

MURS ANCIENS

# COMMENT ISOLER EN PRÉVENANT LES RISQUES LIÉS À L'HUMIDITÉ ?

©2014 - Alain Sartre - AQC

TEXTE : ALAIN SARTRE PHOTOS & ILLUSTRATIONS :  
ALDES/MOBALPA, BEL'M, BCB-TRADICAL, C&B, DOERKEN,  
MPF/ATHEBA, PROCLIMA/MOLL, ALAIN SARTRE/AQC, WEBER

La structure poreuse des matériaux qui composent les murs anciens favorise les flux d'humidité : diffusion de vapeur, transferts d'eau liquide par capillarité, échanges hygroscopiques avec l'air... Une isolation rapportée, particulièrement si elle est intérieure, peut contrarier les équilibres existants.

**S**amuel Courgey, formateur au sein de l'association Arcanne, technicien conseil et co-auteur de livres sur la construction, reconnaît que « la gestion de l'humidité dans les murs et la prévention des risques de pathologie lors d'une réhabilitation constituent l'un des thèmes forts sur lesquels on me demande d'intervenir ». Cette problématique est particulièrement délicate dans le bâti ancien qui totalise une dizaine de millions de logements. En effet, elle est alors susceptible d'entraîner des désordres plus graves allant dans certains cas extrêmes jusqu'à la ruine des ouvrages. La rénovation énergétique des bâtiments anciens nécessite un diagnostic au cas par cas. Toute présence préalable d'humidité doit être identifiée, analysée et éventuellement traitée. Les sources sont diverses : pluie et neige, infiltration par des défauts de construction, remontées capillaires en provenance du sol, humidité résiduelle issue de travaux, eau résultant d'un incident tel que rupture de canalisation ou inondation... De plus, dans tous les cas, l'occupation des locaux se traduit par une production de vapeur d'eau : cuisine, douche et autres pollutions liées à la présence humaine.

**Quelles spécificités ?**

Qu'est-ce qu'un « bâti ancien » ? La définition officielle de cette désignation recouvre les bâtiments réalisés avant 1948, date qui marque l'essor de la reconstruction massive en France à la suite de la seconde guerre mondiale. Cela étant, comme le montre la figure n° 1 (présentée à la page ci-contre), la rupture avec les techniques artisanales s'est étalée dans le temps. La phase transitoire débute dans les années qui précèdent la première guerre mondiale. Auparavant, on utilisait des matériaux locaux : pierres sèches, hourdées à la terre ou à la chaux, terre crue sous diverses formes (pisé, torchis, adobe, etc.), briques en terre cuite poreuse, ossature bois avec les maisons à colombage, mais pas seulement... « Derrière certaines façades haussmanniennes en pierre de taille, on peut trouver des structures en bois ou en métal », rappelle Samuel Courgey.

La figure n° 2 (présentée à la page ci-contre) souligne que le bâti ancien n'est pas forcément le plus énérgivore. Comme le montre une étude conduite avec le concours de l'association Maisons paysannes de France, lors du boom économique des « Trente glorieuses », l'efficacité énérgétique des constructions a été négligée. Ainsi, sur un plan historique, le bâti moderne est décomposé en deux périodes. Tout d'abord, entre 1948 et 1974 : années marquées par l'accélération de l'industrialisation des solutions constructives et la nécessité de répondre à un déficit de logements. Ensuite, à partir de 1975 : années qui suivent la première crise pétrolière, à partir desquelles la conception des bâtiments doit respecter une réglementation thermique avec des exigences progressivement renforcées. D'une manière générale, l'isolation du bâti existant doit s'inscrire dans le cadre d'une prescription complète. La maîtrise de l'étanchéité à l'air et la mise en œuvre d'une ventilation performante sont deux composantes incontournables de la rénovation



Photo BCB-Tradical



Photo Aldes/Mobalpa



Photo Weber



Photo Doerken

- 1 **Traces d'humidité sur une corniche dégradée : avant d'isoler un mur ancien, il faut préalablement diagnostiquer et éventuellement traiter les sources d'infiltration d'eau.**
- 2 **Bouche d'extraction d'air vicié en cuisine : la ventilation est indispensable pour évacuer l'humidité produite par les occupants, surtout après la pose de menuiseries étanches.**
- 3 **Système d'isolation thermique par l'extérieur : une solution qui respecte l'équilibre hydrique du mur ancien quand on utilise des matériaux suffisamment perméables et capillaires.**
- 4 **Exemple de traitement : protection d'un mur semi-enterré par mise en œuvre d'un drain avec membrane étanche.**

énérgétique, tant dans l'ancien que dans le moderne. « Toutefois, dans le bâti ancien, deux dimensions sont plus particulièrement présentes : l'aspect patrimonial et le fonctionnement hygrothermique des parois », explique Samuel Courgey.

**Caractérisation des matériaux**

Les vitrages ou les bardages métalliques ne sont pas poreux. Mais la plupart des matériaux de construction le sont plus ou moins, avec des caractéristiques différentes. On distingue ainsi la porosité fermée (cas d'un isolant en verre cellulaire) de la porosité ouverte (cas des principaux composants de maçonnerie tels que la brique ou le béton). Dans cette dernière configuration, les cavités et vides structurels sont reliés entre eux. Ces pores parcourent et traversent les matériaux. Ils forment un réseau de canaux plus ou moins fins, à volume et ouverture variables, capable d'absorber – et véhiculer – des fluides gazeux ou liquides.

« Le système de déplacement de l'eau dans les matériaux n'est pas le même si l'humidité se présente sous une forme de vapeur ou d'eau liquide », précise Samuel Courgey. Le comportement des matériaux est donc caractérisé de plusieurs façons. Premier critère : le coefficient  $\mