF

Le colloque a délibérément choisi le registre du dialogue et de l'accompagnement plutôt que celui de l'affrontement réglementaire (chapitre 4.3). Il faut néanmoins signaler, en complément, un débat public plus large et antérieur au colloque, qui porte spécifiquement sur les protections solaires — volets, brise-soleil, stores extérieurs — et sur le pouvoir d'autorisation des architectes des Bâtiments de France dans les zones protégées.

La Fondation Abbé-Pierre a, dans une série de rapports publiés entre 2023 et 2025, demandé une évolution de la doctrine des ABF pour faciliter les travaux d'amélioration de l'habitabilité thermique estivale, jusqu'à proposer, dans sa version la plus récente, de transformer l'avis conforme aujourd'hui exigé pour l'installation de protections solaires en zone patrimoniale en un avis simple — c'est-à-dire consultatif plutôt que contraignant. Cette proposition a été reprise dans une proposition de loi déposée en 2025, encore en débat au moment de la rédaction de ce livre blanc.

Ce débat, plus tranché que les échanges du colloque, mérite d'être mentionné ici pour deux raisons. D'une part, il porte sur exactement les mêmes objets techniques que ceux traités aux chapitres 5 et 7 de ce livre blanc — volets extérieurs, brise-soleil, protections solaires du dernier étage — et vient objectiver, à l'échelle nationale, la tension entre urgence sanitaire et préservation patrimoniale déjà identifiée par Frédéric Masviel et Alexandre Florentin. D'autre part, il illustre par contraste la voie que privilégie ce livre blanc à la suite du colloque : plutôt que de retirer aux ABF leur pouvoir d'appréciation, construire avec eux des cahiers de références partagés (chapitre 4.5) et des typologies de solutions déjà validées (chapitre 9.1), pour que l'instruction des dossiers s'appuie sur un référentiel commun plutôt que sur une négociation cas par cas. Les deux voies ne sont pas nécessairement exclusives, et la seconde peut désamorcer une partie de la pression qui alimente la première.

4.7 — Un développement postérieur au colloque : la « bouilloire thermique », pendant estival de la passoire thermique

Un second développement, plus récent que le colloque lui-même, mérite d'être signalé tant il en prolonge directement les constats : l'émergence, au cours de l'été 2026, de la notion de « bouilloire thermique » dans le débat public et juridique français, construite en miroir de celle, déjà installée, de « passoire thermique ». Ce livre blanc note ce développement à titre de veille, sans pouvoir en anticiper l'issue législative.

Sur le plan jurisprudentiel, le tribunal judiciaire de Paris a jugé, le 19 mai 2026, que les critères de décence d'un logement — étanchéité à l'air, aération suffisante, ventilation en bon état — s'appliquaient à un logement manifestement surchauffé, quand bien même le décret de décence, conçu à l'origine contre

l'habitat dégradé et le froid, ne fixe aucun seuil de température estivale. La Cour de cassation a précisé, le 4 juin 2026, que l'obligation de délivrer un logement décent s'apprécie tout au long du bail, et non seulement à l'entrée dans les lieux — ouvrant la voie à des recours de locataires en cours de bail pour surchauffe caractérisée, alors même que la chaleur ne figure pas, à ce jour, comme critère autonome d'indécence.

Sur le plan législatif et réglementaire, une proposition de loi transpartisane vise à intégrer formellement le confort d'été aux obligations du bailleur, et une évolution du DPE est à l'étude pour y intégrer un indicateur de confort d'été dédié, dont l'affichage pourrait devenir obligatoire dans les annonces de vente et de location — un indicateur qui ferait pour la chaleur ce que la lettre énergétique fait aujourd'hui pour le froid. Cette perspective rejoint directement l'observation de Florent Loussouarn au chapitre 5.4 sur le rôle du DPE comme levier de sensibilisation, et la proposition déjà portée dans le plan d'actions de ce livre blanc (chapitre D) de publier des références techniques partagées.

Sur le plan du financement, enfin, MaPrimeRénov' a ouvert en 2026 une prise en charge dédiée au confort d'été — brasseurs d'air fixes de plafond et protections solaires fixes de parois vitrées (volets, brise-soleil) — pouvant atteindre 90 % du montant des travaux pour les ménages modestes, dans la limite d'un plafond de 40 000 € HT pour l'ensemble du projet. Cette aide n'est toutefois pas mobilisable pour un geste isolé : elle suppose de s'inscrire dans un parcours de rénovation d'ampleur, accompagné par un conseiller France Rénov', avec un gain de classe DPE à la clé — ce qui rejoint directement la proposition de ce livre blanc de généraliser les brasseurs d'air (chapitre 7.3 quater) et les brise-soleil (chapitre 5.3), longtemps considérés comme des solutions mineures et aujourd'hui enfin éligibles à un financement public dédié.

Ces trois évolutions convergent avec le constat central de ce livre blanc — reformulé ici en creux par le marché immobilier lui-même, une étude de 2026 estimant qu'un logement cumulant plusieurs atouts contre la chaleur pourrait se valoriser de 12 à 20 % au-dessus d'un bien équivalent qui surchauffe : le confort d'été n'est plus un supplément d'âme, mais un critère de décence, de valeur et, potentiellement demain, d'obligation légale, au même titre que l'a été la lutte contre le froid pendant plusieurs décennies.

Chapitre 5 — Vivre avec la lumière naturelle l'hiver et à l'ombre l'été

La troisième table ronde a traité la question, à première vue paradoxale, de l'ouverture des toitures à la lumière : comment maximiser les apports lumineux et solaires utiles l'hiver, tout en s'en protégeant l'été ?

5.1 — La fenêtre de toit, un radiateur ou une solution ?

Benoît Foucaud (Toiture Parisienne) a résumé le problème rencontré sur le bâti haussmannien parisien, criblé de châssis de toit non protégeables par des volets extérieurs classiques.

> *« Vous retrouvez 26 châssis, donc 26 petits radiateurs, ça c'est juste sur la face avant. [...] Une superbe isolation, mais on dispose plein de petits radiateurs qu'on ne peut pas protéger. »*
>
> **— Benoît Foucaud, Compagnon du Devoir, Toiture Parisienne**

Ce point mérite d'être précisé, une partie du propos ayant été mal restituée dans la transcription initiale du colloque. Ce que décrit Benoît Foucaud est le paradoxe suivant : à Paris, les couvreurs sont amenés à réaliser d'excellentes isolations de toiture, mais les règles patrimoniales imposent souvent de remplacer les vitrages simples par de simples doubles vitrages sans réel pouvoir isolant renforcé, tandis que les volets ou protections solaires extérieures sont très fréquemment jugés non traditionnels et donc interdits — sauf à ce que le propriétaire ou l'occupant prenne le risque de les poser malgré tout. Le résultat, photographies à l'appui, est celui d'une isolation performante sur le reste de la toiture mais neutralisée par un apport de chaleur important via ces vitrages non protégés, que Benoît Foucaud qualifie précisément de « radiateurs ».

Laurent Lepage (Toiture Midi-Pyrénées) a nuancé : la fenêtre de toit moderne, correctement accessoirisée (volet roulant, vitrage à contrôle solaire), n'est pas le problème mais une des solutions, en particulier pour les combles toulousains aveugles, sans lucarne ni ventilation naturelle.

> *« Je crois que la fenêtre de toit n'est pas un problème, c'est une des solutions qui existe. [...] On sait finalement transformer l'apport de chaleur en, pour l'hiver, un apport de lumière et, l'été, un apport de ventilation. »*
>
> **— Laurent Lepage, Compagnon du Devoir, Toiture Midi-Pyrénées**

5.2 — La technologie du vitrage à contrôle solaire

Erwan Baquet (Saint-Gobain Recherche Vitrage) a présenté le principe des couches d'oxydes métalliques déposées sur le verre, qui filtrent sélectivement le rayonnement infrarouge — principal vecteur d'apport de chaleur — tout en conservant la transparence à la lumière visible.

> *« On est capable de réfléchir ou d'absorber les infrarouges qui sont l'apport thermique principal dans le bâtiment [...] sans surcoût important pour l'isolation thermique du vitrage. »*
>
> **— Erwan Baquet, Saint-Gobain Recherche Vitrage**

5.3 — L'occultation extérieure, condition d'efficacité

Un point de consensus technique fort est ressorti : la protection solaire n'est réellement efficace que placée côté extérieur, avant que le rayonnement ne pénètre dans le vitrage.

> *« L'efficacité de la protection solaire va être effective si on la met à l'extérieur. »*
>
> **— Franck Leguillon, CSTB**

5.4 — Le facteur humain : l'usage compte autant que la technique

Olivier Deves (Velux) a rappelé que la performance d'un dispositif passif dépend de son usage quotidien — fermer le volet au bon moment, ouvrir la fenêtre la nuit — ce qui replace l'éducation des habitants au cœur du dispositif.

> *« Si on oublie de descendre son volet au bon moment de la journée, forcément on va accumuler de la chaleur. »*
>
> **— Olivier Deves, Velux**

Florent Loussouarn (Pouget Consultants) a illustré, à partir du cas de Rennes, comment un travail fin par typologie architecturale — plus de 300 simulations réalisées — permet de sortir tous les logements étudiés de la catégorie « passoire thermique » du DPE tout en respectant les exigences patrimoniales de l'UDAP.

> *« Sur ces 300 simulations, il n'y a aucun logement qu'on n'a pas réussi à sortir de la zone passoire tout en respectant les exigences patrimoniales de l'UDAP. »*
>
> **— Florent Loussouarn, Pouget Consultants**

Chapitre 6 — Les dimensions physiques du bâtiment : une approche multicritère

La quatrième table ronde, plus technique, a interrogé les ordres de grandeur physiques à l'œuvre dans la toiture, condition pour hiérarchiser correctement les priorités d'intervention.

6.1 — La règle des ordres de grandeur

Franck Leguillon (CSTB) a illustré ce principe par l'exemple des fenêtres de toit : une surface vitrée représentant à peine 2 % de la toiture peut concentrer 60 à 70 % des flux thermiques non désirés si elle n'est pas équipée de protection solaire.

> *« Une paroi vitrée en toiture qui représente 2 % de la surface totale va représenter 60 à 70 % [des flux] sur une fenêtre qui n'est pas équipée de protection solaire. »*
>
> **— Franck Leguillon, CSTB**

Laurent Arnaud (Cerema) a rappelé, à propos de la proposition — évoquée en séance — de peindre les toits de Paris en blanc pour lutter contre l'îlot de chaleur, l'exigence de mesurer avant d'agir : « ce sera epsilon sur le résultat » si l'on n'a pas préalablement quantifié le gain réel.

> *« Il faut connaître le rendement que l'on va avoir avec chacune des solutions. [...] Il faut une bonne maîtrise des résultats vers lesquels on veut aller. »*
>
> **— Laurent Arnaud, chef du département bâtiment durable, Cerema**

6.2 — Isolation : diviser les apports par trente

Marie Jeffroy (Isover) a détaillé les quatre leviers cumulables de l'adaptation passive, chacun apportant un gain thermique mesurable, pour un total pouvant atteindre 10°C de réduction de température intérieure au pic de chaleur.

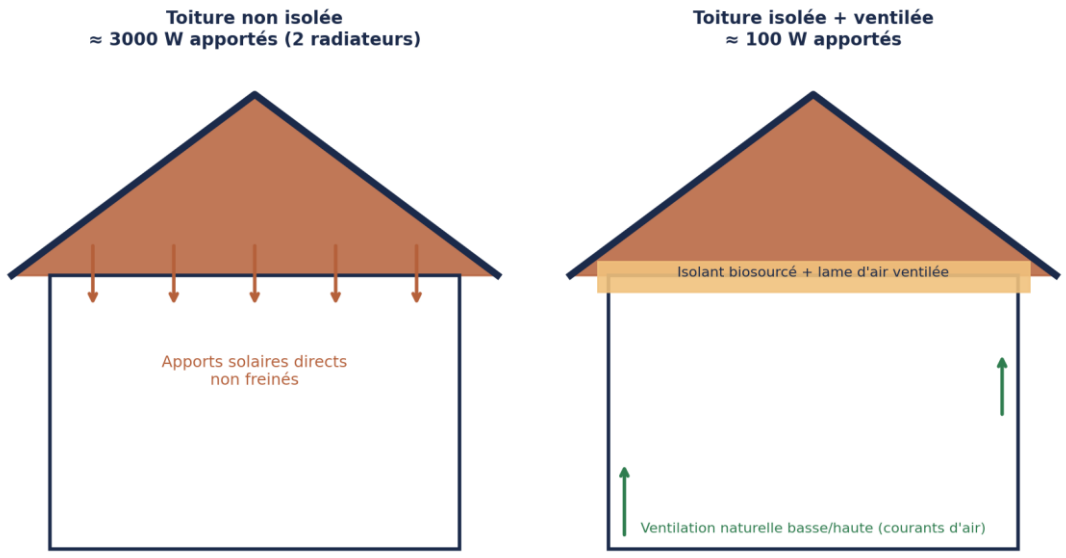


Fig. 2 — Comparaison schématique des apports de chaleur par une toiture non isolée (≈ 3000 W) et une toiture isolée et ventilée (≈ 100 W), d'après les données présentées par Marie Jeffroy (Isover).

- Isolation des parois opaques : un comble non isolé reçoit environ 3000 W par la toiture (l'équivalent de deux radiateurs allumés) ; isolé, ce flux tombe à environ 100 W — soit une division par trente.

- Occultation et vitrage à contrôle solaire des fenêtres de toit.
- Inertie thermique : la masse (revêtements ou plancher lourds) « piège » la chaleur résiduelle, sur le principe du pain de glace dans une glacière — jusqu'à 2°C de gain supplémentaire.
- Déphasage thermique : les isolants biosourcés denses (fibre de bois) retardent la restitution de la chaleur vers la nuit, période où l'on peut ventiler — environ 1°C de gain additionnel.

> *« Ces trois gestes en fait vont permettre de réduire la température intérieure au moment du pic de chaleur de l'ordre de 7 degrés. [...] Si on somme tout, on peut gagner jusqu'à 10 degrés de gain de température intérieure. »*
>
> **— Marie Jeffroy, ingénieur responsable offre et solutions, Isover**

Point de méthode relevé en relecture de ce livre blanc par Franck Leguillon (CSTB) : ces ordres de grandeur dépendent fortement des hypothèses retenues, en particulier de la prise en compte ou non du rayonnement solaire direct sur la toiture, au-delà de la seule différence de température entre intérieur et extérieur. Sur la base du facteur solaire de la toiture — de l'ordre de 20 % sans isolation à 0,6 % avec isolation — et pour une surface de toiture de 50 m², les apports peuvent ainsi atteindre des ordres de grandeur nettement supérieurs, de l'ordre de 10 kW sans isolation à 300 W avec isolation. Les deux approches ne sont pas contradictoires : elles illustrent la nécessité, déjà soulignée au chapitre 6.1, de toujours préciser les hypothèses retenues avant de comparer des ordres de grandeur.

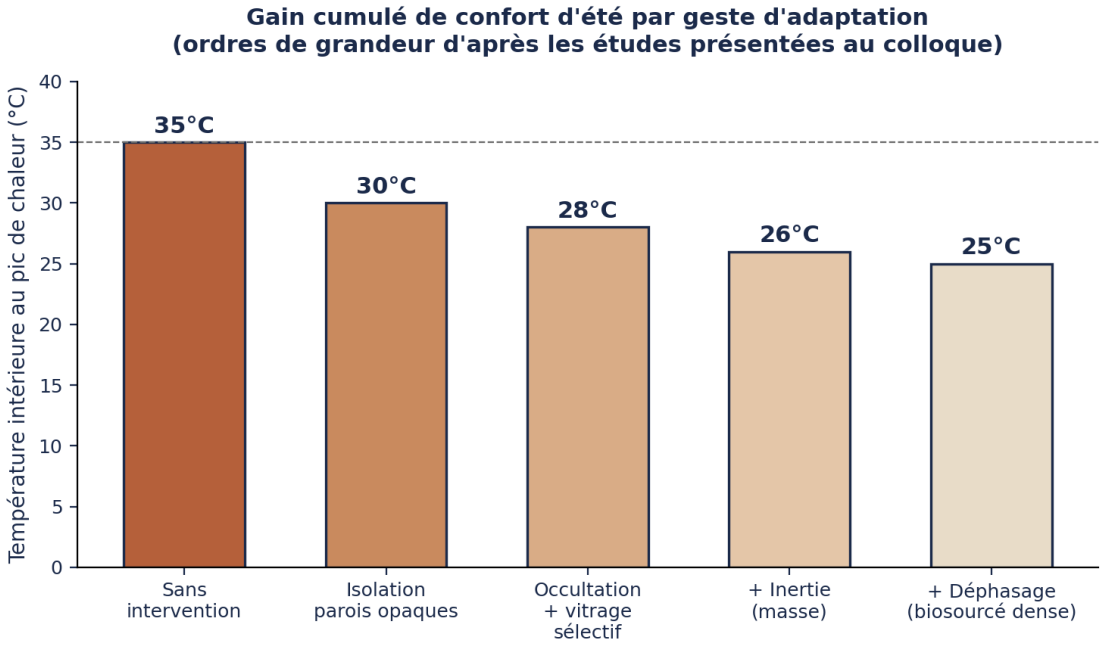


Fig. 3 — Gain cumulé de confort d'été par geste d'adaptation passive (ordres de grandeur d'après les interventions du colloque).

6.2 bis — Températures de surface et de comble : quelques repères hors colloque

Au-delà des ordres de grandeur présentés ci-dessus, il est utile de préciser, à titre pédagogique et indépendamment des données proprement issues du colloque, les températures de surface atteintes par différentes solutions de toiture par forte chaleur, et leur répercussion sur le comble sous-jacent.

Solution de toiture	Surface au soleil	Comble sous toiture, en situation très chaude*
Zinc sombre / ardoise	65–85 °C	50–60 °C
Tuile	55–75 °C	48–58 °C
Coolroof très réfléchissant	45–60 °C	45–52 °C
Toiture végétalisée extensive bien humide	~30–45 °C	40–48 °C
Toiture végétalisée + forte épaisseur de substrat + végétation + humidité	~25–40 °C	38–45 °C

** Pour un air extérieur de l'ordre de 40 °C, comble mal ventilé et mal isolé. Dans des conditions extrêmes — ciel parfaitement dégagé, vent faible, toiture sombre et très exposée — une surface peut ponctuellement dépasser 80 °C. Valeurs indicatives, données hors colloque, à visée pédagogique.*

Le cas très intéressant de la toiture végétalisée

C'est là que le raisonnement devient différent.

Une toiture végétalisée ne se contente pas de réfléchir le rayonnement solaire : elle utilise une partie de l'énergie reçue pour évapotranspirer l'eau. L'énergie solaire sert donc en partie à transformer l'eau en vapeur plutôt qu'à chauffer la couverture — le même principe physique que la sudation humaine (Annexe, phénomène 3).

Et le substrat apporte une masse thermique supplémentaire.

Mais il y a un point essentiel : une toiture végétalisée sèche perd une grande partie de son avantage estival. L'eau disponible devient alors déterminante.

Et c'est précisément le problème des combles

Ce n'est pas seulement la température de l'air extérieur qui compte. Une couverture à 70–80 °C transmet de la chaleur par rayonnement vers la sous-face et la charpente. Le volume sous toiture peut alors devenir une véritable bouilloire thermique — au sens déjà développé au chapitre 4.7.

Avec 40 °C dehors, un comble mal ventilé et mal isolé peut facilement atteindre 50, 55 voire 60 °C. Sous un toit parisien en zinc, par exemple, la situation peut devenir particulièrement sévère.

Il faut aussi distinguer température de surface et température ressentie : une couverture à 70 °C n'implique pas que l'air soit à 70 °C, mais elle constitue une source radiative extrêmement importante.

C'est d'ailleurs un point essentiel pour la réflexion sur l'habitabilité et le logement sous les toits que porte ce livre blanc : lorsque les canicules passent de 30 à 40 °C, le problème n'est plus simplement celui de « climatiser davantage », mais celui de la conception physique de l'enveloppe, de la ventilation des couvertures, du déphasage, des matériaux et de la capacité du bâtiment à évacuer la chaleur.

6.3 — Le potentiel de gisement foncier des combles

Julien Bigorgne (Apur) a chiffré le potentiel de mètres carrés aménageables dans les combles parisiens non habités entre 3 et 4,5 millions de m², un gisement confirmé par une étude de l'association Promodul comme l'un des plus importants réservoirs de surface facilement mobilisable en France.

6.4 — L'acteur oublié : le plaquiste

Marie Jeffroy a signalé un point souvent négligé : dans les réhabilitations où l'on n'intervient pas sur la couverture elle-même, c'est le plaquiste qui pose l'isolant intérieur — un corps de métier absent des discussions mais clé dans la réussite de l'opération.

6.5 — Une temporalité désynchronisée du climat

Emmanuel Baumgartner, bureau d'études spécialisé en couverture, a mis en lumière un décalage structurel entre le rythme de renouvellement des toitures (50 à 70 ans, déclenché par la vétusté) et celui, bien plus rapide, du dérèglement climatique.

> *« Le problème aujourd'hui, c'est que ce calendrier n'est pas aligné avec les événements climatiques. »*
>
> **— Emmanuel Baumgartner, bureau d'études, maître d'œuvre spécialisé en couverture**

6.6 — Tableau comparatif des matériaux de couverture : poids, inertie et albédo

Le débat sur la réflectance et la couleur des couvertures, ouvert au chapitre 8 à propos du zinc et de l'ardoise, gagne à être élargi à l'ensemble des matériaux de couverture traditionnels et contemporains. Chaque matériau combine, dans des proportions différentes, quatre propriétés physiques déterminantes pour le confort d'été : son poids surfacique, qui conditionne la structure porteuse nécessaire ; son inertie thermique propre, liée à sa masse et à son épaisseur ; son albédo, qui détermine la part du rayonnement solaire réfléchie plutôt qu'absorbée ; et sa durabilité, qui renvoie à la question de temporalité soulevée par Emmanuel Baumgartner ci-dessus. Le tableau ci-dessous en propose une synthèse à titre indicatif — les valeurs d'albédo, en particulier, varient sensiblement selon l'état de surface, la couleur exacte et l'ancienneté du matériau (le zinc, on l'a vu au chapitre 9.1, voit son albédo augmenter avec le temps sous l'effet de sa patine).

Matériau	Poids surfacique	Albédo typique (couleur)	Inertie thermique propre	Durabilité indicative	Points de vigilance
Zinc (couverture parisienne)	4–6 kg/m²	0,25–0,40 — gris, s'éclaircit avec la patine (chapitre 9.1)	Très faible (masse métallique fine)	60–100 ans	Nécessite une lame d'air (chapitre 9.2 bis) ; dilatation thermique à traiter par joints debout ; matériau patrimonial UNESCO à Paris.
Cuivre	5–6 kg/m²	0,30–0,50 — patine évolutive (orangé puis vert-de-gris)	Très faible	100 ans et plus	Coût élevé ; excellente durabilité ; ruissellement pouvant colorer les eaux de pluie (à traiter en réemploi).
Ardoise naturelle	40–45 kg/m²	0,10–0,20 — sombre, forte absorption solaire (chapitre 4.2)	Modérée (masse minérale, faible épaisseur)	80–150 ans	Impact carbone de production et de transport significatif si non locale (chapitre 4.2, Judicaël de la Soudière) ; déconseillée en habitat pavillonnaire standardisé.
Tuile plate (terre cuite)	45–55 kg/m²	0,20–0,35 selon teinte	Modérée à bonne	50–100 ans	Large gamme de teintes disponibles, dont des versions claires ; bon compromis patrimonial hors zone d'ardoise.
Tuile romane / tuile canal	40–50 kg/m²	0,30–0,45 — teintes claires méditerranéennes	Modérée	50–100 ans	Ventilation naturelle intrinsèque par recouvrement des tuiles ; typique du bâti toulousain et méditerranéen (chapitre 5.1, Laurent Lepage).
Tuile béton	45–55 kg/m²	0,15–0,30 selon teinte	Bonne (masse importante)	30–50 ans	Alternative économique à la terre cuite ; impact carbone de fabrication plus élevé ; moins valorisée en secteur patrimonial.
Lauze / lave (pierre)	120–250 kg/m²	0,15–0,40 selon la roche (sombre en lave, plus clair en lauze calcaire)	Très élevée (grande masse)	100–300 ans	Charge structurelle majeure, charpente à dimensionner en conséquence ; matériau d'exception en zone de montagne (Auvergne, Quercy).
Chaume	30–40 kg/m² (forte épaisseur, 25–35 cm)	0,35–0,45 — teinte paille clair	Isolant par épaisseur plus qu'inertiel ; fort déphasage	25–50 ans (entretien régulier)	Risque incendie à traiter réglementairement ; entretien fréquent ; usage traditionnellement rural (Normandie notamment).
Bac acier laqué	5–10 kg/m²	0,10–0,70 — très variable selon le laquage (RAL, y compris teintes claires)	Quasi nulle (fine tôle)	30–50 ans (garantie laquage)	Conductivité élevée : exige un isolant et une lame d'air soignés ; usage surtout technique, industriel ou agricole, peu adapté au patrimoine urbain dense.

Valeurs indicatives, ordres de grandeur généralement admis — l'albédo dépend fortement de l'état de surface, de la teinte exacte et du vieillissement du matériau ; à vérifier au cas par cas. Voir glossaire pour la définition de l'albédo.

Ce tableau confirme un point déjà souligné au chapitre 8 : il n'existe pas de matériau universellement optimal pour le confort d'été. Un matériau à faible albédo mais forte inertie (lauze, ardoise épaisse) peut offrir un déphasage suffisant pour rester pertinent malgré une absorption solaire élevée, tandis qu'un matériau clair mais sans masse (bac acier laqué blanc) n'apporte un bénéfice réel que combiné à une isolation et une lame d'air performantes. Le choix reste donc, comme le rappelait Marie Jeffroy au chapitre 6.2, une question d'enveloppe globale plutôt que de single critère.

Chapitre 7 — Solutions d'architecture et d'ingénierie pour la toiture de demain

La quatrième table ronde et l'atelier B (« Bien faire ») ont mis en débat les techniques de mise en œuvre les plus prometteuses.

7.1 — Le sarking : isoler par l'extérieur sans perdre de volume

Le sarking — pose d'un platelage et d'une isolation continue au-dessus de la charpente existante — a été présenté comme une solution efficace pour supprimer les ponts thermiques au niveau des chevrons, tout en conservant le volume habitable intérieur du comble.

> *« C'est venir faire au-dessus de la charpente existante, un platelage bois et mettre une isolation continue. L'avantage c'est que ça permet de conserver le volume habitable dans le comble. »*
>
> **— Jérémie Boucher, Directeur R&D Pavatex, Soprema**

> *« On a une efficacité plus importante parce que l'isolation est continue. On n'a plus de ponts thermiques au niveau de la charpente. »*
>
> **— Franck Leguillon, CSTB**

Cette technique se heurte toutefois à des contraintes réglementaires locales (PLU, gabarit de toiture) et esthétiques, en particulier sur des couvertures à galbe comme à Toulouse, où une fenêtre de toit « se voit comme le nez au milieu de la figure ».

7.2 — Les matériaux biosourcés : une mise en œuvre encore à sécuriser

Jérémie Boucher (Soprema) et Rodolphe Houdusse Picard (couvreur) ont souligné le développement rapide des matériaux biosourcés (fibre de bois, béton de chanvre), mais aussi le décalage entre cette diffusion et l'adaptation des pratiques de chantier — phasage, gestion de l'humidité, séchage.

> *« On a des chapes liquides qui viennent être apportées avec beaucoup d'eau qui vient saturer les éléments d'isolation. [...] Il y aura un boulot à faire là-dessus. »*
>
> **— Rodolphe Houdusse Picard, Compagnon du Devoir, établissement Houdusse Picard**

7.3 — Ventilation active et passive : le retour des courants d'air

Benoît Foucaud a résumé une idée simple mais essentielle, reprise par plusieurs intervenants sous des formes variées — le « free cooling » de Velux, les « courants d'air » des anciens.

> *« Velux aujourd'hui appelle ça du free cooling. Nos anciens appelaient ça des courants d'air : c'est tout simplement ouvrir en bas de l'immeuble et ouvrir en haut de l'immeuble pour avoir un courant d'air et un flux d'air. »*
>
> **— Benoît Foucaud, Compagnon du Devoir, Toiture Parisienne**

7.3 bis — Le rafraîchissement adiabatique par conduit de cheminée : la solution VestaClim

Le cinquième atelier de la journée (table ronde 5) a exploré plus avant les solutions de ventilation adaptées au bâti ancien. Benoît Lefort, cofondateur de VestaClim, a présenté une solution de reconversion des conduits de cheminée existants — souvent désaffectés dans les immeubles anciens — en systèmes de ventilation par insufflation, filtration et rafraîchissement adiabatique. Le principe : un ventilateur de faible puissance (une cinquantaine de watts) place le conduit en légère surpression, l'air passant au préalable sur un média minéral humidifié qui le rafraîchit par évaporation, sans recourir à un fluide frigorigène ni rejeter de chaleur à l'extérieur — à la différence d'un climatiseur split classique.

> *« On a créé Vestaclim pour résoudre le problème de surchauffe estivale dans le bâti ancien en transformant les conduites de cheminée en systèmes de refroidissement et de purification de l'air. [...] Un ventilateur de VMC placé dans le conduit de cheminée [...] consomme une cinquantaine de watts. »*
>
> **— Benoît Lefort, VestaClim**

Le pilotage du système s'adapte à l'hygrométrie et à la température réelles, avec pour objectif de constituer, dans le logement, une véritable « pièce refuge » surventilée la nuit. Une expérimentation de surventilation nocturne pilotée était lancée, au moment du colloque, dans une dizaine d'appartements parisiens. La solution mobilise, autour du couvreur, un réseau de partenaires élargi — architectes, ramoneurs, plombiers-chauffagistes, administrateurs de biens — pour qui l'enjeu touche à la fois la résilience climatique et la désirabilité du bien dans le temps.

Cette expérimentation a depuis été retenue lauréate de l'appel à projets « Construire au Futur, Habiter le Futur » et élargie à 15 logements anciens d'Île-de-France, avec un suivi continu par capteurs des conditions de confort et d'usage. Les premiers résultats communiqués par VestaClim avancent une consommation jusqu'à dix fois inférieure à celle d'une climatisation conventionnelle, et une économie d'énergie pouvant atteindre 50 % par rapport à un système de climatisation individuel classique — des chiffres émis par l'entreprise elle-même, sans évaluation indépendante publiée à ce jour ; ce livre blanc recommande qu'ils soient confirmés par un organisme tiers (CSTB ou équivalent) à mesure que l'expérimentation se poursuit, mais ils confirment d'ores et déjà l'intérêt du principe adiabatique par conduit de cheminée pour le bâti ancien non climatisable (chapitre 7.3 ci-dessus).

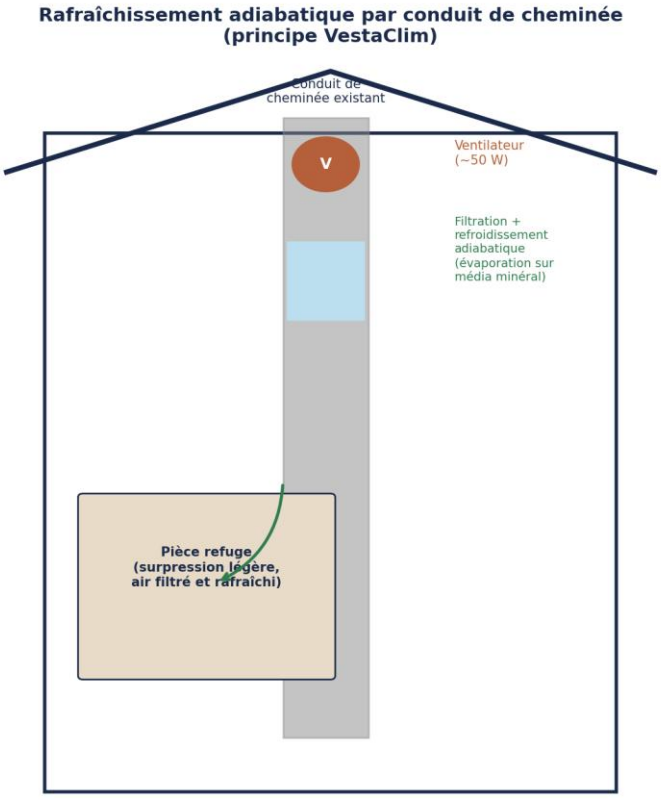


Fig. 4 — Principe du rafraîchissement adiabatique par conduit de cheminée reconverti (solution VestaClim, Benoît Lefort).

7.3 ter — Le puits canadien (ou provençal) : rafraîchir par le sol

Parmi les solutions passives de rafraîchissement de l'air neuf, le puits canadien — appelé puits provençal lorsqu'il est utilisé en mode rafraîchissement plutôt qu'en préchauffage — mérite une place dans la palette des réponses, notamment pour les projets de réhabilitation lourde disposant d'un accès au sol (cour, jardin, sous-sol). Le principe est simple : l'air neuf destiné à la ventilation est acheminé par un

conduit enterré à 1,5–2 mètres de profondeur, où la température du sol reste stable toute l'année, autour de 12 à 14°C. Ce conduit préchauffe l'air en hiver et le rafraîchit en été avant son entrée dans le logement, par simple échange thermique avec la masse du sol — sans aucune consommation énergétique active hormis, le cas échéant, un ventilateur de faible puissance pour assurer le tirage.

Ce dispositif, peu évoqué en tant que tel au cours des tables rondes mais cohérent avec l'ensemble des principes défendus par les intervenants — solutions passives, bon sens paysan, échange thermique naturel plutôt que climatisation mécanique — trouve naturellement sa place dans les réhabilitations disposant d'un espace extérieur mobilisable, en complément des solutions de ventilation par les combles ou par les conduits de cheminée présentées ci-dessus. Il illustre, à l'échelle du sol, le même principe physique que le free cooling nocturne évoqué par Benoît Foucaud : exploiter un différentiel de température naturellement disponible plutôt que le produire artificiellement.

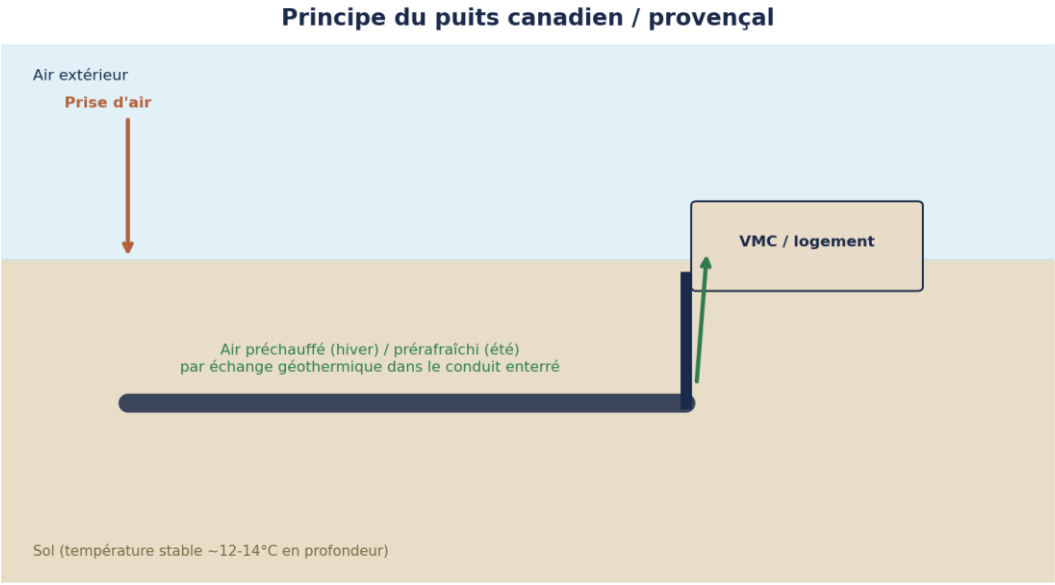


Fig. 5 — Principe du puits canadien / provençal : échange thermique de l'air neuf avec la masse stable du sol.

7.3 quater — L'effet cocotte-minute des combles, les brise-soleils et les brasseurs d'air

Trois leviers complémentaires, moins développés au fil des tables rondes que l'isolation ou la ventilation par tirage thermique, méritent d'être rassemblés ici : la ventilation propre des combles pour éviter l'effet de surchauffe en chaudière, les protections solaires mobiles de type brise-soleil, et le brassage d'air en complément de la ventilation.

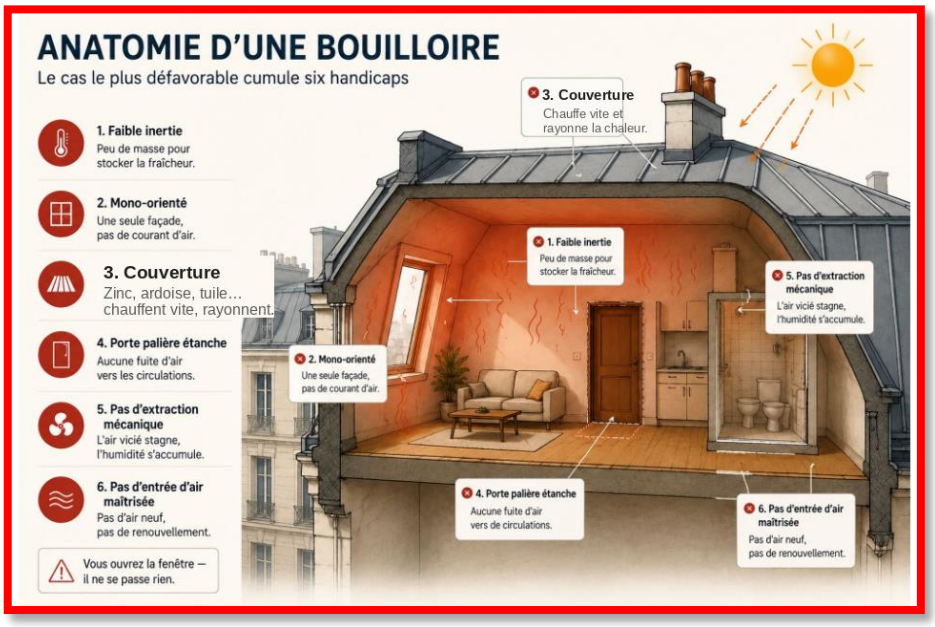
Maxime Coudray a résumé d'une image simple le risque couru par un logement sous toiture privé de ventilation propre : celui d'une cocotte-minute, où la chaleur s'accumule sans pouvoir s'échapper.

> *« Un logement sous les toits sans ventilation est une cocotte-minute — faible inertie, mono-orienté, étanche — qui monte à 50°. Il faut d'abord capter l'air frais. »*
>
> **— Maxime Coudray, ingénieur transition**

Cette image vaut aussi, spécifiquement, pour les combles perdus eux-mêmes : lorsqu'ils sont mal ventilés, un comble non habité peut atteindre en toiture des températures largement supérieures à l'air extérieur, transformant le plafond du logement du dernier étage en une source de rayonnement continue même après le coucher du soleil. Le traitement ne se limite donc pas à l'isolation du plancher de comble : il suppose une entrée d'air basse (chapitre 9.2 bis) et une sortie haute au faîtage, exactement selon le principe de la lame d'air ventilée détaillé plus haut, mais appliqué cette fois au grand volume du comble perdu et non à la seule lame sous couverture.

Sur les protections solaires mobiles, Véronique Pappe (Ekopolis) a rappelé, lors de la cinquième table ronde, la hiérarchie à respecter : la priorité absolue est d'empêcher le rayonnement solaire d'atteindre le vitrage, avant même de raisonner ventilation.

> *« La première question, avant la ventilation, est d'empêcher le soleil de rentrer. C'est la base : volets, brise-soleil, végétalisation extérieure et isolation avec des matériaux biosourcés à fort déphasage. »*
>
> **— Véronique Pappe, Ekopolis**



— Image Maxime Coudray

> *« La première question, avant la ventilation, est d'empêcher le soleil de rentrer. C'est la base : volets, brise-soleil, végétalisation extérieure et isolation avec des matériaux biosourcés à fort déphasage. »*
>
> **— Véronique Pappe, Ekopolis**

Ce principe, également relevé par Yannik Beix lors de l'atelier A à propos des volets roulants ajourés et des stores en toile — qui laissent passer la lumière tout en filtrant une partie du rayonnement, une alternative aux volets pleins pour les habitants en télétravail —, rejoint la doctrine bioclimatique déjà bien établie hors du champ du colloque : une protection solaire fixe est la plus efficace en position horizontale au sud et verticale sur les autres orientations, et gagne à être complétée par des brise-soleils orientables (BSO) pour s'adapter à la course du soleil selon la saison, en bloquant le rayonnement d'été tout en laissant pénétrer la lumière plus rasante de l'hiver.

Le brassage d'air, enfin, n'a pas été explicitement abordé par les intervenants du colloque, mais mérite sa place dans la palette de solutions à faible coût et faible consommation. Un brasseur d'air — ventilateur de plafond de forte puissance, aujourd'hui décliné en versions réversibles utilisables aussi en hiver pour redistribuer l'air chaud accumulé en partie haute — ne rafraîchit pas l'air à proprement parler, mais accélère son renouvellement au contact de la peau, ce qui améliore la sensation de confort de l'ordre de 2°C pour une consommation électrique très faible (de l'ordre de 70 W), sans les inconvénients environnementaux des systèmes de climatisation actifs évoqués par Maxime Coudray.

Ce dernier point rejoint une formule employée par Christophe Rodriguez, directeur de l'IFPEB — dont les analyses sur la crise du logement existant recoupent celles présentées au chapitre 3 —, pour résumer l'écart, parfois minime, entre un logement rénové et un logement resté surchauffé : il ne manque souvent qu'un geste simple pour compléter une isolation déjà correcte.

> *« Quand vous rénovez une passoire, vous êtes à un volet et un brasseur d'air de ne plus en faire une bouilloire. »*
>
> **— Christophe Rodriguez, directeur général, IFPEB —**

Le CSTB a par ailleurs publié, en partenariat avec l'Union sociale pour l'habitat, une série de fiches pratiques destinées aux professionnels de la rénovation collective, qui recommandent notamment la sur-ventilation nocturne, la pose de brasseurs d'air en plafonnier et le double vitrage à contrôle solaire comme solutions à combiner selon le diagnostic du logement — une approche multicritère qui prolonge directement celle du chapitre 6 de ce livre blanc.

7.3 quinquies — La cheminée thermique en toiture : distinguer le principe de son imitation

Un point de vigilance, relevé récemment dans le débat professionnel sur l'aménagement urbain et la construction durable, mérite d'être ajouté à ce chapitre : la confusion, fréquente dans la conception de projets neufs ou de surélévation, entre une véritable cheminée thermique (ou tour de ventilation passive) et de simples ouvrants disposés en partie haute sous la toiture. Cette confusion n'est pas anodine : un dispositif mal conçu sur cette base peut produire l'effet inverse de celui recherché — reflux d'air chaud vers l'intérieur, stagnation dans les zones occupées, et surconsommation des systèmes mécaniques d'appoint censés compenser l'échec du dispositif passif.

Deux points techniques, en particulier, sont utiles à rappeler aux concepteurs de projets — architectes, urbanistes, maîtres d'ouvrage — au-delà du seul cas des toitures traitées dans ce livre blanc.

Premier point : ouvrir des fenêtres hautes ne suffit pas à créer un tirage efficace

Percer des châssis en imposte sous la toiture crée une possibilité d'échappement pour l'air chaud, mais pas nécessairement un tirage thermique efficace : la force motrice de ce tirage — déjà présentée au chapitre 9.1 et à l'Annexe, phénomènes 2 et 6 — dépend directement de la hauteur de la colonne d'air mise en mouvement et de l'écart de température entre l'intérieur et l'extérieur. Une simple fenêtre haute, sans conduit ni hauteur de tirage suffisante, ne produit qu'une différence de pression trop faible pour évacuer efficacement l'air chaud accumulé sous les combles ou en tête de cage d'escalier.

Second point : le vent, moteur le plus puissant du tirage, à condition de savoir l'exploiter

Contrairement à une idée répandue, le vent extérieur n'est pas neutre pour le fonctionnement d'une cheminée thermique — il peut au contraire en être le moteur le plus puissant, à condition que le sommet du conduit soit conçu pour en tirer parti. Un couronnement à profil aérodynamique adapté (lanterneau évasé, chapeau aspirateur) exploite l'effet Venturi déjà présenté à l'Annexe, phénomène 5 : le passage du vent y crée une dépression qui aspire physiquement l'air du bâtiment, démultipliant le débit d'extraction par rapport à la seule convection thermique. À l'inverse, un couronnement mal orienté ou mal profilé peut inverser cet effet et refouler l'air chaud vers le bas — transformant le dispositif censé rafraîchir le bâtiment en un obstacle supplémentaire.

Ce point de vigilance n'a pas été traité en tant que tel par le colloque, mais il éclaire directement plusieurs points déjà abordés dans ce livre blanc : la nécessité d'une fonction ouvrante correctement dimensionnée sur les désenfumages de cage d'escalier (chapitre 9.1), le choix d'un capuchon ou d'un exutoire de toiture adapté (chapitre 9.2 bis), et plus généralement l'appel, porté tout au long de ce document, à concevoir chaque dispositif de ventilation passive à partir du phénomène physique qu'il mobilise plutôt que par imitation formelle d'un principe mal compris.

7.4 — Diagnostiquer avant d'intervenir : le rôle de la ventilation des combles

Maxime Coudray, ingénieur, a par ailleurs mis en garde contre la généralisation des splits individuels de climatisation, qui rejettent la chaleur à proximité immédiate (aggravant l'îlot de chaleur pour le voisinage) et utilisent des fluides frigorigènes à fort pouvoir de réchauffement global.

> *« Une fuite sur une petite machine équivaut au bilan carbone annuel d'un Français. »*
> **— Maxime Coudray, ingénieur transition**

Marie-Jeanne Jouveau a par ailleurs insisté sur un point de méthode souvent négligé lors des ravalements et rénovations de toiture : le diagnostic préalable de l'état des charpentes et des ventilations, faute de quoi des travaux privatifs mal conçus (rejet de condensats en combles) génèrent des pathologies structurelles graves.

> *« Combien de fois on trouve, en mettant à nu une toiture, une charpente complètement vermoulue liée justement à l'humidité, au choc thermique, parce que manque d'isolation. »*
>
> **— Marie-Jeanne Jouveau, architecte du patrimoine**

7.5 — Vers une garantie de performance

Plusieurs intervenants — Laurent Arnaud, Florent Loussouarn — ont plaidé pour l'émergence de marchés « au résultat », où la conception intégrée (études, exécution, réception) serait rémunérée sur la performance effective obtenue, et non plus sur le seul respect d'un cahier des charges de moyens. Des initiatives concrètes ont été lancées en ce sens via le dispositif ORENO copropriété, porté par l'ADEME avec des acteurs en mesure de s'engager sur la performance réelle après travaux.

> *« Il faut qu'on arrive dans des marchés où le paiement est aux résultats. »*
>
> **— Laurent Arnaud, Cerema**

7.6 — Une fiche solutions de terrain : l'exemple de Toiture Parisienne

Au-delà des principes exposés en tables rondes, il est utile de montrer comment un couvreur les traduit concrètement en offre commerciale. L'entreprise Toiture Parisienne, dirigée par Benoît Foucaud (chapitres 1, 3 et 7), a formalisé ces principes dans une fiche solutions destinée à ses clients particuliers et copropriétés, organisée en quatre familles d'actions : agir sur la toiture et l'isolation, agir face aux pluies diluviennes, agir dans les parties communes, agir au sein des petits logements.

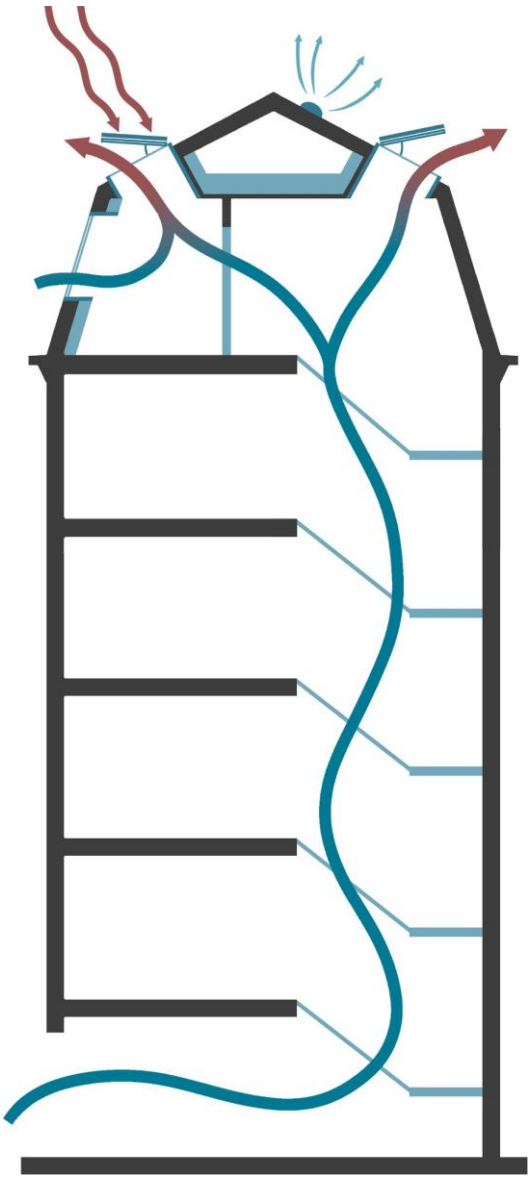


Fig. 6 — « Agir sur la toiture et l'isolation » (source : Toiture Parisienne, fiche solutions « Optez pour des solutions efficaces et résilientes », septembre 2025).

Agir sur la toiture et l'isolation

La fiche détaille plusieurs complexes isolants adaptés aux combles aménagés ou perdus, avec leur résistance thermique (R) : frein-vapeur associé à une laine de bois de 30 cm d'épaisseur (R ≥ 8,3 m².K/W) ; frein-vapeur associé à une laine minérale de 30 cm (R ≥ 7,5 m².K/W) ; isolation mince réflective type Actis Triso Toiture (R ≥ 6,35 m².K/W) ; ou panneau en mousse de polyuréthane rigide pour une isolation sarking par l'extérieur (chapitre 7.1). Toiture Parisienne recommande systématiquement de questionner l'inertie de l'isolant — sa capacité à stocker la chaleur — en complément de la seule résistance thermique, ce qui rejoint directement le principe de déphasage exposé au chapitre 6.

Agir face aux pluies diluviennes

Le dérèglement climatique n'apporte pas que la chaleur : il intensifie aussi les épisodes pluvieux. La fiche recommande d'inclure un écran de sous-toiture de qualité adaptée lors de toute réfection de couverture, de vérifier que les chéneaux collectant les eaux pluviales disposent de systèmes de trop-plein pour absorber les orages violents, et de renforcer l'entretien des gouttières et chéneaux — la végétalisation croissante des toitures en ville imposant un entretien plus fréquent selon l'exposition (feuilles mortes, etc.).

Agir dans les parties communes

Trois leviers sont proposés à l'échelle de l'immeuble : une « cheminée de fraîcheur » exploitant la cage d'escalier, une fenêtre haute et un volet extérieur, pour un tirage thermique mesuré ; l'aération des couloirs par un volet extérieur motorisé, améliorant à la fois le confort thermique et l'apport de lumière naturelle ; et la végétalisation ou ventilation de toitures-terrasses lorsqu'elles existent, qui isole et retient les eaux de pluie.

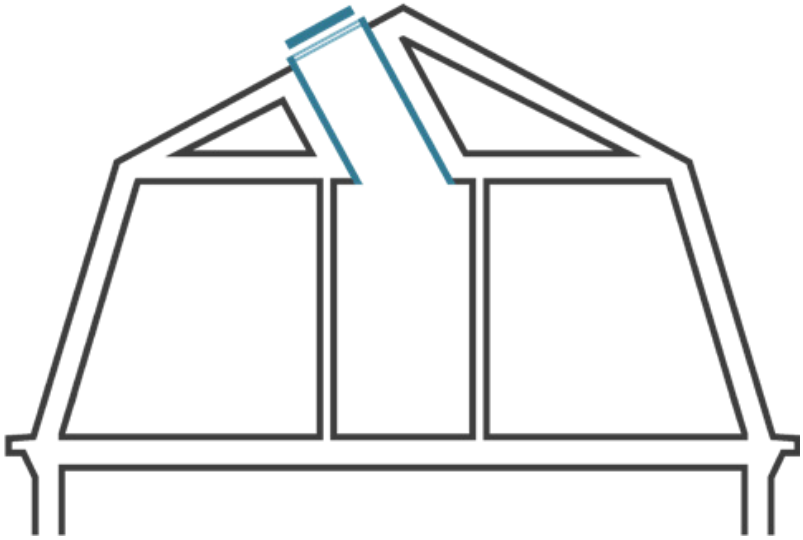


Fig. 7 — Effet mesuré de la « cheminée de fraîcheur » par tirage thermique dans la cage d'escalier : réduction jusqu'à 5°C (source : Toiture Parisienne, d'après une étude Mines ParisTech sur la maison expérimentale Velux Air et Lumière).

Ce chiffre de 5°C, obtenu par tirage thermique naturel via la cage d'escalier, est directement corroboré par une évaluation scientifique : les mesures et simulations dynamiques ont été conduites par Mines ParisTech dans le cadre de l'étude sur la maison expérimentale Velux Air et Lumière, ce qui en fait l'une des rares données chiffrées et sourcées de façon indépendante disponibles sur ce dispositif précis — une illustration concrète du principe de tirage thermique par les parties communes déjà évoqué à l'atelier A (chapitre 9.1).

Agir au sein des petits logements

Pour les logements sous toiture les plus contraints — souvent non traversants — la fiche propose une ventilation verticale par la pose d'une fenêtre en partie haute, créant un courant d'air en l'absence de double exposition ; une porte ventilée sécurisée, qui permet de bénéficier du rafraîchissement des parties communes tout en créant une circulation d'air traversante à l'échelle du logement ; et, à défaut de possibilité d'ouverture, une ventilation active pour extraire l'air intérieur.

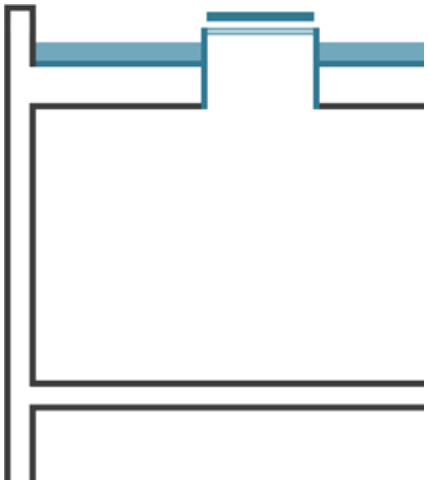


Fig. 8 — Amélioration du confort en parties communes par ventilation et apport de lumière naturelle (source : Toiture Parisienne).

Cette fiche, à jour de septembre 2025, illustre un point de méthode central de ce livre blanc : les solutions techniques présentées en tables rondes ne relèvent pas de la seule prospective, elles sont déjà mobilisées, hiérarchisées et vulgarisées par des entreprises de couverture pour leurs clients — preuve que le principal obstacle à leur généralisation n'est plus la disponibilité de la technique, mais sa diffusion à l'échelle de la filière (chapitre 9.2 bis).

7.7 — Les matériaux à changement de phase (PCM), un déphasage sans épaisseur ni masse

Un dernier développement, non abordé au colloque mais directement complémentaire du principe de déphasage détaillé au chapitre 6.2, mérite d'être présenté ici : les matériaux à changement de phase, ou PCM (phase change materials). Le déphasage thermique repose en réalité sur deux grandes familles de solutions, qu'il est utile de distinguer clairement. La première est celle des matériaux à forte capacité thermique, qui stockent naturellement la chaleur grâce à leur masse : fibre de bois, ouate de cellulose, liège expansé, béton ou chaux-chanvre, terre crue (pisé, adobe, enduits de terre — dont la capacité de stockage est exceptionnelle), brique pleine ou béton (chapitre 6.6 et 9.2 bis). La seconde famille regroupe des procédés qui augmentent le déphasage sans reposer sur un seul matériau massif : toitures et façades ventilées (chapitre 9.2 bis et Annexe, phénomène 3 bis), toitures et façades végétalisées (évapotranspiration, chapitre 8), protections solaires extérieures (chapitre 5.3), ventilation nocturne — et les matériaux à changement de phase, qui en sont le représentant le plus spécifique.

Le principe physique des PCM est celui déjà exposé à l'Annexe, phénomène 3 : un matériau qui change d'état — le plus souvent de solide à liquide — absorbe une grande quantité de chaleur latente sans que sa température n'augmente sensiblement, puis restitue cette chaleur lorsque la température redescend et qu'il se solidifie à nouveau. Intégré à une plaque de plâtre, un enduit ou un panneau, un PCM permet donc d'apporter une inertie thermique significative sans les centimètres d'épaisseur ni les kilos au mètre carré qu'exigerait un matériau massif classique — un atout décisif en réhabilitation du bâti ancien, lorsqu'il n'est possible ni d'épaissir les murs ni d'ajouter une masse lourde (dalle, chape) sans en dénaturer les caractéristiques architecturales.

Composition et mise en œuvre

Un enduit ou une plaque à changement de phase associe un liant traditionnel (plâtre, chaux aérienne ou hydraulique, plus rarement ciment, voire des liants argileux ou de la terre crue dans certaines formulations expérimentales), des granulats ou charges (sable siliceux, carbonate de calcium, perlite ou vermiculite pour l'alléger) et le PCM proprement dit, qui représente généralement 10 à 30 % de la masse du produit fini. Les PCM les plus courants sont des paraffines (d'origine pétrolière ou, de plus en plus, biosourcées) ou des acides gras issus d'huiles végétales (palme, coco, colza) ; les sels hydratés, plus sensibles au vieillissement, restent plus rares. Pour éviter toute fuite lors du changement d'état, le PCM est enfermé dans des microcapsules de quelques micromètres, à enveloppe polymère (mélamine-formaldéhyde, acrylique ou polyuréthane), avant d'être incorporé à l'enduit ou à la plaque avec les adjuvants habituels (plastifiants, agents de rétention d'eau, fibres de renfort).

Coût et ordres de grandeur

Le surcoût d'un matériau à changement de phase dépend fortement du produit et de son intégration, mais quelques ordres de grandeur peuvent être avancés. Une plaque de plâtre standard coûte de l'ordre de 3 à 8 €/m² hors pose ; une plaque intégrant un PCM se situe plutôt entre 25 et 60 €/m², soit un surcoût de 20 à 50 €/m². Pour les enduits ou panneaux à PCM, le surcoût est généralement compris entre 30 et 80 €/m² selon l'épaisseur et la quantité de PCM incorporée. Ce surcoût ne se justifie aujourd'hui que rarement par une économie d'énergie directe : l'intérêt du PCM réside surtout dans la réduction des surchauffes estivales, l'amélioration du confort thermique et la possibilité de limiter, voire d'éviter, le recours à la climatisation — des bénéfices à mettre en regard du coût de l'inaction (perte de confort, de productivité, de santé, ou installation d'une climatisation active) plutôt que d'un seul calcul de retour sur investissement énergétique.

Acteurs industriels et recherche

Le marché des PCM appliqués au bâtiment reste spécialisé mais se développe. Parmi les industriels, BASF a été pionnier avec sa gamme Micronal®, un PCM microencapsulé intégré par plusieurs fabricants — dont Knauf pour ses plaques de plâtre — dans des mortiers et enduits ; Saint-Gobain commercialise également des solutions intégrant cette technologie ; le fabricant allemand Rubitherm Technologies fournit des PCM pour le bâtiment et l'industrie ; Croda développe des PCM biosourcés à partir d'acides gras. Côté recherche, le CSTB a travaillé sur l'intégration des PCM au bâtiment dans le cadre du projet national IMCPBAT financé par l'ANR, aux côtés d'équipes du CNRS, de l'Université Gustave Eiffel, de Mines Paris-PSL et de l'Université de La Rochelle, cette dernière étant reconnue pour ses travaux sur le confort d'été et les bâtiments passifs.

Une piste de recherche pour le patrimoine ancien

Plusieurs laboratoires explorent aujourd'hui des enduits à la chaux ou à la terre crue intégrant des PCM biosourcés — une piste qui combine l'inertie et la régulation hygrométrique déjà propres à ces matériaux traditionnels (chapitre 4.2) avec le stockage de chaleur additionnel apporté par le PCM, pour une empreinte carbone plus faible que les solutions conventionnelles. Cette approche répond simultanément aux exigences de conservation du bâti ancien, de confort d'été et de réversibilité des interventions chères aux architectes du patrimoine (chapitre 4). Elle constitue, de l'avis de ce livre blanc, une piste de recherche appliquée particulièrement pertinente pour le Mastère Spécialisé REBA, mobilisant les compétences croisées de l'École de Chaillot, de l'École des Ponts et du CSTB autour d'une innovation à fort potentiel, au croisement du patrimoine, du confort d'été et de l'adaptation au changement climatique — dans la continuité directe de la vocation de think tank et d'incubateur de modèles rappelée au chapitre 10.

Chapitre 8 — Les enseignements des pays chauds et tropicaux

Si le colloque s'est concentré sur le climat tempéré français en voie de dérèglement, plusieurs interventions ont ouvert la focale vers des climats déjà structurellement chauds, dont l'architecture vernaculaire offre un répertoire de solutions éprouvées sur le temps long.

8.1 — L'intelligence de l'observation : l'enseignement anthropologique

Frédéric Auclair a rappelé, en ouverture de la journée, que les architectures des climats extrêmes — désert saharien, montagnes afghanes, régions polaires — répondent toutes au même principe : l'usage raisonné des matériaux et des formes disponibles localement, sans dépense énergétique importée.

> *« Quand je m'enterre, ou quand j'utilise des matériaux qui vont par leur épaisseur casser le rayonnement solaire, je fais quelque chose qui me permet à moi et à ma tribu de survivre. »*
>
> **— Frédéric Auclair, architecte du patrimoine**

Ce principe — la masse thermique et l'enterrement partiel comme protection contre le rayonnement — trouve un écho direct dans les architectures troglodytiques (Cappadoce, sud tunisien) et dans les maisons à terrasse et patio du bassin méditerranéen et du Maghreb, où l'inertie de la pierre ou de la terre crue lisse les écarts de température journaliers.

8.2 — Le bioclimatisme des toits-terrasses et des dispositifs collectifs

Frédéric Auclair a également relevé l'intérêt renouvelé pour les toitures-terrasses végétalisées, dès lors que leur étanchéité est traitée dans la durée — écho contemporain aux « jardins suspendus » que réclamait déjà le mouvement moderniste.

> *« Si on a la capacité de faire de l'étanchéité sur de la toiture terrasse [...] durable, pas de l'étanchéité qui va à peine tenir les deux ans, s'autoriser à faire des jardins suspendus, en soi ce n'est pas critiquable. »*
>
> **— Frédéric Auclair, architecte du patrimoine**

Maxime Coudray (ingénieur) a cité l'exemple de Marrakech, où l'aménagement urbain lui-même — rues étroites et ombragées, végétation, patios — permet de « supporter 50°C » sans recours généralisé à la climatisation mécanique, par report du confort de l'échelle du bâtiment à celle de la ville.

> *« À Marrakech, on supporte 50 degrés grâce à l'aménagement de la ville : rues ombragées, végétation. »*
>
> **— Maxime Coudray, ingénieur transition**

8.3 — Ventilation naturelle assistée : une tradition à retrouver

Le principe des tours à vent (badgir) du monde iranien et golfique, ou des cheminées solaires des architectures tropicales, repose sur le même mécanisme physique que le « free cooling » évoqué au chapitre 7 : créer un tirage thermique par différence de pression entre points bas frais et points hauts chauds. Les cheminées désaffectées du bâti haussmannien, reconverties par des solutions comme VestaClim, s'inscrivent directement dans cette filiation.

8.4 — Réflectance et couleur : la leçon méditerranéenne

La question, posée en séance, de peindre les toits de Paris en blanc renvoie directement aux villages blancs du bassin méditerranéen et à l'architecture cycladique, où la chaux blanche réfléchit le rayonnement solaire. Le débat du colloque a toutefois révélé les limites de la transposition directe : la réflectance seule, sans isolation, reste insuffisante, et la ville de Toulouse a innové en inscrivant la réflectance énergétique des matériaux dans son PLU dès janvier 2026 — une piste que ce livre blanc recommande d'examiner

pour d'autres collectivités, en tenant compte des contraintes patrimoniales locales (couleur du zinc, de l'ardoise ou de la tuile). Un point de vigilance mérite d'être ajouté ici : un revêtement blanc ne le reste pas durablement, les micro-organismes (micro-lichens, mousses) présents dans les eaux de pluie venant patiner puis assombrir progressivement la surface traitée, ce qui réduit son albédo dans le temps et appelle un entretien périodique pour préserver le bénéfice recherché.

> *« La métropole de Toulouse a figé son nouveau PLU qui parle de réflectance des matériaux. C'est le premier PLU en France qui en parle. »*
>
> **— Laurent Lepage, Compagnon du Devoir, Toiture Midi-Pyrénées**

Ces enseignements, replacés dans le contexte du patrimoine urbain français, invitent à ne pas importer des solutions techniques hors sol, mais à en retenir les principes physiques — masse, ombre, ventilation naturelle, réflectance — pour les décliner dans le respect des matériaux et des formes locales, qu'il s'agisse de zinc parisien, d'ardoise, de tuile canal toulousaine ou de lauze.

8.5 — Un prolongement architectural contemporain : le double toit et la double peau

Au-delà des références historiques du colloque, l'architecture bioclimatique contemporaine développée sous les climats tropicaux — notamment par l'architecte burkinabè Diébédo Francis Kéré, distingué du prix Pritzker — prolonge et actualise plusieurs des principes déjà exposés dans ce livre blanc, ainsi que le relevait récemment un commentaire professionnel largement partagé sur les réseaux professionnels croisant son approche avec celle de Le Corbusier. Deux idées méritent d'être signalées ici, moins comme des solutions à importer telles quelles que comme des variantes radicalisées de logiques déjà présentes au fil de ce document.

La première est celle d'un double toit franchement désolidarisé de la structure porteuse, plutôt qu'une simple lame d'air ventilée entre couverture et isolant (chapitre 9.2 bis) : une fine couverture métallique surélevée sur des poteaux légers, largement au-dessus d'un plafond massif, forme un véritable auvent général du bâtiment. Le rayonnement solaire est intercepté loin de toute masse à protéger, et l'air circule librement sous cet auvent avant même d'atteindre la toiture réelle — une radicalisation du principe de la lame d'air (Annexe, phénomène 2) que seules certaines configurations architecturales, neuves ou en surélévation, permettent d'envisager sur du bâti existant contraint.

La seconde est celle d'une double peau extérieure poreuse et sacrificielle — claustras en terre cuite, brise-soleil en lames de bois, résilles géométriques — conçue non comme une simple protection mobile des baies (chapitre 5.3) mais comme une véritable façade seconde, fixe, qui intercepte le rayonnement direct en amont des parois et crée une zone tampon ombragée tout autour du bâtiment. Transposée avec prudence au bâti patrimonial français, cette logique rejoint les dispositifs de claustras ou de résilles déjà envisagés en surélévation ou en extension contemporaine d'un bâtiment ancien, sans se substituer aux brise-soleils orientables recommandés pour les baies existantes.

Chapitre 9 — Les ateliers de l'après-midi : décloisonner les pratiques

Trois ateliers de travail en petits groupes ont clôturé l'après-midi, avant restitution en plénière. Leur méthode — réunir des profils hétérogènes autour d'un cas concret — a été jugée par plusieurs participants aussi féconde que leurs conclusions.

9.1 — Atelier A : adapter l'architecture existante, les trois échelles

L'atelier A a réuni, autour de la question de l'adaptation de l'architecture existante, des profils volontairement croisés : François Pelegrin (architecte de copropriété), Jean-Marc Zuretti (École de Chaillot), Manon Pellas (Velux, affaires publiques et réglementaires), Roger Baltus (architecte, ingénieur, expert du matériau zinc), Norman Herlin (VM Building Solutions, responsable environnement), Jean-Baptiste Bernard (ingénieur en bureau d'études CVC), Jordan Pitiot (artisan couvreur zingueur, Compagnon du Devoir) et Yannik Beix (ingénieur agronome, expert en végétalisation urbaine), sous l'animation de Marguerite Spierenburg et Tancrède Prunier. Comme les deux autres ateliers, il a structuré ses échanges selon trois échelles emboîtées, reprises ci-dessous dans le détail.

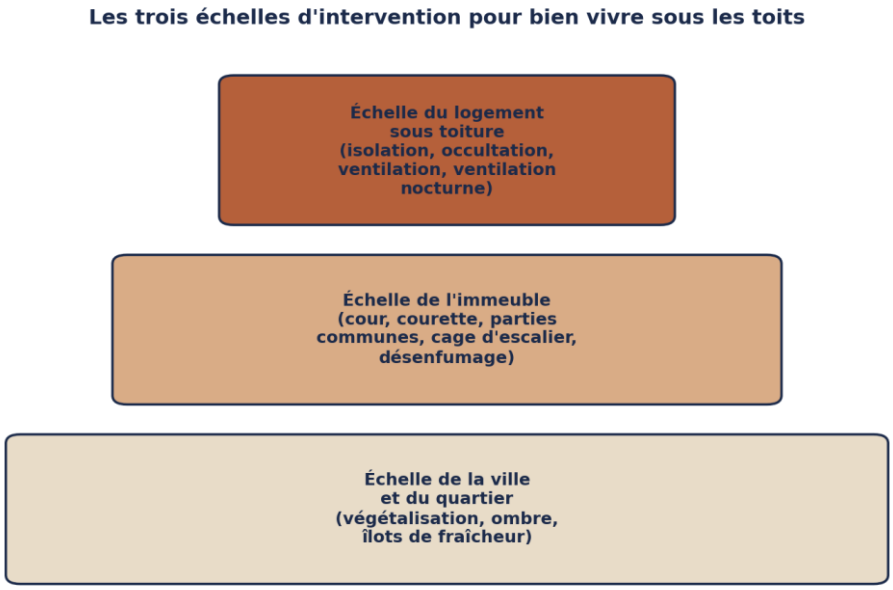


Fig. 9 — Les trois échelles d'intervention identifiées par l'atelier A : ville/quartier, immeuble, logement sous toiture.

Échelle de la cour et de la courette : ventiler et végétaliser un espace redécouvert

Roger Baltus a ouvert la discussion en proposant de repenser la fonction même des courettes haussmanniennes, historiquement conçues comme des puits de lumière, en véritables cheminées thermiques capables de capter l'air frais en sous-sol pour ventiler les étages.

> *« Sur les courettes, la définition [...] c'étaient plutôt les puits [...] qui sont des puits de ventilation. [...] L'idée, ce n'est pas de les végétaliser, c'est de les utiliser comme cheminées thermiques, éventuellement dans des logiques de puits pour aller capter l'air frais dans les garages ou dans le sous-sol. »*
>
> **— Roger Baltus, architecte, ingénieur, expert du matériau zinc**

François Pelegrin a aussitôt objecté la principale contrainte réglementaire de cette piste : la courette, considérée comme un accélérateur d'incendie, est redoutée des services de secours — un point que Roger Baltus a confirmé, tout en soulignant la faisabilité technique d'une réinvention encadrée de cet usage.

> *« Les pompiers, ils détestent les courettes, parce que c'est la cheminée à feu. [...] Techniquement, c'est relativement faisable, mais il y a des contraintes d'ordre réglementaire [...]. Comment on fait pour contingenter l'espace ? »*
>
> **— Roger Baltus, architecte, ingénieur, expert du matériau zinc**

François Pelegrin a par ailleurs rappelé un usage aujourd'hui disparu, mais riche d'enseignement : les grandes portes cochères des immeubles haussmanniens restaient autrefois ouvertes pour assurer la ventilation naturelle de l'îlot — un dispositif de ventilation collective à l'échelle du quartier, avant que la sécurisation des accès (digicodes) n'y mette fin.

> *« Ces grandes portes cochères restaient ouvertes justement pour ventiler l'îlot. [...] Cet usage a évidemment complètement disparu avec les digicodes. »*
>
> **— François Pelegrin, architecte**

Yannik Beix a détaillé les bénéfices cumulés de la végétalisation des cours et courettes : rafraîchissement par évapotranspiration, ombrage, désimperméabilisation au bénéfice de la gestion des eaux pluviales, et un effet moins connu de captation des particules polluantes et des pollens en espace confiné.

> *« La végétalisation, c'est une matière magnifique, vivante, qui évapotranspire et donc qui crée de la fraîcheur ambiante. [...] Le végétal, par nature, c'est un climatiseur naturel. »*
>
> **— Yannik Beix, ingénieur agronome, expert en végétalisation urbaine**

Il a précisé que cette végétalisation reste possible en toiture-terrasse à partir de solutions légères (60 à 80 kg/m²), compatibles avec la plupart des supports — bois, acier ou béton —, et même sur les toitures en zinc parisiennes, par le biais de platelages ou plateformes rapportées, non destructifs pour la couverture existante.

Échelle des parties communes : le désenfumage comme levier de tirage thermique

Jean-Baptiste Bernard a ouvert cette séquence sur un dispositif directement transposable des immeubles récents au bâti ancien : la fonction d'ouverture motorisée des exutoires de désenfumage, trop souvent omise alors qu'elle change radicalement le confort des derniers étages.

> *« Les gens du dernier étage, l'été, qui sont mono-orientés, eux, ils meurent. En mettant une soupape au dernier étage, ça permet de laisser la porte ouverte et de créer des circulations. [...] Pour les gens qui sont dans des chambres de bonne, ça me paraît presque vital. »*
>
> **— Jean-Baptiste Bernard, ingénieur, bureau d'études CVC**

Manon Pellas a confirmé le principe physique à l'œuvre — celui-là même exploité par la solution VestaClim présentée au chapitre 7 et par la « cheminée de fraîcheur » de Toiture Parisienne (chapitre 7.6) : une fenêtre de toit ou de désenfumage placée en tête de cage d'escalier évacue par tirage thermique la chaleur qui, sinon, s'accumule sous les combles habités.

> *« D'avoir une fenêtre de désenfumage ou une fenêtre de toit dans le couloir permet d'évacuer la chaleur directement via le conduit de la cage d'escalier et d'éviter que cette chaleur se stocke sous les derniers étages. [...] C'est ce qu'on appelle le tirage thermique et l'effet cheminée. »*
>
> **— Manon Pellas, Velux, affaires publiques et réglementaires**

Point de méthode important relevé par Jean-Baptiste Bernard : cet usage combiné — sécurité incendie et rafraîchissement passif — est déjà accepté par les services de secours, à condition d'en faire explicitement la demande au moment de la conception, ce qui n'est aujourd'hui pas systématique. Une précision technique s'impose ici, relevée en relecture de ce livre blanc : pour être réellement efficace, cette fonction d'ouverture doit être motorisée plutôt que manuelle — un dispositif à commande manuelle reste en pratique trop rarement actionné par les occupants pour produire l'effet de tirage recherché.

> *« C'est accepté par les pompiers d'utiliser à la fois le système de désenfumage comme système de tirage thermique. Le seul truc, c'est qu'il faut penser, quand on met le désenfumage, à demander la fonction ouvrante. [...] Ça change vraiment beaucoup de choses. »*
>
> **— Jean-Baptiste Bernard, ingénieur, bureau d'études CVC**

Échelle du logement sous toiture : lame d'air, zinc et arbitrages techniques

Jordan Pitiot, couvreur zingueur, a apporté un éclairage de terrain qui recoupe directement les points de vigilance signalés par Thomas Lesne (chapitre 9.2 bis) : la préconisation d'une lame d'air sous isolant, unanimement recommandée, se heurte en pratique au traitement des points singuliers, en particulier les pieds de lucarne, où se concentre la collecte des eaux.

> *« Le problème de l'isolant en main, c'est qu'il faut toujours avoir la lame d'air. [...] Ce sont surtout les pieds de lucarne, les problématiques, les parties basses à chaque fois, parce qu'il y a la collecte de l'eau. »*
>
> **— Jordan Pitiot, artisan couvreur zingueur, Compagnon du Devoir**

Un débat nourri a porté sur l'intégration de capteurs photovoltaïques aux toitures en zinc parisiennes. Roger Baltus a rappelé un changement de doctrine de l'Ademe survenu il y a une dizaine d'années : après plusieurs sinistres liés à des panneaux intégrés à l'étanchéité de couverture, le financement public est désormais conditionné à une pose en surimposition ventilée, sans fonction d'étanchéité.

> *« Il y a une dizaine d'années, l'Ademe exigeait que le photovoltaïque soit intégré dans le plan de la couverture, donc qu'il fasse office d'étanchéité. Il y a eu des sinistres. [...] L'Ademe a changé son fusil d'épaule en disant : je vous finance si votre système est en lévitation au-dessus de la toiture. »*
>
> **— Roger Baltus, architecte, ingénieur, expert du matériau zinc**

François Pelegrin a relevé un second obstacle, plus prosaïque : le décalage de durée de vie entre un panneau photovoltaïque (environ 20 ans) et une couverture en zinc (60 à 70 ans), qui déconseille toute solution figeant les deux matériaux ensemble.

> *« On colle un matériau qui va tenir 20 ans sur un matériau qui va tenir 60-70 ans. Là aussi, il faut faire attention. »*
>
> **— François Pelegrin, architecte**

Sur le débat, déjà ouvert au chapitre 6, de la réflectance des couvertures, Roger Baltus a apporté une double nuance décisive. D'une part, le zinc évolue naturellement, sans intervention, vers une teinte très claire : sa patine grise s'éclaircit avec le temps pour devenir quasiment blanche au bout de trente à quarante ans. D'autre part, il a mis en garde contre un effet pervers d'une généralisation non maîtrisée de la couleur blanche à l'échelle de toute une ville.

> *« Un zinc, il démarre brillant, il se patine gris, et puis il s'éclaircit dans le temps, il devient quasiment blanc au bout de 30-40 ans. [...] Imaginons que tout Paris soit peint en blanc : est-ce qu'on ne se fabrique pas un dôme de chaleur de plus de 5 ou 10 degrés au-dessus de Paris, parce qu'on réfléchit, mais ça ne repart pas ? »*
>
> **— Roger Baltus, architecte, ingénieur, expert du matériau zinc**

Cette réserve technique — un albédo élevé généralisé pouvant réfléchir le rayonnement vers d'autres surfaces plutôt que le dissiper, sans nécessairement le faire sortir de la canopée urbaine — nuance directement l'hypothèse du chapitre 6 et plaide, selon Roger Baltus, pour une combinaison de surfaces réfléchissantes, végétalisées et de toitures-terrasses plutôt qu'une réponse uniforme.

Manon Pellas a enfin introduit un débat plus large sur la hiérarchie des priorités techniques, en interrogeant la doctrine du « tout isolation avant toute solution active » lorsqu'elle est confrontée au bilan carbone global d'une rénovation, notamment dans les logements déjà correctement isolés mais restés au chauffage au gaz.

> *« Si vous mettez une clim réversible, c'est une pompe à chaleur, on peut aussi s'en servir l'hiver avec un COP favorable et décarboner. [...] Je ne partage pas complètement l'approche : on isole absolument avant de mettre des pompes à chaleur. »*
>
> **— Manon Pellas, Velux, affaires publiques et réglementaires**

Échelle de l'îlot : la surélévation comme levier de financement de la rénovation

Au-delà des trois échelles détaillées ci-dessus, la restitution officielle de l'atelier A invite à ne pas opposer protection patrimoniale et adaptation climatique : si les façades visibles doivent naturellement être préservées, les parties moins exposées d'un immeuble — cours, courettes, terrassons, toitures non visibles depuis l'espace public — offrent un réel potentiel d'évolution, à condition de penser chaque intervention à l'échelle de l'îlot plutôt qu'au seul bâtiment, en y intégrant ventilation, biodiversité et gestion des eaux pluviales.

Un levier a été identifié en ce sens : une surélévation raisonnée peut permettre de financer la rénovation globale d'un immeuble tout en créant de nouveaux logements, sans artificialiser davantage les sols — une piste qui rejoint directement les mécanismes de financement mutualisé déjà évoqués au chapitre 3.3 pour dépasser les blocages entre étages inégalement exposés à la chaleur, et qui replace l'adaptation climatique du dernier étage dans une logique d'investissement plutôt que de seule contrainte.

Une conclusion partagée : produire un cahier de typologies de solutions

L'atelier a convergé, indépendamment des dissensus techniques exposés ci-dessus, vers une même proposition méthodologique que celle portée par Jean-Marc Zuretti en clôture du colloque (chapitre 4.5) : construire un cahier de référence croisant les typologies de bâti et les familles de solutions, pour sortir de la négociation dispersée entre professionnels et services instructeurs.

> *« À force de ne rien dire, chacun y va de sa solution individuelle, et on a quelque chose de complètement disparate. [...] On a eu l'occasion d'échanger avec certains ABF qui sont très demandeurs de ce type de guide, avec une différente typologie de solutions existantes [...] pour ensuite pouvoir piocher là-dedans selon les cas. »*
>
> **— Jean-Marc Zuretti, directeur, École de Chaillot**

Yannik Beix a résumé l'esprit de cette conclusion en rappelant que la difficulté n'est plus, pour l'essentiel, celle de l'existence des solutions, mais celle de leur hiérarchisation au cas par cas, en fonction des contraintes patrimoniales et techniques propres à chaque bâtiment.

> *« Les solutions, elles existent : c'est l'isolation, c'est l'air, l'adiabatique, la végétalisation. [...] Le tout, c'est de s'entendre sur les marges possibles. »*
>
> **— Yannik Beix, ingénieur agronome, expert en végétalisation urbaine**

> *« On a soulevé la question du sarking et notamment du gabarit de toiture lié à ça, et enfin la question des protections solaires, en essayant de créer un catalogue de protections solaires adaptable aux questions de patrimoine. »*
>
> **— Marguerite Spierenburg, restitution atelier A**

L'atelier a également mis au jour un besoin méthodologique transversal : l'harmonisation des outils de simulation thermique dynamique entre spécialistes, condition d'un langage commun entre corps de métier.

9.2 — Atelier B : bien faire — mise en œuvre du complexe isolant

L'atelier B a hiérarchisé les bonnes pratiques en deux temps : d'abord le complexe isolant lui-même (nature de l'isolant, lame d'air, perspirance), puis la ventilation du logement, jusqu'à la question du confort perçu par le corps (enduits terre, brassage d'air).

> *« On a un peu, enfin certains groupes ont tenté d'avoir une hiérarchie des bonnes pratiques : d'abord voir la ventilation du complexe de toiture en lui-même avant de penser à la ventilation naturelle ou mécanique des logements. »*
>
> **— Camille Delaunay-Weibel, restitution atelier B**

Deux difficultés structurelles ont été identifiées : les arbitrages entre copropriété et individu pour l'isolation par l'extérieur (contrainte de PLU), et la gestion des interfaces entre corps de métier, source de non-qualité quand l'information technique ne circule pas.

9.2 bis — Note de Thomas Lesne : deux ruptures d'habitude à conduire en 3 à 5 ans

Revenant sur la restitution de l'atelier B, Thomas Lesne, à l'initiative du colloque avec Ronan Lelièvre, a identifié deux points de la synthèse qui heurtent frontalement les habitudes actuelles de la profession, et sur lesquels il appelle à un effort de diffusion et de formation dans un délai resserré — trois à cinq ans — à l'échelle des quelque 50 000 couvreurs que compte la population française.

> *« Il y a pour nous deux points qui vont à l'encontre de beaucoup de nos habitudes. [...] Pour faire changer ces deux habitudes, on en a pour trois à cinq ans pour la population française des 50 000 couvreurs, je pense. »*
>
> **— Thomas Lesne, à l'initiative du colloque, Compagnons couvreurs du Devoir / GCCP**

Premier point : le surdimensionnement de la lame d'air sous couverture

La synthèse de l'atelier B préconise de faire passer l'épaisseur de la lame d'air ventilée sous couverture de la fourchette actuellement pratiquée — 2 à 4 cm — à une fourchette de 6 à 10 cm, en référence à une étude du CSTB de 2008. Thomas Lesne souligne que ce document reste largement inconnu des couvreurs de terrain et des CFA, faute de schémas de principe et de traitement des points singuliers (égout, faîtage, rives, pénétrations) diffusés à l'échelle de la profession.

Le principe physique est simple : l'air entre en bas de pente (à l'égout, par une grille anti-volatile) et s'échauffe légèrement au contact de la face intérieure de la couverture, ce qui l'allège et le fait remonter par convection naturelle jusqu'au faîtage, où il ressort par une closoir ou une faîtière ventilée. Ce flux continu évacue à la fois la vapeur d'eau ascendante issue du logement (protégeant la charpente et l'isolant de l'humidité) et une partie de la chaleur reçue par la couverture en été, avant qu'elle n'atteigne l'écran de sous-toiture et l'isolant.

Principe de la lame d'air ventilée sous couverture

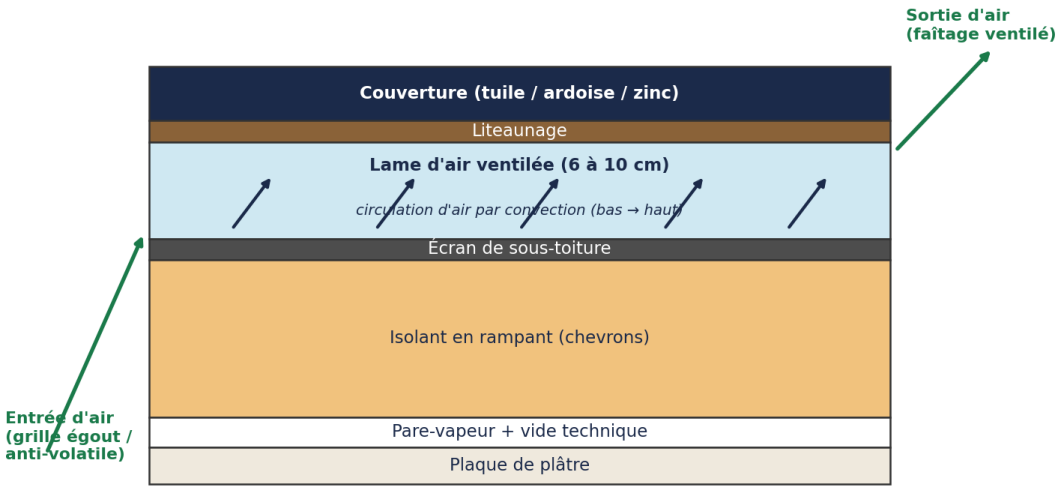


Fig. 10 — Principe de la lame d'air ventilée sous couverture : entrée d'air à l'égout, circulation par convection, sortie au faîtage.

Ce simple changement de cote engage en réalité toute la coupe du rampant : hauteur de chevron ou de liteaunage, épaisseur d'isolant repositionnée, traitement du pare-vapeur et de son vide technique de préservation. Le colloque n'a pas produit de détail exhaustif des points singuliers associés — égout, faîtage, rives de pignon, pénétrations de fenêtres de toit — mais identifie cette production de références graphiques normalisées comme un chantier prioritaire pour la filière, à porter conjointement par le CSTB, les industriels et les organismes de formation. Le schéma comparatif ci-dessous illustre la différence de cote entre pratique courante et préconisation CSTB.

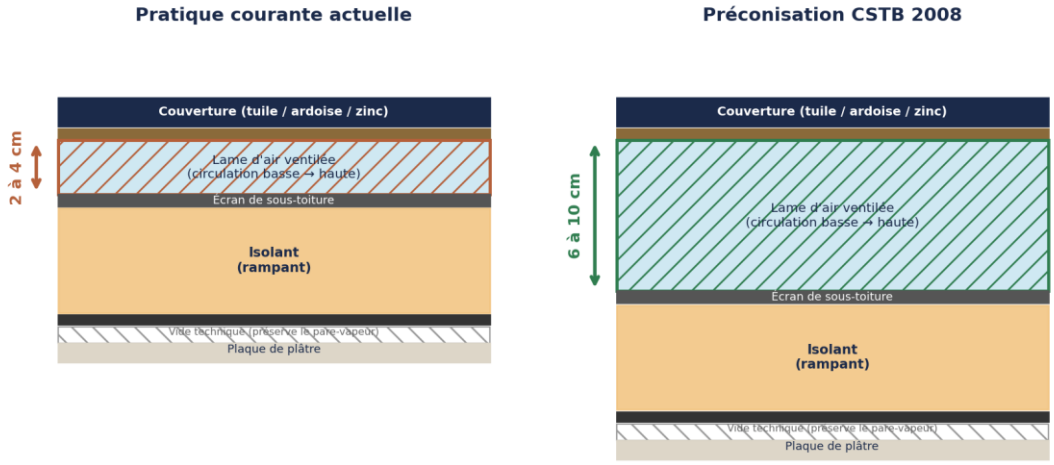


Fig. 11 — Dimensionnement de la lame d'air ventilée sous couverture : pratique courante (2-4 cm) et préconisation CSTB 2008 (6-10 cm).

Second point : le passage à des isolants denses de type chaux-chanvre

Le second point de rupture concerne le remplacement des isolants légers usuels par des isolants denses — béton ou chaux-chanvre, matériaux biosourcés à forte masse volumique — pour leur apport en déphasage thermique (chapitre 6). Thomas Lesne relève que la filière manque aujourd'hui de repères clairs sur trois plans : les industriels fournisseurs de ces matériaux en toiture, les modes de pose spécifiques qu'ils requièrent (temps de séchage, gestion de l'humidité de mise en œuvre — un point déjà signalé par Rodolphe Houdusse Picard au chapitre 7), et le traitement des points singuliers qui en découle. Ce triple manque rejoint directement les conclusions de l'atelier A sur la nécessité de cahiers de bonnes pratiques coproduits avec les industriels (chapitre 4) et de l'atelier C sur la formation initiale (ci-dessous).

Tableau comparatif des isolants : inertie, déphasage et épaisseurs selon la technique de pose

Le choix d'un isolant ne peut se réduire à sa seule conductivité thermique (λ) : le confort d'été dépend tout autant de sa densité, qui conditionne l'inertie et le déphasage thermique (chapitre 6.2), et l'épaisseur nécessaire varie fortement selon qu'il est mis en œuvre en isolation par l'intérieur en rampant (ITI), en sarking (isolation par l'extérieur, chapitre 7.1) ou en comble perdu soufflé. Le tableau ci-dessous synthétise, à titre indicatif, les ordres de grandeur couramment admis pour les familles d'isolants évoquées au fil de ce livre blanc — les valeurs précises dépendent du produit, du fabricant et de l'avis technique associé, et doivent être vérifiées au cas par cas.

Isolant	λ (W/m.K)	Densité (kg/m³)	Inertie / déphasage	Épaisseur en ITI rampant (R≈7-8)	Épaisseur en sarking (R≈6-7)	Épaisseur en comble perdu soufflé (R≈8-10)
Laine de verre (minérale)	0,032–0,040	15–25	Faible	280–320 mm	peu utilisée	400–450 mm
Laine de roche (minérale)	0,035–0,040	30–100	Faible à modérée	280–320 mm	160–200 mm (panneau rigide)	380–420 mm

Isolant	λ (W/m.K)	Densité (kg/m³)	Inertie / déphasage	Épaisseur en ITI rampant (R≈7-8)	Épaisseur en sarking (R≈6-7)	Épaisseur en comble perdu soufflé (R≈8-10)
Laine de roche haute densité (panneaux rigides)	0,034–0,038	110–180	Modérée à élevée — densité comparable aux biosourcés denses	260–300 mm	150–190 mm (panneau rigide dense)	non pertinent (conditionnement en panneaux, non soufflée)
Laine de bois (fibre de bois)	0,036–0,042	40–160 selon densité	Faible à élevée	280–300 mm	140–200 mm (panneau rigide dense)	300–360 mm
Ouate de cellulose (soufflée)	0,038–0,042	25–65	Modéré	300–350 mm (insufflée)	peu adaptée	400–450 mm
Liège expansé	0,037–0,040	100–120	Élevée, imputrescible	220–260 mm	180–220 mm	peu utilisé en vrac
Fibre végétale	0,038–0,041	25–40	Faible à modéré (chaleur massique ≈1500-2200 J/kg.K, déphasage >9-10 h en 200-240 mm)	280–320 mm	peu documenté en sarking	300–350 mm
Chaux-chanvre / béton de chanvre	0,06–0,15	300–500	Très élevée (correcteur thermique)	400–500 mm (ou en complément d'un isolant)	peu adapté seul	non applicable
Polyuréthane (PU) rigide	0,022–0,028	30–45	Faible	140–180 mm	120–160 mm (référence sarking)	peu utilisé en vrac
PSE / XPS	0,030–0,038	15–35	Faible	180–220 mm	160–200 mm	peu utilisé en vrac
Isolant réflectif multicouche	non pertinent (résistance déclarée par ATec)	faible	Quasi nulle	90–110 mm, en complément recommandé)	non standard	non applicable

Valeurs indicatives, ordres de grandeur généralement admis dans la profession — à vérifier auprès du fabricant et de l'avis technique (ATec/DTA) du produit retenu. R visé : résistance thermique en m².K/W, cf. glossaire.

Point de vigilance relevé en relecture de ce livre blanc par Florent Loussouarn (Pouget Consultants, chapitre 5.4) : ce tableau ne doit pas laisser penser qu'une laine minérale serait nécessairement moins dense, donc moins déphasante, qu'un isolant biosourcé. Il existe des laines de roche haute densité, conditionnées en panneaux rigides plutôt qu'en rouleaux souples, dont la densité et la capacité de déphasage peuvent égaler, voire dépasser, celles de certains isolants biosourcés légers — la ligne « Laine de roche haute densité » ajoutée ci-dessus en témoigne. Le critère déterminant reste donc la densité effective du produit réellement mis en œuvre, indépendamment de son origine minérale ou biosourcée.

Un mot sur les fibres végétales (type fibre d'herbe), isolants biosourcés encore peu répandus en France mais déjà commercialisés sous avis technique européen : contrairement à une idée reçue qui les cantonnerait à la seule protection hivernale, les données publiées par leurs fabricants leur attribuent un déphasage pouvant dépasser 9-10 heures pour 200 à 240 mm d'épaisseur et une chaleur massique parfois supérieure à celle des laines minérales — des caractéristiques qui les rapprochent, sur le papier, de la fibre de bois davantage que des isolants légers à faible inertie. Ces valeurs, fournies par les fabricants et non vérifiées de façon indépendante dans le cadre de ce livre blanc, mériteraient d'être confirmées par des mesures en conditions réelles avant généralisation, mais elles suggèrent que ces fibres végétales pourraient, comme la fibre de bois ou la ouate de cellulose, apporter une réponse combinée au confort d'hiver et d'été plutôt qu'au seul confort d'hiver.

Vers un système combiné : la meilleure réponse au froid et à la chaleur dans une même paroi

Il n'existe pas de matériau isolant unique qui soit à la fois le meilleur contre le froid hivernal et contre les fortes chaleurs estivales (chapitre 6.6, Annexe phénomène 10) : une faible conductivité thermique (λ) et une forte capacité de stockage de la chaleur (inertie, déphasage) reposent sur des logiques physiques largement opposées — l'air immobile pour la première, la masse du matériau pour la seconde. La meilleure réponse ne consiste donc pas à choisir entre les deux, mais à les superposer dans un même système constructif, en combinant plusieurs des éléments déjà présentés dans ce livre blanc plutôt qu'en cherchant le matériau miracle.

Un système combiné cohérent, du côté extérieur vers l'intérieur, associerait ainsi : une lame d'air ventilée de 6 à 10 cm sous la couverture ou le bardage, qui évacue une partie de la chaleur avant même qu'elle

n'atteigne l'isolant (chapitre 9.2 bis, phénomène 2) ; un isolant principal choisi pour son bon compromis entre λ et déphasage plutôt que pour son seul λ — la fibre de bois, la ouate de cellulose ou, sous réserve de confirmation indépendante, la fibre végétale, qui combinent une isolation hivernale correcte avec un déphasage élevé (10 à 15 heures selon l'épaisseur), à la différence des laines minérales ou des mousses plastiques (PU, PSE), très efficaces en hiver mais peu massiques, donc peu protectrices en été (chapitre 9.2 bis) ; une couche complémentaire de masse côté intérieur lorsque la structure existante en est dépourvue — plaque de plâtre haute densité, enduit terre ou chaux, voire enduit ou plaque intégrant un matériau à changement de phase (PCM) lorsque l'épaisseur disponible est insuffisante pour un correcteur massif classique (chapitre 7.7) ; et un pare-vapeur correctement positionné du côté chaud de cet ensemble, en ITI comme en ITE (Annexe, phénomène 3 ter). Cette combinaison — plutôt que la seule addition d'épaisseur d'un isolant léger — est, en l'état des connaissances rassemblées dans ce livre blanc, la réponse la plus complète pour concilier confort d'hiver et confort d'été dans un même système constructif, en particulier sur le bâti ancien où l'épaisseur disponible reste souvent contrainte.

Les sept points de vigilance de la synthèse de l'atelier B

Au-delà de ces deux ruptures principales, Thomas Lesne a extrait de la synthèse complète de l'atelier B sept préconisations techniques, en notant, pour chacune, le niveau actuel de diffusion auprès des couvreurs — un diagnostic qui vient directement nourrir les propositions de formation formulées en fin de ce livre blanc :

- Surdimensionner la lame d'air sous couverture : passer de 2-4 cm à 6-10 cm selon une étude du CSTB de 2008 — document inconnu des couvreurs comme des CFA ; schémas et traitements de détail à produire.
- Généraliser des réseaux de ventilation semi-rigides plutôt que des gaines flexibles souples en PVC — pratique encore très peu répandue à ce jour.
- Généraliser un pare-vapeur continu côté intérieur, avec un vide entre le pare-vapeur et la plaque de plâtre pour préserver sa durabilité — pratique encore très peu répandue à ce jour.
- Utiliser des isolants denses en rampant et des correcteurs thermiques de type chaux-chanvre — solution inconnue de la majorité des couvreurs.
- Systématiser le test d'étanchéité à l'air — pratique inconnue de la majorité des couvreurs.
- Ne pas se limiter au λ (lambda) des matériaux comme seul critère de choix ; raisonner l'enveloppe dans son ensemble, en distinguant l'étanchéité à l'air côté chaud et l'étanchéité au vent côté extérieur — approche inconnue de la majorité des couvreurs.

Ce constat, dressé par un acteur central de l'organisation du colloque, confirme et prolonge celui de l'atelier C (chapitre 9.3) : la technique existe et fait consensus parmi les experts présents à la tribune, mais son appropriation par les 50 000 couvreurs de la filière reste, à ce stade, à construire presque intégralement.

9.3 — Atelier C : quel effort de formation pour les couvreurs ?

L'atelier C a structuré la question de la formation en trois blocs : conception (diagnostic, culture métier), mise en œuvre (isolation et ventilation, quasi absentes du programme actuel de 14 semaines de formation), et communication (savoir argumenter un choix technique face au client).

> *« Aujourd'hui, il y a un manque de temps sur la partie pratique et il n'y a surtout aujourd'hui pas ou très peu d'apprentissage sur l'isolation et sur la ventilation. »*
>
> **— Audrey Esteves, responsable formation, Velux**

> *« La communication ça peut être menée de manière interfilière, ce qui permet de faire une boucle avec [...] une vision systémique du bâtiment. »*
>
> **— Jocelyn Gac, directeur du Collège des Métiers, les Compagnons du Devoir**

Ces trois ateliers convergent vers une conclusion commune, qui traverse l'ensemble du colloque : la technique existe déjà en grande partie ; ce qui manque, c'est la formation initiale et continue pour la déployer, et la méthode collective pour la coordonner entre corps de métier.

Chapitre 10 — Conclusion : de la connaissance à l'action collective

Le grand témoin de la journée, Éric Pallot, a livré en clôture une synthèse volontairement non exhaustive, insistant sur le caractère collectif des solutions apportées tout au long de la journée plutôt que sur un catalogue de mesures isolées.

> *« Une des grandes leçons de la journée, c'est que tout ce qu'on a vu résulte d'un travail collectif. [...] Il y a un formidable gisement d'idées [...] il faut les concrétiser. »*
>
> **— Éric Pallot, président d'ICOMOS France**

Il a dégagé plusieurs lignes de force, qui structurent les recommandations de ce livre blanc :

- Connaître le bâtiment avant d'intervenir, dans toutes ses dimensions — pas seulement la toiture.
- Ne pas limiter la réflexion au seul édifice : militer pour des interventions à l'échelle de l'îlot et du quartier.
- Apprendre du patrimoine sans passéisme : les solutions simples et passives qu'il recèle restent pertinentes.
- Développer des prototypes et études de cas représentatifs par typologie d'habitat, sans les transformer en recettes standardisées.
- Mieux qualifier et quantifier les matériaux anciens, encore mal caractérisés faute de cahier des charges dédié.
- Travailler sur le comportement des usagers autant que sur la technique.
- Anticiper l'évolution du régime des pluies et la récupération des eaux, corollaire du confort d'été.

Marie Dupuis-Courtes (UMGCCP-FFB) a résumé l'esprit de la journée par une formule qui vaut pour conclusion de ce livre blanc : le geste du couvreur, désormais inscrit au patrimoine culturel immatériel de l'UNESCO, n'a de sens que s'il continue à servir les habitants.

> *« Notre geste à nous, notre geste de couvreur, ce n'est pas un musée, c'est un geste vivant, et c'est un geste qui doit continuer à travailler pour les générations futures — à ce qu'on ait la beauté, mais derrière, on ait aussi le confort. »*
>
> **— Marie Dupuis-Courtes, vice-présidente, UMGCCP-FFB**

Dominique Naert, à l'initiative du colloque avec Thomas Lesne et Mériadec AULANIER, a fixé le triptyque qui doit désormais guider l'action collective de la filière : s'informer, se former, transformer les habitudes de travail — non pour inventer un nouveau marché, mais pour apprendre, collectivement, à mieux vivre ensemble sous les toits.

> *« La première des choses, c'est vous savez, toutes les solutions existent déjà. [...] La première des choses que nous avons faite tous ici ensemble, c'est de nous informer. Deuxièmement, c'est de se former. Et troisièmement, c'est de participer à transformer nos habitudes. »*
>
> **— Dominique Naert, directeur du Mastère Spécialisé Réhabilitation Énergétique du Bâti Ancien, ENPC-Chaillot**

Comme il le rappelle dès l'introduction de ce livre blanc, cette intention se décline en deux étapes. La première, l'agora du colloque lui-même, était de créer un incubateur de filière collaborative et créative, rappelant à chacun l'ensemble des sujets que les autres participants ne connaissaient que partiellement. La seconde étape est de se former, une fois informé et conscient qu'il y a tout à gagner à évoluer collectivement : se former sans plafond de verre, en faisant se rencontrer, dans des formations d'excellence, des architectes et des compagnons, des ingénieurs et des maîtres d'ouvrage.

C'est la ligne directrice du Mastère Spécialisé Réhabilitation Énergétique du Bâti Ancien, à l'origine de ce colloque, qui a répondu aux interrogations de la profession des couvreurs. Un mastère spécialisé est aussi

un think tank, caractérisé par un enseignement de haut niveau et par des thèses professionnelles toujours très inventives, qui sont autant d'incubatrices de modèles d'atténuation, d'adaptation et de régénération.

Ronan Lelièvre, délégué de métier des Compagnons Couvreurs du Devoir et co-organisateur du colloque avec Florent Cordier, apporte à cette conclusion la vision propre au Compagnonnage sur la transmission des solutions : au-delà des connaissances rassemblées dans ce livre blanc, c'est leur mise en forme pédagogique — et l'exemplarité de ceux qui les portent — qui en conditionnera la diffusion réelle.

> *« L'ensemble des solutions proposées par les différents spécialistes, chacun dans son domaine d'expertise, doit pouvoir être rendu accessible grâce à des schémas et des maquettes pédagogiques. Ces supports permettront de transmettre durablement, de manière claire et robuste, les bonnes pratiques d'une construction responsable à celles et ceux qui bâtiront le monde de demain. [...] Il appartient également aux décideurs d'aujourd'hui de montrer l'exemple. En adoptant une démarche exemplaire, à la hauteur des défis environnementaux, économiques et sociétaux, ils créeront les conditions d'une transformation durable de toute la filière. »*
>
> **— Ronan Lelièvre, délégué de métier, Compagnons Couvreurs du Devoir**

Ce livre blanc n'est ainsi qu'une étape. Comme le formulait Éric Pallot en clôture, « une telle journée en appelle une autre » — et ce document a vocation à nourrir, au-delà du seul secteur de la couverture, l'ensemble des formations et des métiers engagés dans la réhabilitation du bâti ancien face au changement climatique.

Plan d'actions

Synthèse opérationnelle des pistes d'action dégagées par le colloque, organisée selon les cinq échelles d'intervention identifiées dans ce livre blanc.

A — Connaissance et diagnostic

- Rendre systématique un diagnostic global préalable à toute intervention sur une toiture ou un dernier étage : état des charpentes, des ventilations, des matériaux, avant tout ravalement ou réfection (Marie-Jeanne Jouveau, Emmanuel Baumgartner).
- Engager un travail national de qualification et de quantification des matériaux anciens (terre cuite, zinc, ardoise, torchis) : caractériser en laboratoire leurs propriétés hygrothermiques réelles — résistance thermique, capacité tampon à l'humidité, inertie — pour bâtir une base de données de référence aujourd'hui quasi inexistante faute de cahier des charges dédié, condition pour que les logiciels de simulation cessent de leur appliquer par défaut les hypothèses pénalisantes du bâti neuf (Éric Pallot).
- Développer des études de cas et prototypes représentatifs par typologie de bâti (haussmannien, faubourien, toulousain à tuile canal, rural...), sans les figer en recettes standardisées (Frédéric Masviel, Florent Loussouarn).
- Engager, dans le cadre du Mastère Spécialisé REBA et en mobilisant l'École de Chaillot, l'École des Ponts et le CSTB, un projet de recherche appliquée sur les enduits à la chaux ou à la terre crue intégrant des matériaux à changement de phase (PCM) biosourcés — une piste combinant inertie, régulation hygrométrique et réversibilité, particulièrement adaptée au patrimoine bâti ancien (chapitre 7.7).

B — Échelle de la ville et du quartier

- Ne pas limiter la réflexion au seul bâtiment : intégrer la végétalisation, l'ombrage et la réduction des îlots de chaleur à l'échelle de l'îlot et du quartier (Éric Pallot, Malou Allagnat).
- Étudier, à l'image du PLU toulousain de janvier 2026, l'inscription de critères de réflectance énergétique des matériaux de couverture dans les documents d'urbanisme locaux, en tenant compte des contraintes patrimoniales — un chantier de recherche à engager, aucune étude nationale ne recensant et ne croisant à ce jour les PLU français sur ce critère (Laurent Lepage).
- S'inspirer des dispositifs de rafraîchissement collectif des climats chauds (végétalisation, ombrage des rues, lieux refuges publics) plutôt que de reporter systématiquement l'effort sur le seul logement individuel (Maxime Coudray, Maud Lelièvre).
- Engager une étude d'impact objective du risque de « dôme de chaleur » avant toute généralisation non maîtrisée des toitures peintes en blanc à l'échelle d'une ville : la seule réflectance ne suffit pas à garantir un bénéfice net si elle n'est pas combinée à de la végétalisation et à des toitures-terrasses (Roger Baltus, atelier A).

C — Échelle de l'immeuble et de la copropriété

- Élaborer des cahiers de prescriptions architecturales et environnementales par ville ou métropole, sur le modèle des berges de Seine, pour sortir de la négociation cas par cas entre copropriétaires, architectes et ABF — une demande confirmée par les architectes des Bâtiments de France eux-mêmes lors de l'atelier A, à construire selon une approche collective et représentative de la diversité réelle du bâti plutôt que comme un document théorique (Jean-Marc Zuretti).
- Mobiliser les parties communes (cage d'escalier, désenfumage) comme vecteurs de tirage thermique naturel à l'échelle de l'immeuble, en concertation étroite avec les services d'incendie

et de secours pour déterminer collectivement le bon compromis et le matériel adapté (atelier A).

- Étudier, avec ces mêmes services de secours, la réouverture encadrée de la fonction de ventilation des cours et courettes — aujourd'hui proscrite par crainte de l'effet cheminée en cas d'incendie — qui constituait historiquement un puits de fraîcheur pour les étages supérieurs (Roger Baltus, atelier A).
- Étudier des mécanismes de financement mutualisé ou de fiscalité incitative pour dépasser les blocages entre étages inégalement exposés à la chaleur (Rodolphe Houdusse Picard, Olivier Safar).
- Étudier au cas par cas le recours à une surélévation raisonnée comme levier de financement de la rénovation globale d'un immeuble, permettant de créer de nouveaux logements sans artificialiser davantage les sols (atelier A).

D — Échelle du logement sous toiture

- Généraliser les quatre leviers cumulables de l'adaptation passive — isolation des parois, occultation et vitrage à contrôle solaire, inertie thermique, déphasage par matériaux biosourcés denses — pour un gain pouvant atteindre 10°C ; ces pratiques doivent être intégrées au cahier de prescriptions partagé proposé en C (Marie Jeffroy).
- Encourager le sarking et l'isolation continue par l'extérieur lorsque le volume habitable doit être préservé, en anticipant les contraintes de PLU et de gabarit (Franck Leguillon, atelier B).
- Développer les solutions de ventilation naturelle ou assistée à faible consommation : reconversion des conduits de cheminée en rafraîchissement adiabatique (VestaClim), puits canadien/provençal pour les projets disposant d'un accès au sol, ventilation traversante et tirage thermique (Benoît Lefort, Véronique Pappe, atelier A).
- Traiter la ventilation des combles perdus comme un sujet à part entière — entrée d'air basse et sortie haute au faîtage — pour éviter l'effet cocotte-minute, et compléter l'occultation par des brise-soleil orientables et des brasseurs d'air, solutions à faible coût et faible consommation encore sous-employées ; ces pratiques doivent, elles aussi, intégrer le cahier de prescriptions partagé (Maxime Coudray, Véronique Pappe).
- Réserver la climatisation active aux situations où les solutions passives ne suffisent plus, et privilégier alors des systèmes collectifs ou à faible impact (réseaux de froid, fluides à faible PRG) plutôt que la généralisation de splits individuels (Pascal Housset, Maxime Coudray).
- Surdimensionner la lame d'air sous couverture : passer de 2-4 cm à 6-10 cm selon une étude du CSTB de 2008 — document inconnu des couvreurs comme des CFA ; schémas et traitements de détail à produire.
- Utiliser des isolants denses en rampant et des correcteurs thermiques de type chaux-chanvre, en les combinant à la lame d'air ci-dessus — l'isolation courante tire son efficacité de l'air immobile piégé dans sa structure, tandis que l'inertie tire la sienne de la masse du matériau, donc de l'absence d'air : associer un isolant massif à une lame d'air bien dimensionnée permet en principe de répondre aux deux exigences à la fois (confort d'hiver par le λ, confort d'été par le déphasage) — solution encore inconnue de la majorité des couvreurs, se reporter au tableau comparatif des isolants (chapitre 9.2 bis).
- Généraliser des réseaux de ventilation semi-rigides plutôt que des gaines flexibles souples en PVC — pratique encore très peu répandue à ce jour.
- Généraliser un pare-vapeur continu côté intérieur, avec un vide entre le pare-vapeur et la plaque de plâtre pour préserver sa durabilité — pratique encore très peu répandue à ce jour.
- Systématiser le test d'étanchéité à l'air — pratique inconnue de la majorité des couvreurs.

- Ne pas se limiter au λ (lambda) des matériaux comme seul critère de choix ; raisonner l'enveloppe dans son ensemble, en distinguant l'étanchéité à l'air côté chaud et l'étanchéité au vent côté extérieur — approche inconnue de la majorité des couvreurs.
- Encadrer réglementairement la pose de capteurs photovoltaïques sur toiture zinc en surimposition ventilée plutôt qu'intégrée à l'étanchéité, en cohérence avec la doctrine actuelle de l'Ademe et avec le différentiel de durée de vie entre les deux matériaux — environ 20 ans pour un panneau contre 60 à 70 ans pour une couverture en zinc (Roger Baltus, François Pelegrin, atelier A).
- Organiser la publication bi-annuelle, par une instance existante de la filière (voir gouvernance, point F), d'un tableau comparatif actualisé des isolants — inertie, déphasage, épaisseurs selon la technique de pose (chapitre 9.2 bis) — diffusé à la fois aux professionnels du bâtiment et aux particuliers.

D bis — Cadre réglementaire

- Documenter, au niveau national, les cas où l'avis conforme des ABF fait obstacle à des travaux de protection solaire dont l'urgence sanitaire est démontrée, pour nourrir objectivement le débat en cours sur l'évolution de leur doctrine (chapitre 4.6) — sans attendre qu'il se résolve par la seule voie législative.
- Privilégier, en parallèle de ce débat réglementaire, la construction de cahiers de typologies de solutions déjà validées par les ABF eux-mêmes, qui a montré au moins autant de potentiel de déblocage que la contrainte (chapitre 9.1, Jean-Marc Zuretti).
- Suivre et alimenter, du point de vue des professionnels de la couverture, le développement de la notion de « bouilloire thermique » et de l'indicateur de confort d'été du DPE (chapitre 4.7), pour que la doctrine technique élaborée par ce livre blanc soit prête à s'articuler avec ce nouveau cadre réglementaire dès qu'il se stabilisera — et pour que le financement désormais ouvert par MaPrimeRénov' aux brasseurs d'air et protections solaires fixes (chapitre 4.7) profite en priorité aux logements sous toiture les plus exposés.

E — Formation, filière

- Diffuser sans délai, à l'échelle des 50 000 couvreurs français, deux changements de pratique identifiés comme prioritaires par Thomas Lesne : le passage à une lame d'air ventilée de 6-10 cm (contre 2-4 cm aujourd'hui) et le recours à des isolants denses type chaux-chanvre en rampant — avec un objectif réaliste de 3 à 5 ans pour que ces pratiques se généralisent.
- Produire et diffuser, en priorité, les schémas de traitement des points singuliers (égout, faîtage, rives, pénétrations) associés à ces deux évolutions, aujourd'hui absents des CFA (Thomas Lesne).
- Intégrer l'isolation et la ventilation d'été, aujourd'hui quasi absentes des 14 semaines de formation initiale des couvreurs, comme un bloc de compétences à part entière (Audrey Esteves, Jocelyn Gac).
- Créer, plutôt qu'une certification autonome, un label ou un module intégré à un diplôme existant — sur le modèle de modules déjà inscrits au programme de certains diplômes, comme le SST ou l'habilitation à l'utilisation d'un échafaudage — dédié au confort d'été et à la réhabilitation du bâti ancien.
- Décloisonner les corps de métier par une formation croisée (couvreurs, architectes, ingénieurs, plaquistes) et par des modules de communication permettant d'argumenter un choix technique face aux habitants (Marie Jeffroy, Judicaël de la Soudière).
- Évoluer vers des marchés rémunérés à la performance énergétique réellement obtenue plutôt qu'au seul respect d'un cahier des charges de moyens (Laurent Arnaud).

F — Gouvernance et suivi du plan d'actions

Ce livre blanc appelle un passage à l'acte immédiat plutôt qu'une nouvelle édition du colloque pour en reformuler les constats. Le suivi de ce plan d'actions gagnera à être confié aux instances et organisations déjà existantes de la filière — au premier rang desquelles le comité de pilotage du colloque lui-même (GCCP, Compagnons Couvreurs du Devoir, Mastère Spécialisé REBA de l'École des Ponts et de l'École de Chaillot), en lien avec l'UMGCCP-FFB et la CAPEB — plutôt que par la création d'une structure ad hoc. C'est aussi le rôle qu'entend jouer le Mastère Spécialisé REBA, en tant que think tank de la filière : par son enseignement de haut niveau, mais aussi par les thèses professionnelles de ses mastériens, régulièrement mobilisées comme incubatrices de modèles d'atténuation, d'adaptation et de régénération du bâti ancien (chapitre 10).

Reste une question plus large, posée sans détour par Maud Lelièvre lors de la cinquième table ronde et qui dépasse le seul cadre technique de ce livre blanc :

> *« C'est une question de justice sociale et de politique, pas seulement technique. [...] Une question radicale se pose : peut-on encore habiter au dernier étage ? »*
>
> **— Maud Lelièvre, mission Paris à 50°, autrice**

Ce débat de société ne peut se tenir dans le seul cadre d'un colloque professionnel : il appelle une instruction par les pouvoirs publics — à l'échelle municipale via des missions d'information comme « Paris à 50° », ou à l'échelle nationale par les commissions parlementaires compétentes — associant les collectifs d'habitants (Collectif du dernier étage), les bailleurs et les associations de lutte contre le mal-logement. Le Mastère Spécialisé REBA, par sa vocation de lieu de rencontre entre professionnels, chercheurs et pouvoirs publics, peut y contribuer sans prétendre s'y substituer.

De Toulouse à Lyon, en passant par Marseille et Bordeaux, les villes françaises découvrent qu'un bâtiment bien isolé pour l'hiver peut devenir invivable l'été. Il est temps de repenser la valeur du patrimoine à l'aune de sa capacité à rester habitable.

Pendant un siècle, la question thermique du logement s'est posée dans un seul sens : comment garder la chaleur ? Chaque réglementation, chaque rénovation, chaque diagnostic de performance énergétique a été bâti sur cette obsession hivernale. Une autre question s'impose désormais, presque inversée : comment garder la fraîcheur ? Elle ne relève pas d'un simple ajustement technique. Elle bouscule notre rapport au patrimoine, à l'architecture et, en définitive, à ce que vaut réellement un bâtiment.

Paris, ou l'ancienne chambre de bonne devenue enjeu social

Le cas parisien est éclairant. Quelque 100 000 logements de la capitale se trouvent directement sous les toits. Tous ne sont pas des étuves : leur vulnérabilité dépend de l'orientation, de la ventilation, des protections solaires, de l'inertie et de l'environnement immédiat. Mais les études de l'Atelier parisien d'urbanisme (Apur) désignent régulièrement ces logements comme parmi les plus inconfortables lors des vagues de chaleur. En croisant ces surfaces avec les données d'occupation disponibles, on peut estimer, à titre de scénario de travail, qu'ils abritent entre 150 000 et 190 000 personnes — un ordre de grandeur qui reste à consolider, tant les statistiques publiques ne relient pas directement logement sous toiture et profil de l'occupant, mais qui suffit à changer d'échelle. Il ne s'agit plus seulement d'anciennes chambres de service : étudiants, jeunes actifs, familles, retraités, propriétaires ou locataires, tous partagent aujourd'hui ce même dernier étage devenu question sociale.

Une géographie française de la chaleur

Le phénomène n'est pas propre à Paris, mais il prend un visage différent selon les villes.

À Toulouse, où les épisodes caniculaires sont déjà sévères, les logements anciens du centre cumulent deux handicaps : la chaleur entre, et elle reste. La ville a engagé une réflexion, « Cap Toulouse + fraîche 2050 », pour réduire l'îlot de chaleur urbain par la végétalisation et la désimperméabilisation — une manière d'admettre que le bâtiment ne peut plus se penser sans la ville qui l'entoure.

À Marseille, le climat méditerranéen avait pourtant produit sa propre architecture du refroidissement : volets, persiennes, murs épais, patios, ventilation traversante. Une partie du parc ancien a perdu ce savoir-faire. La municipalité, qui vise désormais autant l'absence de froid l'hiver que l'absence de chaud l'été, articule isolation, ventilation et rafraîchissement. Le risque, dans cette équation, est de remplacer une intelligence architecturale séculaire par une dépendance généralisée à la climatisation — solution efficace à l'échelle du logement, mais aggravante à l'échelle de la ville, entre surconsommation électrique et chaleur rejetée dans l'espace public.

Bordeaux, de son côté, a fait de l'adaptation à la chaleur une politique publique à part entière. Son programme dédié, actualisé en juin 2026, encourage protections solaires extérieures, toitures végétalisées et toitures claires. La toiture n'y est plus seulement une enveloppe à isoler : elle devient un élément actif de l'adaptation climatique.

À Lyon enfin, où se cumulent minéralité, îlot de chaleur urbain et nuits caniculaires, certaines qualités longtemps jugées désuètes — murs épais, forte inertie, hauteur sous plafond — redeviennent des atouts, quand des constructions récentes, largement vitrées et peu protégées du soleil, s'avèrent invivables l'été malgré d'excellentes performances théoriques. La leçon est nette : le bâtiment le plus performant l'hiver n'est pas nécessairement le plus habitable l'été.

Le paradoxe de l'isolation

C'est sans doute l'un des grands malentendus de la transition énergétique : nous avons appris à isoler, il faut désormais apprendre à isoler sans enfermer la chaleur. Une rénovation pensée au seul prisme du diagnostic de performance énergétique peut améliorer les consommations hivernales tout en aggravant le confort d'été. Ce dernier suppose une tout autre combinaison : protection solaire, ventilation, inertie, déphasage, matériaux adaptés, gestion des ouvertures, végétation et usages. L'Apur le montre dans ses études de cas du Grand Paris : les logements mono-orientés, dépourvus de protections solaires ou situés sous les toits sont, de loin, les plus difficiles à adapter. Il devient urgent de sortir d'une vision uniquement énergétique du bâtiment — et d'admettre que la vulnérabilité à la chaleur dépend aussi de qui habite le logement : une personne âgée seule sous les toits n'a pas les mêmes marges de manœuvre qu'un jeune actif pouvant quitter la ville quelques jours, ni un locataire les mêmes leviers qu'un propriétaire. La capacité d'agir devient elle-même une composante de la performance climatique.

Ce que font déjà d'autres villes

Aucune ville, en Europe ou ailleurs, ne détient encore la solution universelle, mais plusieurs expérimentent. L'Agence européenne pour l'environnement recommande de privilégier le refroidissement passif et les solutions urbaines de rafraîchissement plutôt qu'une généralisation de la climatisation, en pointant les inégalités sociales que crée l'accès inégal au froid. Londres a lancé un programme, « Roofs Designed to Cool », qui traite la toiture comme une véritable infrastructure climatique. Barcelone déploie, pour l'été 2026, un réseau de plus de 500 refuges climatiques — dont l'ambition est que 99,2 % des habitants en trouvent un à moins de dix minutes à pied — mais cette réponse d'urgence pose une question dérangeante : pourquoi devoir quitter son logement pour supporter la température extérieure ? Vienne a inscrit la chaleur dans sa politique de santé publique, avec un plan d'action comportant 28 mesures ciblant notamment les populations vulnérables. Athènes développe une stratégie comparable. Plus loin encore, au Niger, un centre communautaire combinant murs en terre, végétation et ventilation naturelles parvient à maintenir une température intérieure jusqu'à 15°C inférieure à l'extérieur, sans aucune climatisation — la démonstration qu'une architecture bien pensée reste une machine climatique à part entière.

D'un patrimoine que l'on conserve à un patrimoine que l'on régénère

Le véritable sujet est peut-être là. Nous avons longtemps considéré le patrimoine comme un objet à conserver, puis appris à le réhabiliter. Il faut désormais apprendre à le régénérer — non pas l'effacer, mais préserver ce qui fait sa valeur tout en le rendant capable de répondre à des réalités physiques nouvelles. L'enjeu n'est pas de choisir entre patrimoine et adaptation, mais de faire de l'adaptation une dimension à part entière du patrimoine.

C'est le sens d'un indice d'habitabilité climatique, décliné selon les morphologies urbaines — toitures en zinc et combles haussmanniens à Paris, ventilation et protection solaire à Toulouse, persiennes et patios à Marseille, humidité et chaleur à Bordeaux, inertie et surchauffe urbaine à Lyon —, qui croiserait quatre dimensions : l'exposition du logement à la chaleur, sa capacité thermique à la retenir ou l'évacuer, sa capacité d'adaptation — peut-on encore protéger les fenêtres, ventiler, transformer la toiture, végétaliser ? — et la vulnérabilité humaine de ceux qui l'habitent. On ne mesurerait plus seulement une performance énergétique, mais la capacité d'un bâtiment à rester habitable dans le climat de demain.

Car un appartement parisien sous zinc peut afficher une très forte valeur patrimoniale et immobilière ; s'il devient impossible d'y dormir ou d'y travailler l'été sans climatisation, sa valeur réelle change. La valeur d'un bâtiment ne peut plus s'écrire seulement comme surface, localisation, rendement et performance énergétique. Elle doit désormais intégrer l'habitabilité, la résilience, la santé, la capacité d'adaptation et le coût de l'inaction. Quelle est, au fond, la valeur d'un patrimoine que l'on ne peut plus habiter ?

Transformer ce qui existe déjà

La prochaine révolution du bâtiment ne sera pas celle de la construction neuve, mais celle de l'adaptation du déjà-là. L'essentiel de la ville de 2050 existe déjà : Paris, Toulouse, Marseille, Bordeaux et Lyon ne seront pas rasées pour être reconstruites selon les règles d'un nouveau climat. Il faudra transformer l'existant, avec les matériaux, les savoir-faire, les artisans, les architectes, les ingénieurs, les habitants et les contraintes patrimoniales dont nous disposons — mais avec une compréhension renouvelée du climat. La rénovation énergétique visait à rendre les bâtiments moins consommateurs. L'étape suivante doit être plus ambitieuse : les rendre capables de rester habitables.

Un patrimoine vivant n'est pas seulement un patrimoine que l'on conserve. C'est un patrimoine qui continue à pouvoir accueillir la vie. Bien vivre sous les toits, ce n'est pas préserver les toits de nos villes contre le changement climatique. C'est les transformer pour que ceux qui vivent dessous puissent continuer d'y vivre. Une question qui dépasse largement la France, et qui s'impose comme l'une des grandes questions architecturales, sociales et politiques de ce siècle : comment habiter un monde qui change physiquement ?

Ressources en ligne

Quelques points d'entrée pour approfondir les sujets techniques les plus cités dans ce livre blanc. Les organismes et documents cités sont à jour à la date de publication ; pour les documents techniques réglementés (avis techniques, e-cahiers), se référer systématiquement à la version en vigueur auprès de l'organisme émetteur.

Lame d'air ventilée sous couverture — ressources CSTB

Les préconisations de dimensionnement de la lame d'air évoquées au chapitre 9.2 bis renvoient aux e-cahiers du CSTB consacrés à la ventilation des couvertures, en particulier l'e-cahier CSTB n°3560 (isolation thermique en rampant et ventilation de la lame d'air en sous-face) et l'e-cahier CSTB n°3231 (dispositions relatives au risque incendie des lames d'air). Ces documents, ainsi que l'ensemble des avis techniques associés à chaque procédé (écrans de sous-toiture, isolants, systèmes de bardage rapporté), sont consultables sur la Thématique en ligne « e-Cahiers » de la boutique du CSTB (boutique.cstb.fr), accessible par abonnement, ou via le moteur de recherche des avis techniques valides de Batipédia. Pour une première lecture libre d'accès sur le même sujet appliqué aux façades, le site professionnel Cahiers Techniques du Bâtiment (cahiers-techniques-batiment.fr) propose une synthèse sur les systèmes d'ITE en bardage rapporté avec lame d'air ventilée, référencée au Cahier CSTB 3251-V2. La référence exacte applicable à un chantier donné doit, dans tous les cas, être vérifiée auprès du CSTB ou du fabricant du procédé mis en œuvre.

Isolants chaux-chanvre et bétons de chanvre

Le mélange chaux-chanvre présente la particularité de bien se comporter à la fois au froid et à la chaleur : sa conductivité thermique (λ de l'ordre de 0,06 à 0,15 W/m.K, chapitre 9.2 bis) reste correcte en hiver dès lors que l'épaisseur mise en œuvre est suffisante, tandis que sa masse volumique élevée (300 à 500 kg/m³) et son caractère perspirant lui confèrent une forte inertie et une régulation hygrothermique qui en font, l'été, un excellent correcteur thermique et un tampon efficace contre les pics de chaleur — un double profil de performance rarement réuni dans un même matériau (chapitre 9.2 bis). Le chaux-chanvre se met en œuvre selon deux grandes familles de procédés : en éléments préfabriqués (blocs ou panneaux manufacturés, de pose plus rapide et plus reproductible en épaisseur constante) ou en coulage sur site — banché, projeté ou appliqué manuellement (gobetis puis corps d'enduit), qui permet d'épouser les irrégularités du bâti ancien mais exige un temps de séchage plus long et un savoir-faire spécifique de chantier. L'association Construire en Chanvre (construire-en-chanvre.fr) publie les Règles professionnelles d'exécution des bétons de chanvre — validées par la commission C2P de l'Agence Qualité Construction en 2024, étendant leur champ d'application au logement collectif jusqu'à R+8 — ainsi que des guides techniques et une formation dédiée (Pro-Chanvre) pour les professionnels souhaitant se qualifier sur ces deux familles de mise en œuvre.

Solutions de ventilation et d'extraction d'air

L'Ademe (ademe.fr) et le réseau Pro'Réno du CSTB (proreno.fr, chapitre 7.3 quater) publient des fiches pratiques sur le choix et le dimensionnement des systèmes de ventilation en rénovation, simple et double flux. Le syndicat professionnel Uniclima représente les fabricants de matériels de ventilation et publie chaque année des chiffres de référence sur le marché français.

Agence Qualité Construction

L'AQC (qualiteconstruction.com) diagnostique les pathologies du bâtiment et diffuse des retours d'expérience et outils pédagogiques utiles pour sécuriser la mise en œuvre des solutions présentées dans ce livre blanc, en particulier pour les matériaux ou techniques encore peu répandus (isolants denses, réseaux semi-rigides, pare-vapeur continu, chapitre 9.2 bis).

Annexe — Phénomènes physiques et cahier des charges idéal du confort d'été

La chaleur qui s'accumule sous un toit n'est jamais qu'une conséquence : celle de phénomènes physiques précis, connus depuis longtemps, mais rarement reliés explicitement aux solutions qu'ils commandent. Cette annexe reprend ces phénomènes un par un, en s'appuyant sur les mécanismes déjà cités par les intervenants du colloque et en les complétant de quelques principes non abordés en séance.

A.1 — Les phénomènes physiques à l'origine de la surchauffe et les solutions qu'ils commandent

1. Le rayonnement solaire porte de l'énergie à travers le vitrage

Mécanisme physique — La lumière du soleil — dans l'ultraviolet, le visible et surtout le proche infrarouge — transporte de l'énergie radiative. En traversant un vitrage, ce rayonnement est en partie absorbé par les surfaces intérieures (sols, murs, mobilier), qui le réémettent ensuite sous forme de chaleur (grandes longueurs d'onde) que le verre ordinaire laisse plus difficilement ressortir : c'est l'effet de serre, à l'œuvre à l'échelle d'une pièce comme à celle de la planète.

Solution(s) technique(s) associée(s) — Faire obstacle au rayonnement avant qu'il n'atteigne le vitrage plutôt qu'après. C'est tout l'enjeu de la position de la protection solaire, déjà souligné au chapitre 5.3 : un volet ou un brise-soleil posé à l'extérieur intercepte le rayonnement avant qu'il ne traverse le verre et ne se transforme en chaleur dans la pièce, tandis qu'un volet ou un store intérieur n'agit qu'après coup, une fois cette chaleur déjà entrée — son efficacité est donc structurellement moindre, quelle que soit la qualité du matériau. À défaut de protection extérieure, on peut filtrer sélectivement le rayonnement (vitrage à contrôle solaire, chapitre 5.2) ou le réfléchir directement sur la vitre elle-même — la solution la plus ancienne et la plus économique étant le badigeon de blanc de Meudon, une poudre de craie diluée appliquée en couche temporaire sur les vitres les plus exposées ; le même badigeon, très dilué, peut aussi être appliqué sur une toiture en bac acier ou fibrociment pour en réduire l'absorption. (chapitre 5)

2. L'air chaud est plus léger : il s'élève — l'« effet cocotte-minute » des volumes clos

Mécanisme physique — Un gaz chauffé se dilate et devient moins dense que l'air froid environnant : il s'élève par convection naturelle (poussée d'Archimède thermique). Dans un comble ou un logement sous toiture privé d'exutoire, cet air chaud n'a nulle part où aller : il s'accumule sous le point le plus haut du volume, faisant grimper la température bien au-delà de l'air extérieur — l'image de la cocotte-minute employée par Maxime Coudray (chapitre 7.3 quater).

Solution(s) technique(s) associée(s) — Offrir systématiquement une sortie haute à cet air chaud (faîtage ventilé, exutoire de désenfumage à fonction ouvrante, chapitre 9.1) couplée à une entrée d'air basse, de façon à transformer l'accumulation en un flux continu — c'est tout le principe de la lame d'air ventilée sous couverture (chapitre 9.2 bis) comme de la ventilation des combles perdus. (chapitres 7 et 9)

3. Le changement de phase liquide-vapeur absorbe de l'énergie — sudation humaine et rafraîchissement adiabatique

Mécanisme physique — L'évaporation d'un liquide consomme de l'énergie sous forme de chaleur latente de vaporisation, prélevée sur son environnement immédiat — c'est ce même changement de phase qui refroidit la peau lors de la sudation (environ 600 kcal par litre d'eau évaporée) et qui refroidit l'air dans un système de climatisation dite adiabatique, où l'air est mis au contact d'un média humidifié avant d'être insufflé dans le logement (chapitre 7.3 bis, VestaClim). Ce mécanisme perd son efficacité lorsque l'air ambiant est déjà chargé en vapeur d'eau (humidité relative élevée) ou lorsqu'il ne se renouvelle pas au contact de la surface d'échange — d'où l'inconfort spécifique de la chaleur humide, physiologiquement plus éprouvant qu'une chaleur sèche de même température (chapitre 2.5), et la limite intrinsèque de tout système adiabatique en climat très humide.

Solution(s) technique(s) associée(s) — Deux applications directes de ce même principe physique : à l'échelle du corps, renouveler l'air à son contact plutôt que le refroidir directement — c'est le principe du brasseur d'air (chapitre 7.3 quater), qui restaure l'efficacité de la sudation pour un gain de confort ressenti de l'ordre de 2°C ; à l'échelle du bâtiment, le rafraîchissement adiabatique par conduit de cheminée (chapitre 7.3 bis), qui refroidit l'air neuf par évaporation sur un média minéral humidifié, sans compression mécanique ni fluide frigorigène. (chapitres 7.3 bis et 7.3 quater)

3 bis. La chaleur met plusieurs heures à traverser un mur : déphasage et ventilation des parois verticales

Mécanisme physique — Comme pour une toiture (chapitre 6.2), la chaleur reçue sur la face extérieure d'un mur ne traverse pas instantanément vers l'intérieur : elle progresse à travers l'épaisseur de la paroi avec un déphasage qui dépend de la masse et de la conductivité des matériaux traversés, de l'ordre de plusieurs heures pour un mur courant. Sans traitement particulier, ce flux continue malgré tout de traverser la paroi et d'échauffer le logement en fin de journée et en soirée.

Solution(s) technique(s) associée(s) — Le traitement diffère selon la technique d'isolation retenue. En isolation thermique par l'extérieur (ITE), une lame d'air ventilée entre le parement extérieur (bardage rapporté) et l'isolant — le même principe physique qu'en toiture (chapitre 9.2 bis) — évacue une partie de cette chaleur avant qu'elle n'atteigne l'isolant ; les avis techniques du CSTB imposent d'ailleurs une lame d'air ventilée d'au moins 20 mm pour la plupart des procédés de bardage rapporté, systématique pour les parements en zinc. Lorsque l'isolation est posée par l'intérieur (ITI) ou que la paroi ne permet pas cette lame d'air extérieure, seule une ventilation forcée nocturne du volume intérieur — simple ou double flux, chapitre 7.3 quater — peut évacuer la chaleur qui a fini par traverser la paroi, en la couplant à la surventilation nocturne déjà recommandée pour les combles. (hors colloque — extension du principe du chapitre 9.2 bis aux parois verticales)

3 ter. La vapeur d'eau migre du côté chaud vers le côté froid : où placer le pare-vapeur selon ITE ou ITI

Mécanisme physique — L'air intérieur d'un logement chauffé ou habité contient de la vapeur d'eau (respiration, cuisine, douche) à une pression plus élevée que l'air extérieur plus froid. Cette différence de pression de vapeur pousse l'humidité à migrer par diffusion à travers les parois, du côté chaud vers le côté froid. Si cette vapeur rencontre, en chemin, une zone suffisamment froide au sein même de la paroi — un point de rosée atteint à l'intérieur de l'isolant plutôt qu'en surface —, elle s'y condense : c'est la condensation interstitielle, qui humidifie l'isolant, réduit durablement sa performance et peut dégrader la structure (bois, métal) sur le long terme. Le rôle du pare-vapeur, déjà cité au chapitre 9.2 bis parmi les points de vigilance de la filière, est de limiter cette migration avant qu'elle n'atteigne la zone à risque. Un autre point de vigilance, signalé par Franck Leguillon (CSTB) en relecture de ce livre blanc, mérite d'être ajouté ici : l'inversion ponctuellement possible des flux de vapeur en condition estivale, en particulier lorsque le logement est climatisé — un phénomène qui inverserait localement la logique décrite ci-dessus, et que ce livre blanc n'a pas encore approfondi.

Solution(s) technique(s) associée(s) — Le principe général — placer le pare-vapeur du côté chaud de l'isolant, jamais du côté froid — a pour conséquence que sa position dans la paroi s'inverse selon la technique retenue. En isolation par l'intérieur (ITI), l'isolant est ajouté côté intérieur d'un mur existant qui reste froid : le pare-vapeur se place donc juste derrière le parement intérieur (plaque de plâtre), entre celui-ci et l'isolant, avec un vide technique de préservation (chapitre 9.2 bis) — c'est la configuration la plus fréquente et la plus documentée. En isolation par l'extérieur (ITE), la logique s'inverse entièrement : c'est le mur existant qui se retrouve du côté chaud, réchauffé et protégé par l'isolant désormais posé à l'extérieur (avec le bénéfice d'inertie associé, chapitre 6.2). Un pare-vapeur côté intérieur devient alors inutile, voire contre-productif ; ce qui doit se trouver côté froid, à l'extérieur de l'isolant, est au contraire un pare-pluie ou une membrane respirante, perméable à la vapeur mais imperméable à l'eau liquide, qui protège l'isolant des intempéries tout en le laissant sécher vers l'extérieur. Poser par erreur une membrane bloquant la vapeur du côté froid d'une paroi — quelle que soit la technique — est l'une des causes les plus fréquentes de pathologies d'humidité en réhabilitation, car elle emprisonne la vapeur qui ne peut plus s'échapper d'aucun côté.

4. L'évapotranspiration végétale : le même principe physique appliqué aux plantes

Mécanisme physique — Les végétaux perdent de l'eau par leurs stomates (transpiration) tout en captant le rayonnement solaire pour la photosynthèse ; cette évaporation constante consomme de l'énergie thermique et rafraîchit l'air ambiant selon le même mécanisme physique que la sudation humaine — Yannik Beix la résumait par la formule « le végétal, par nature, c'est un climatiseur naturel » (chapitre 9.1).

Solution(s) technique(s) associée(s) — Végétaliser cours, courettes, toitures-terrasses et abords immédiats du bâti pour bénéficier de ce rafraîchissement passif, combiné à l'ombrage direct du feuillage et à la désimperméabilisation des sols qui limite la restitution de chaleur emmagasinée par les surfaces minérales. (chapitres 8 et 9.1)

5. Le vent crée une dépression en partie haute : le principe des tours à vent

Mécanisme physique — Un flux d'air qui rencontre un obstacle ou une ouverture en hauteur crée, par effet Venturi, une zone de dépression du côté sous le vent. Les tours à vent traditionnelles (badgir du monde iranien et golfique, évoquées au chapitre 8.3) exploitent ce principe pour aspirer l'air chaud vicié d'un bâtiment sans aucun apport d'énergie, le vent lui-même faisant office de moteur — un principe purement mécanique, distinct de la simple convection thermique du point 2.

Solution(s) technique(s) associée(s) — Transposer ce principe aux conduits de cheminée désaffectés du bâti ancien (chapitre 7.3 bis) ou aux exutoires de toiture à capuchon orientable, qui accélèrent le tirage même par vent faible. (chapitre 7.3 bis)

6. La cage d'escalier comme cheminée thermique de l'immeuble

Mécanisme physique — La combinaison des phénomènes 2 et 5 — air chaud qui monte, dépression créée en toiture — fait de toute cage d'escalier haussmannienne un conduit de tirage potentiel à l'échelle de l'immeuble entier, à condition de lui offrir une entrée d'air basse (rez-de-chaussée, hall) et un exutoire haut (désenfumage à fonction ouvrante, fenêtre de toit en tête de cage) — le principe exact de la « cheminée de fraîcheur » mesurée par Toiture Parisienne et confirmé par Jean-Baptiste Bernard et Manon Pellas lors de l'atelier A.

Solution(s) technique(s) associée(s) — Systématiser, lors de toute conception ou rénovation de désenfumage, la demande explicite d'une fonction ouvrante motorisée — une simple ouverture manuelle restant trop rarement actionnée pour être fiable, et coupler cette ouverture haute à une porte ou une grille basse qui ne bloque pas la circulation d'air dans les paliers. (chapitres 7.6 et 9.1)

7. L'inertie thermique du sol profond : le principe du puits canadien ou provençal

Mécanisme physique — Au-delà de 1,5 à 2 mètres de profondeur, la température du sol reste quasiment stable toute l'année, autour de 12 à 14°C sous le climat français, car les variations journalières et même saisonnières de l'air extérieur s'y amortissent avec un déphasage de plusieurs mois. Faire circuler l'air neuf dans un conduit enterré à cette profondeur permet donc un échange thermique naturel avec cette masse stable.

Solution(s) technique(s) associée(s) — Le puits canadien (préchauffage hivernal) ou provençal (rafraîchissement estival) déjà détaillé au chapitre 7.3 ter, pour les projets disposant d'un accès au sol. (chapitre 7.3 ter)

8. L'albédo : la couleur d'une surface détermine la part du rayonnement qu'elle absorbe

Mécanisme physique — Une surface réfléchit une fraction du rayonnement solaire incident (son albédo, chapitre glossaire) et absorbe le reste, qui se transforme en chaleur. Plus une surface est claire, plus son albédo est élevé et moins elle s'échauffe — un principe déjà détaillé aux chapitres 6, 8 et 9.1 à propos des couvertures (zinc patiné, tuiles claires, débat des toits peints en blanc).

Solution(s) technique(s) associée(s) — Ce principe s'applique bien au-delà de la seule couverture : volets et menuiseries extérieures de teinte claire plutôt que sombre, revêtements de voirie et d'espaces extérieurs (VRD) les plus clairs possible pour limiter l'îlot de chaleur au sol, finitions intérieures claires pour limiter le réchauffement des surfaces exposées au rayonnement transmis par les vitrages, et, en solution d'appoint temporaire, le badigeon de blanc de Meudon déjà cité au point 1. (chapitres 6, 8 et 9.1)

9. Le refroidissement radiatif nocturne

Mécanisme physique — Toute surface émet en permanence un rayonnement infrarouge vers son environnement ; par ciel dégagé et air sec, une partie de ce rayonnement s'échappe directement vers l'espace à travers une bande de longueurs d'onde où l'atmosphère est transparente (dite fenêtre atmosphérique, entre 8 et 13 microns). Une surface à forte émissivité dans cette bande peut ainsi se refroidir la nuit en dessous de la température de l'air ambiant — un principe exploité empiriquement depuis l'Antiquité par les yakhtchals iraniens et par la fabrication traditionnelle de glace en Inde par exposition nocturne de bassins peu profonds.

Solution(s) technique(s) associée(s) — Des revêtements de toiture dits à refroidissement radiatif passif, combinant un albédo solaire élevé (point 8) et une forte émissivité infrarouge, se développent pour amplifier ce phénomène. Trois familles peuvent être citées à titre d'exemple : les peintures cool roof blanches classiques à base de dioxyde de titane ou d'oxyde de zinc, aujourd'hui commercialisées pour l'application sur membranes d'étanchéité (EPDM, bitume, fibrociment, bac acier), avec des écarts de température de surface mesurés pouvant dépasser 30°C entre une membrane peinte et non peinte ; les revêtements dits à haute performance combinant réflectance solaire et forte émissivité infrarouge, dont certaines formulations récentes (peintures acryliques chargées en sulfate de baryum, publiées en 2021) atteignent une réflectance solaire supérieure à 98 % ; et les revêtements thermochromes, plus expérimentaux, dont la couleur et donc la réflectance varient avec la température de surface, pour s'adapter automatiquement aux saisons plutôt que d'imposer une couleur claire à l'année. Ces trois familles restent aujourd'hui hors du champ des aides à la rénovation énergétique réglementées (CEE, MaPrimeRénov'), mais peuvent s'intégrer à un projet de rénovation globale portant par ailleurs sur l'isolation et la ventilation. Une piste de recherche à surveiller pour les toitures de demain, en complément des cool roofs à simple réflectance déjà évoquées au chapitre 6.6, et qui pourrait un jour concerner les grandes surfaces de toiture en bac acier ou en membrane synthétique, notamment sur du bâti non patrimonial où la couleur n'est pas contrainte.

10. Isoler par l'air immobile, tempérer par la masse sans air : deux logiques physiques opposées à combiner

Mécanisme physique — Un isolant thermique classique (laine minérale, fibre de bois en vrac, isolant mince réflectif) tire l'essentiel de sa performance — son faible λ — de l'air immobile piégé dans sa structure fibreuse ou alvéolaire : l'air calme est un très mauvais conducteur de chaleur, à condition qu'aucun mouvement de convection ne s'y installe. L'inertie thermique repose sur un principe physique inverse : c'est la masse du matériau — donc l'absence relative d'air, la densité, la capacité à stocker de la chaleur dans sa structure moléculaire — qui permet d'amortir et de déphaser les variations de température (chapitre 6.2). Un matériau ne peut pas maximiser les deux propriétés à la fois : plus il est léger et poreux, meilleur est son λ mais plus faible est son inertie ; plus il est dense, meilleure est son inertie mais plus élevé est son λ (chapitre 6.6, tableau des matériaux de couverture, et 9.2 bis, tableau des isolants). — Principe présenté ici sous une forme simplifiée, à affiner le cas échéant avec un bureau d'études thermiques pour un projet donné.

Solution(s) technique(s) associée(s) — La combinaison d'un isolant massif (ou d'une couche de matériau dense assurant l'inertie — plaque de plâtre haute densité, enduit terre, correcteur chaux-chanvre) et d'une lame d'air ventilée bien dimensionnée (chapitre 9.2 bis) permet en principe de répondre simultanément aux deux exigences : le λ de l'isolant pour le confort d'hiver, la masse et le déphasage pour le confort d'été, la lame d'air pour évacuer l'excédent de chaleur avant qu'il n'atteigne l'un ou l'autre. C'est le sens de la proposition portée en ce sens dans le plan d'actions de ce livre blanc. (chapitres 6.2, 6.6 et 9.2 bis — à vérifier et affiner avec les bureaux d'études thermiques)

A.2 — Cahier des charges idéal des solutions techniques pour le confort d'été

Sur la base des phénomènes physiques ci-dessus et de l'ensemble des travaux du colloque, ce livre blanc propose la trame d'un cahier des charges applicable à tout projet de réhabilitation ou de construction visant le confort d'été sous toiture. Il n'a pas vocation à se substituer à un diagnostic thermique réglementaire, mais à servir de check-list de conception, dans l'esprit des cahiers de typologies appelés de leurs vœux par les ABF eux-mêmes (chapitre 9.1).

1. Enveloppe opaque (parois, toiture)

- Isolation en épaisseur suffisante pour une résistance thermique R ≥ 7 à 8 m².K/W en rampant ou comble perdu (chapitre 9.2 bis), avec un isolant choisi non pour son seul λ mais pour son déphasage thermique — se reporter au tableau comparatif des isolants du chapitre 9.2 bis pour arbitrer entre λ et inertie selon la technique de pose retenue (ITI, sarking, comble perdu).
- Lame d'air ventilée sous couverture de 6 à 10 cm minimum, avec entrée d'air basse protégée (grille anti-volatile) et sortie haute au faîtage (chapitre 9.2 bis, phénomène 2).
- Pour les parois verticales : lame d'air ventilée entre parement extérieur et isolant en cas d'ITE (40 mm minimum, systématique pour un parement zinc), ou ventilation forcée nocturne du volume intérieur (simple ou double flux) lorsque l'isolation est posée par l'intérieur ou que cette lame d'air n'est pas possible (Annexe, phénomène 3 bis).
- Position du pare-vapeur systématiquement vérifiée du côté chaud de l'isolant, ce qui inverse son emplacement selon la technique : côté intérieur (entre isolant et plaque de plâtre, avec vide technique) en ITI ; remplacé par un pare-pluie ou une membrane respirante côté froid, extérieur de l'isolant, en ITE (Annexe, phénomène 3 ter) — une inversion de position étant une cause fréquente de pathologies d'humidité.
- Combinaison d'un isolant massif assurant l'inertie et d'une lame d'air bien dimensionnée plutôt qu'un seul isolant léger, pour répondre simultanément au confort d'hiver (λ) et au confort d'été (déphasage) — principe à affiner avec un bureau d'études thermiques (Annexe, phénomène 10).
- Traitement documenté des points singuliers (égout, faîtage, rives, pénétrations) associé à toute évolution d'épaisseur de la lame d'air ou de l'isolant.
- Choix du matériau de couverture en cohérence avec l'albédo visé et les contraintes patrimoniales du site (chapitre 6.6, phénomène 8) ; à défaut de changement de matériau, envisager un traitement de surface réversible (badigeon clair) sur les couvertures non patrimoniales de type bac acier.

2. Parois vitrées et protections solaires

- Protection solaire positionnée côté extérieur en priorité absolue (chapitre 5.3, phénomène 1) : brise-soleil orientable (BSO), volet, store — de teinte claire plutôt que sombre (phénomène 8) ; ne pas confondre son efficacité avec celle d'un volet ou store intérieur, qui intervient une fois la chaleur déjà entrée (Annexe, phénomène 1).
- Vitrage à contrôle solaire pour toute fenêtre de toit ou paroi vitrée fortement exposée, sans sur-.coût significatif par rapport à un double vitrage standard (chapitre 5.2).
- Procédure d'usage documentée et communiquée à l'habitant (fermeture aux heures d'ensoleillement, ouverture nocturne) : la meilleure protection solaire reste inefficace si elle n'est pas actionnée au bon moment (chapitre 5.4).
- En solution d'appoint temporaire et réversible (bâtiment non équipé, période de canicule exceptionnelle) : badigeon de blanc de Meudon sur les vitrages les plus exposés (phénomène 1).

3. Ventilation et brassage d'air

- Ventilation propre du volume de comble, perdu ou aménagé, avec entrée basse et sortie haute dédiées, distincte de la seule lame d'air sous couverture (chapitre 7.3 quater, phénomène 2).
- Fonction ouvrante manuelle systématiquement demandée sur tout exutoire de désenfumage de cage d'escalier, pour doubler sa fonction sécurité incendie d'une fonction de tirage thermique, en concertation avec les services d'incendie et de secours (chapitre 9.1, phénomène 6).
- Étude de faisabilité d'une ventilation naturelle assistée par effet tour à vent (reconversion de conduits de cheminée existants, type VestaClim, rafraîchissement adiabatique par changement de phase) ou par puits canadien/provençal lorsque le bâti et le foncier le permettent (phénomènes 3, 5 et 7).

- Brasseurs d'air en complément systématique dans les pièces de vie et chambres du dernier étage, solution à faible coût et faible consommation trop rarement prescrite (chapitre 7.3 quater, phénomène 3).
- Test d'étanchéité à l'air en réception de travaux, pour vérifier que les entrées d'air non maîtrisées ne compromettent pas le fonctionnement de la ventilation prescrite (chapitre 9.2 bis).

4. Inertie et matériaux

- Recherche d'un déphasage thermique de l'ordre de 10 à 12 heures pour repousser le pic de température intérieure vers la nuit, période où la ventilation peut l'évacuer (chapitre 6.2).
- Ajout de masse thermique lorsque le bâti en est dépourvu (plaque de plâtre haute densité, enduits terre) en complément de l'isolant (chapitre 6.2).
- Arbitrage explicite, pour chaque paroi du projet, entre isolation par l'air immobile (λ) et inertie par la masse (déphasage) : se reporter systématiquement au tableau comparatif des isolants (chapitre 9.2 bis) et au tableau comparatif des matériaux de couverture (chapitre 6.6) plutôt que de choisir un matériau sur un seul critère (Annexe, phénomène 10).
- Vérification de la compatibilité hygrothermique des matériaux mis en œuvre avec le bâti existant, en particulier pour les isolants biosourcés denses (chapitre 9.2 bis).

5. Environnement extérieur et échelle collective

- Végétalisation des cours, courettes et toitures-terrasses disponibles, pour bénéficier du rafraîchissement par évapotranspiration (phénomène 4) en plus de l'ombrage direct.
- Revêtements de voirie et d'espaces extérieurs (VRD) de teinte la plus claire possible compatible avec l'usage, pour limiter l'accumulation de chaleur au sol et son rayonnement nocturne vers les façades (phénomène 8).
- Examen, à l'échelle de l'îlot, de la possibilité de rouvrir des usages de ventilation collective aujourd'hui disparus (portes cochères, courettes-cheminées) dans un cadre sécurisé avec les services d'incendie et de secours (chapitre 9.1).

6. Systèmes actifs d'appoint

- Climatisation active réservée aux besoins résiduels non couverts par les solutions passives ci-dessus, avec priorité aux systèmes collectifs ou à fluide à faible pouvoir de réchauffement global sur la généralisation de splits individuels (chapitre 7.4).
- Rafraîchissement adiabatique étudié en priorité sur la climatisation à compression pour les bâtiments patrimoniaux ne permettant pas l'installation d'unités extérieures visibles (chapitre 7.3 bis).

Ce cahier des charges n'épuise pas le sujet — il vise à donner, à l'issue de ce livre blanc, un support de dialogue immédiatement utilisable entre maîtres d'ouvrage, architectes, couvreurs et bureaux d'études, dans l'esprit même qui a présidé au colloque : partir des phénomènes physiques pour choisir les solutions, plutôt que l'inverse.

Annexe — Communications partenaires

Les contenus qui suivent sont des communications fournies par des entreprises partenaires du colloque, présentant des solutions ou retours d'expérience en lien avec les thématiques de ce livre blanc.
À la différence des chapitres précédents, il ne s'agit pas de restitutions des échanges du colloque mais de communications commerciales, reproduites ici à titre d'illustration et assumées comme telles ; chacune est signalée par les chapitres éditoriaux auxquels elle se rapporte.

SOPREMA — EFISARKING / ISOLAIR MULTI

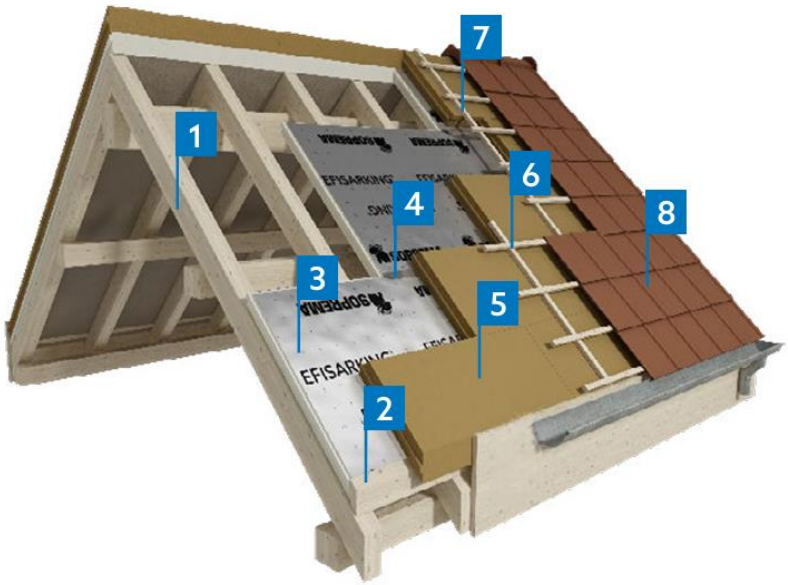
En lien avec les chapitres 7.1 (Le sarking) et 9.2 bis (Vers un système combiné).

Les solutions de sarking mixte SOPREMA permettent de répondre aux différents contextes climatiques grâce à l'association de deux isolants complémentaires. Pour les projets en climat de plaine, la combinaison EFISARKING + ISOLAIR MULTI associe les performances thermiques du polyuréthane au confort apporté par la fibre de bois.

Grâce au panneau EFISARKING en polyuréthane, la solution permet d'atteindre une excellente performance thermique avec une épaisseur maîtrisée, un atout majeur en rénovation pour préserver les volumes habitables.

Associé à ISOLAIR MULTI, panneau isolant biosourcé en fibre de bois, le système apporte un excellent confort en toute saison. La fibre de bois participe à la régulation thermique du bâtiment en ralentissant la pénétration de la chaleur estivale, tout en contribuant au confort hivernal.

Cette association permet de concilier efficacité énergétique, confort durable et optimisation de l'espace, pour des rénovations répondant aux exigences du bâtiment et aux attentes croissantes en matière de confort d'été.



1 Chevrons
2 Butée de rive
3 **Efisarking**
4 **Efibande Butyle**
5 **Isolair Multi**
6 **Efivis DF**
7 Contrelattes + bande d'étanchéité **Pavafix SN Band**
8 Couverture

Mise en œuvre du système EFISARKING + ISOLAIR MULTI en sarking mixte (source : SOPREMA).

VELUX — Living Attic : une rénovation globale exemplaire avec aménagement des combles

En lien avec les chapitres 4.7 (la « bouilloire thermique »), 5 (lumière naturelle), 6 (dimensions physiques du bâtiment) et 7.3 quater (l'effet cocotte-minute des combles).

Living Attic démontre qu'il est possible de bien vivre sous les toits grâce à une rénovation globale pensée autour du confort, de la santé et de la performance énergétique. Mené en Essonne, près de Paris, ce projet a transformé une véritable passoire énergétique en un logement classé A, tout en créant 35 m² supplémentaires grâce à l'aménagement des combles — et ce, sans modifier l'emprise au sol de la maison.

Guidée par les principes Living Places, la rénovation associe isolation performante par l'extérieur, apport d'inertie sous rampant, fenêtres de toit motorisées et protections solaires extérieures pilotées intelligemment. Chaque solution a été pensée pour agir en synergie avec les autres, alliant dispositifs passifs et actifs afin d'offrir un espace lumineux, sain et confortable tout au long de l'année.



Les combles avant / après rénovation (source : VELUX).

Une réponse à l'urgence de la rénovation en France

La rénovation du parc résidentiel français constitue aujourd'hui un enjeu majeur d'intérêt général. Plus de la moitié des ménages expriment le souhait d'améliorer leur habitat, tandis que la Stratégie Nationale Bas Carbone fixe un objectif de neutralité carbone pour le secteur résidentiel d'ici 2050.

À cela s'ajoute un défi climatique de taille : deux tiers des logements seront exposés à des vagues de chaleur d'ici 2030, alors que près de 90 % des habitations ne sont pas adaptées pour y faire face.

Face à cette urgence, VELUX, fort de 20 ans d'expérimentation et de la conviction qu'« une expérience vaut mieux que mille avis d'experts », a décidé d'agir. Après le succès de son concept « Living Places » au Danemark, place au « Living Attic » en France : une expérimentation grandeur nature qui démontre que l'aménagement de combles peut être un véritable levier vers une rénovation globale performante, tout en renforçant la résilience d'un logement face aux aléas climatiques.

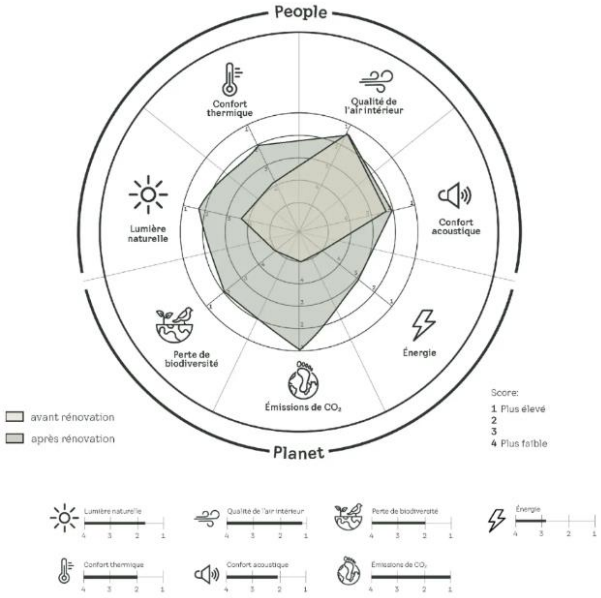
Une mue spectaculaire, portée par la synergie des solutions

À Morangis, la maison a bénéficié d'un saut de cinq classes DPE, avec des bénéfices concrets pour la famille en matière de confort et d'économies d'énergie. Ce résultat repose sur la combinaison de plusieurs leviers :

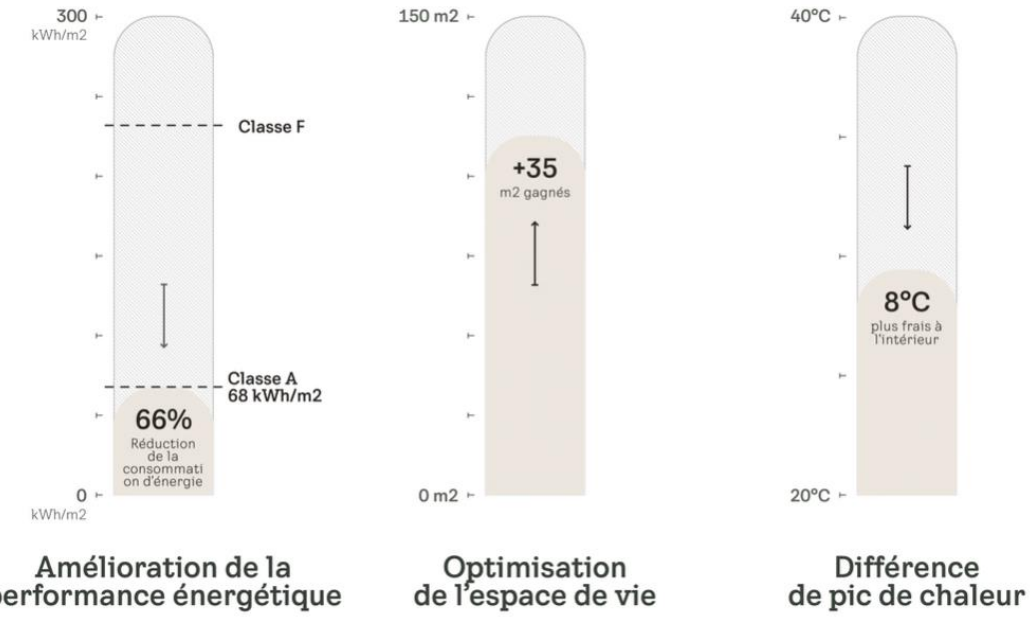
- Un apport significatif de lumière naturelle : deux verrières de toit et deux fenêtres de toit motorisées VELUX (modèles 3-en-1 solaires FFKF06 et MK06) contribuent à éclairer largement les combles et les étages inférieurs de lumière, et reconnectent la famille à l'extérieur.
- Confort thermique intelligent : pour lutter contre la surchauffe estivale et les déperditions hivernales, la rénovation combine une isolation performante par l'extérieur, un apport d'inertie sous rampant, des protections solaires extérieures motorisées pilotées intelligemment et une ventilation nocturne optimisée par l'automatisation des fenêtres de toit et d'une fenêtre du rez-de-chaussée. Résultat : fini l'effet « bouilloire ».

- Qualité de l'air optimale : un air constamment renouvelé, maîtrisé et déchargé des polluants, garant d'un environnement intérieur plus sain.
- Optimisation de l'espace et réutilisation : 35 m² supplémentaires créés sous le toit, sans agrandir l'emprise au sol. La structure existante a été conservée, réduisant les déchets et l'impact environnemental global.

Ces solutions permettent de renforcer la résilience thermique du logement sans consommation supplémentaire d'énergie.



Confort et impact environnemental avant / après rénovation, approche « People / Planet » (source : VELUX).



Amélioration de la performance énergétique, optimisation de l'espace de vie et différence de pic de chaleur (source : VELUX).

Une collaboration exemplaire au service d'ambitions concrètes

Le projet a été rendu possible grâce à une collaboration entre VELUX France, La Maison des Travaux, Mon Accompagnateur Rénov', la mairie de Morangis (91) et le bureau d'études Artelia.

Ensemble, ces acteurs ont poursuivi trois ambitions :

- Démontrer les bénéfices sociaux et environnementaux d'une rénovation globale optimisant l'espace ;
- Valoriser l'aménagement des combles comme une solution performante dans un projet de rénovation globale ;
- Mesurer l'efficacité d'une rénovation globale en intégrant les critères de confort de vie : lumière naturelle, qualité de l'air, confort thermique, performance énergétique et gains de mètres carrés habitables.

Un modèle pour un habitat sain, performant et durable

Au-delà des gains énergétiques, Living Attic illustre le rôle insoupçonné de l'aménagement des combles comme levier vers un habitat sain, performant et durable.

Une approche concrète et reproductible pour mieux vivre sous les toits, tout en répondant à l'urgence de la rénovation et aux enjeux climatiques auxquels le parc résidentiel français doit désormais faire face.



Les combles aménagés, éclairés par les fenêtres de toit VELUX (source : VELUX).

ACTIS — Isolants réflecteurs X-AIR®

En lien avec les chapitres 6.2 bis (Températures de surface et de comble) et 7.3 quater (l'effet cocotte-minute des combles).

La technologie X-AIR® des isolants réflecteurs ACTIS se distingue par sa capacité à renvoyer la chaleur sous forme de rayonnement, créant ainsi un véritable bouclier thermique et améliorant significativement le confort d'été.

Les isolants réflecteurs ACTIS agissent sur les 3 modes de transfert de chaleur : conduction, convection et rayonnement. En été, ils renvoient au minimum 95 % de la chaleur sous forme de rayonnement vers l'extérieur, afin de maintenir un habitat plus frais.

Associée à une lame d'air, la technologie réflectrice ACTIS offre une résistance thermique (R) supérieure lorsque la chaleur descend vers l'habitat (flux thermique descendant).

Grâce à leurs films réflecteurs bas émissifs et aux lames d'air associées, les isolants ACTIS bénéficient d'un très bon facteur solaire. Ils permettent ainsi de gagner jusqu'à 50 % de performance thermique en été par rapport à des isolants traditionnels (rapport du CSTB n° 21-053 sur le facteur solaire).

Les isolants réflecteurs ACTIS sont éligibles aux aides à la rénovation (MaPrimeRénov' et CEE). Leurs performances thermiques sont certifiées selon la norme NF EN ISO 22097:2023 par un organisme d'évaluation de la conformité accrédité selon la norme EN ISO/IEC 17065, conformément aux exigences réglementaires du ministère de la Transition écologique.



Pose de l'isolant réflecteur X-AIR® ACTIS en toiture, à Paris (source : ACTIS).

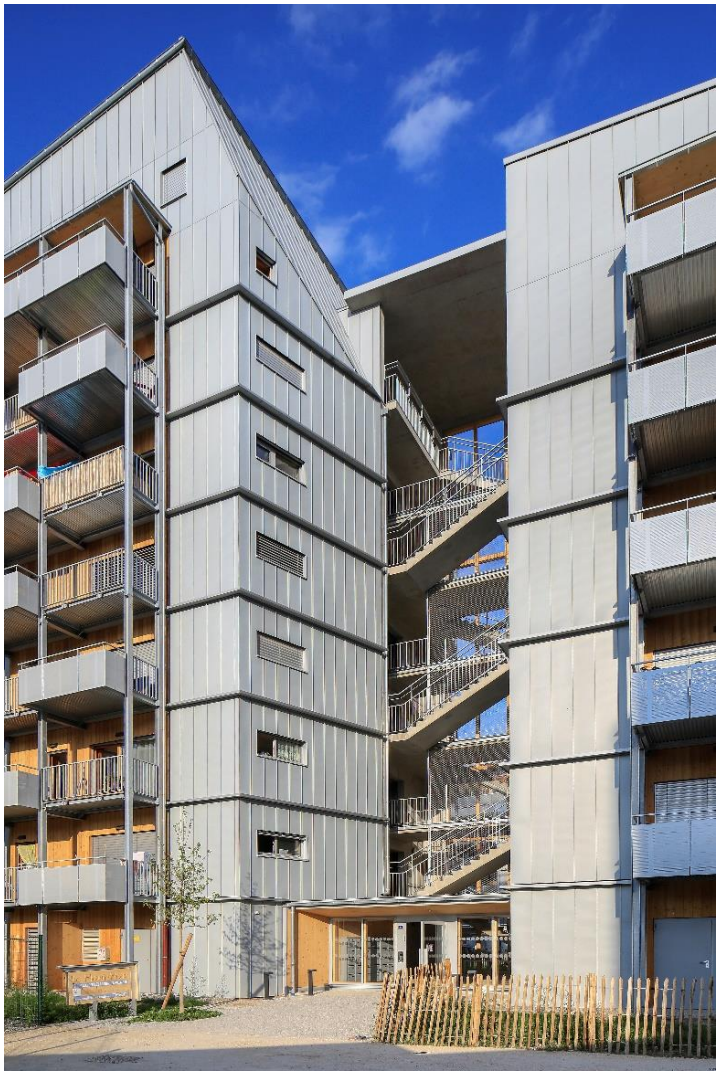
VM ZINC — X-AZENGAR® 3R : le zinc qui allège le bilan carbone du bâtiment

À l'heure où l'actualité nous rappelle que la toiture est devenue la première ligne de défense de nos logements face au dérèglement climatique, le choix des matériaux de couverture prend une dimension nouvelle : celle de leur performance thermique mais également celle de l'empreinte carbone.

AZENGAR® 3R, premier zinc laminé 100 % recyclé proposé par VMZINC®, apporte ici une réponse concrète. Avec seulement **0,7 kg CO_2 eq./kg** sur l'ensemble de son cycle de vie — de la fabrication à la fin de vie —, il affiche l'empreinte carbone la plus faible du marché du zinc, validée par une EPD conforme à la norme EN 15804+A2 publiée par l'IBU.

Cette performance repose sur l'usage de 100 % de matière recyclée collectée en Europe, qui supprime l'extraction minière primaire : à la clé, **70 % d'économies d'énergie fossile et 80 % d'émissions de CO_2 en moins**.

Recyclable à 100 %, durable plus de 80 ans et produit sur des sites ISO 14001 alimenté en électricité verte, AZENGAR® 3R illustre un patrimoine que l'on ne se contente plus de conserver, mais que l'on régénère durablement : chaque tonne de zinc y trouve une nouvelle vie, sans extraction ni perte de qualité, refermant ainsi la boucle de l'économie circulaire.



Logements collectifs, les Hauts Bois, Grenoble - Joint debout en couverture VMZINC ; Joint debout VMZINC
ASP Architecture (mandataire), Atelier 17C (cotraitant), St Dié des Vosges (88)
Copyright Paul Kozlowski

Glossaire

Termes techniques et sigles employés au fil de ce livre blanc, dans l'ordre alphabétique.

A

ABF (Architecte des Bâtiments de France) — agent de l'État chargé, au sein des UDAP, d'instruire les autorisations de travaux aux abords des monuments historiques et dans les sites patrimoniaux protégés — un rôle d'accompagnement autant que de contrôle (chapitre 4).

Adiabatique (rafraîchissement) — technique de rafraîchissement de l'air par évaporation d'eau sur un média poreux, sans compression mécanique ni fluide frigorigène (voir VestaClim, chapitre 7).

Albédo — fraction du rayonnement solaire incident qu'une surface réfléchit, exprimée entre 0 (absorption totale, corps noir) et 1 (réflexion totale). Une couverture claire ou peinte en blanc présente un albédo élevé et absorbe moins de chaleur qu'une couverture sombre à albédo faible ; c'est la grandeur physique précise que recouvre la notion de réflectance évoquée au chapitre 8, et le paramètre qui sous-tend le débat sur les toits peints en blanc (chapitre 6).

Apur — Atelier parisien d'urbanisme, agence d'urbanisme de la Ville de Paris et de la métropole.

B

Biosourcé (matériau) — matériau isolant ou de construction issu de la biomasse végétale ou animale (fibre de bois, chanvre, paille, laine...), par opposition aux matériaux minéraux ou pétrosourcés.

Blanc de Meudon — poudre de craie (carbonate de calcium) diluée dans l'eau et appliquée en badigeon temporaire sur un vitrage ou une toiture claire pour en augmenter l'albédo et réduire les apports solaires ; solution réversible, économique et sans électricité (Annexe, phénomène 1).

Bouilloire thermique — expression construite en miroir de « passoire thermique » pour désigner un logement qui surchauffe fortement en été ; notion émergente dans le débat juridique et réglementaire français depuis 2026, non encore inscrite comme critère autonome de décence d'un logement (chapitre 4.7).

Brasseur d'air — ventilateur de plafond de forte puissance, parfois réversible (utilisable aussi en hiver pour redistribuer l'air chaud accumulé en partie haute), qui accélère le renouvellement de l'air au contact de la peau sans le refroidir à proprement parler ; le gain de confort ressenti est de l'ordre de 2°C pour une consommation électrique très faible (chapitre 7.3 quater).

BSO (brise-soleil orientable) — protection solaire extérieure mobile, à lames orientables, réglable selon la hauteur du soleil pour bloquer le rayonnement en été tout en laissant passer la lumière plus rasante de l'hiver (chapitre 7.3 quater).

C

CAPEB — Confédération de l'artisanat et des petites entreprises du bâtiment.

Cerema — Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement, établissement public d'appui aux politiques publiques d'aménagement.

Chaux-chanvre — mélange de chènevotte (partie ligneuse du chanvre) et de chaux, isolant biosourcé dense et correcteur thermique performant à la fois au froid (λ correct en épaisseur suffisante) et à la chaleur (forte inertie et régulation hygrothermique par sa masse) ; mis en œuvre en éléments préfabriqués (blocs, panneaux) ou coulé sur site (banché, projeté), notamment en réhabilitation du bâti ancien (chapitre 9.2 bis et Ressources en ligne).

Comble perdu — volume sous toiture non aménagé ni habité, généralement isolé au niveau du plancher plutôt qu'en rampant.

CSTB — Centre scientifique et technique du bâtiment, organisme de référence pour la recherche, l'expertise et la certification dans la construction.

D

Déphasage thermique — délai avec lequel la chaleur reçue côté extérieur d'une paroi traverse celle-ci pour atteindre l'intérieur ; un déphasage long, obtenu par des isolants denses, permet de reporter le pic de chaleur intérieur vers la nuit, période propice à la ventilation (chapitre 6).

DPE (Diagnostic de performance énergétique) — document réglementaire évaluant la consommation énergétique et l'impact carbone d'un logement, classé de A à G.

E

Évapotranspiration — combinaison de l'évaporation de l'eau du sol et de la transpiration des végétaux à travers leurs stomates ; ce phénomène consomme de l'énergie thermique et rafraîchit l'air ambiant, sur le même principe physique que la sudation humaine (Annexe, phénomène 4).

Effet Venturi — principe physique exploité par les systèmes de ventilation naturelle de toiture : l'accélération du vent à travers un conduit resserré crée une dépression qui aspire et évacue l'air vicié d'un bâtiment sans consommer d'électricité ; c'est ce mécanisme qui, en couronnement de cheminée thermique ou de tour à vent traditionnelle, démultiplie le débit d'extraction par rapport à la seule convection (Annexe, phénomène 5 ; chapitre 7.3 quinquies).

F

FFB — Fédération Française du Bâtiment

Free cooling — rafraîchissement d'un bâtiment par exploitation directe de l'air extérieur lorsqu'il est plus frais que l'air intérieur, typiquement par surventilation nocturne (chapitre 7).

G

GCCP — Syndicat des entreprises de Génie Climatique et Couverture Plomberie (UMGCCP-FFB), Co-organisateur du colloque.

I

ICOMOS — Conseil international des monuments et des sites, organisation non gouvernementale liée à l'UNESCO, dédiée à la conservation du patrimoine culturel.

Inertie thermique — capacité d'un matériau ou d'une paroi à stocker puis restituer progressivement la chaleur, ce qui lisse les écarts de température intérieure (chapitre 6).

ITE (Isolation thermique par l'extérieur) — technique consistant à poser l'isolant sur la face externe des parois, par opposition à l'isolation par l'intérieur (ITI).

IFPEB — Institut français pour la performance du bâtiment, association réunissant maîtres d'ouvrage, industriels et experts autour de la performance énergétique des bâtiments.

L

Lambda (λ) — coefficient de conductivité thermique d'un matériau : plus il est faible, meilleure est la performance isolante intrinsèque du matériau (chapitre 9).

Lame d'air ventilée — espace laissé libre entre la couverture et l'écran de sous-toiture ou l'isolant, permettant l'évacuation de l'humidité et de la chaleur par circulation d'air naturelle (chapitre 9).

P

Pare-vapeur — membrane destinée à limiter la migration de la vapeur d'eau vers l'isolant, où elle pourrait condenser ; se place toujours du côté chaud de l'isolant, ce qui inverse sa position selon la technique retenue — côté intérieur en ITI, inutile (remplacé par un pare-pluie côté froid) en ITE (Annexe, phénomène 3 ter).

PCM (matériau à changement de phase) — matériau qui absorbe ou restitue une grande quantité de chaleur latente en changeant d'état (le plus souvent solide-liquide), utilisé microencapsulé dans des plaques de plâtre, enduits ou panneaux pour apporter de l'inertie thermique sans épaisseur ni masse supplémentaire (chapitre 7.7).

PLU (Plan local d'urbanisme) — document réglementaire communal ou intercommunal fixant les règles de construction et d'occupation des sols, y compris, dans certains cas récents, des critères de réflectance des matériaux (chapitre 8).

Puits canadien / provençal — conduit d'air neuf enterré exploitant l'inertie thermique du sol pour préchauffer l'air en hiver (puits canadien) ou le rafraîchir en été (puits provençal), sans consommation énergétique active (chapitre 7).

R

Réflectance — capacité d'une surface à réfléchir le rayonnement solaire plutôt qu'à l'absorber ; une couverture claire présente une réflectance plus élevée qu'une couverture sombre (chapitre 8).

Refroidissement radiatif (passif) — phénomène par lequel une surface évacue une partie de sa chaleur sous forme de rayonnement infrarouge vers le ciel nocturne, à travers la fenêtre atmosphérique (8-13 microns), pouvant la refroidir en dessous de la température de l'air ambiant par ciel dégagé (Annexe, phénomène 9).

Réhabilitation — au sens retenu dans ce livre blanc (chapitre 4), remise en cohérence et en usage d'un bâtiment ancien dans le respect de sa structure et de ses matériaux, par opposition à la restructuration, qui suppose une transformation plus profonde des volumes et usages.

S

Sarking — technique d'isolation par l'extérieur de la toiture, consistant à poser un platelage puis un isolant continu au-dessus de la charpente existante, ce qui supprime les ponts thermiques sans réduire le volume habitable intérieur (chapitre 7).

T

Test d'étanchéité à l'air — mesure normalisée (test dit « de la porte soufflante ») quantifiant les fuites d'air incontrôlées d'une enveloppe de bâtiment, complémentaire de la seule performance des matériaux isolants (chapitre 9).

Tirage thermique — mouvement ascendant naturel de l'air chaud, exploité pour ventiler un bâtiment en créant des entrées d'air basses et des sorties d'air hautes (cheminées, cages d'escalier).

U

UDAP (Unité départementale de l'architecture et du patrimoine) — service déconcentré de l'État, placé sous l'autorité du préfet, qui emploie les architectes des Bâtiments de France (chapitre 4).

UMGCCP-FFB — Union des Métiers du Génie Climatique, de la Couverture et de la Plomberie est issue de la fusion entre l'UECF (Union des Entreprises de Génie Climatique et Energétique de France) et l'UNCP (Union Nationale des Chambres Syndicales de Couverture et de Plomberie de France)

UNIS — Union des syndicats de l'immobilier, organisation professionnelle représentant notamment les syndics de copropriété et administrateurs de biens.

V

VMC (Ventilation mécanique contrôlée) — système de renouvellement d'air d'un logement par extraction mécanique, simple flux ou double flux, par opposition à la ventilation naturelle.

BIEN VIVRE SOUS LES TOITS

Adapter la toiture et le dernier étage au changement climatique

Issu des Premières Assises de France des métiers de la couverture, ce livre blanc rassemble les travaux du colloque « Bien vivre sous les toits » : cinq tables rondes, trois ateliers de travail et une synthèse croisant couvreurs, architectes, ingénieurs, chercheurs, industriels et habitants. Il propose une lecture organisée du sujet — physiologie de la chaleur, dimension sociale, patrimoine, physique du bâtiment, solutions techniques, enseignements des pays chauds — complétée d'un cahier des charges, d'un plan d'actions et d'un glossaire.

Partenaires associatifs qui nous soutiennent

Le Geste d'Or

Cobaty

Compagnie des Architectes de Copropriété

Club de l'Amélioration de l'Habitat

OGB — Office Général du Bâtiment, Architectes Entrepreneurs

Achevé d’imprimer sur les presses de l’Imprimerie Moderne de Bayeux

Dépôt légal n° 80699 – Septembre 2026

Les partenaires engagés dans la recherche de solutions « Bien vivre sous les toits »

Partenaires associatifs qui nous soutiennent :

ISBN : 979-10-989610-0-7 15€ TTC Prix France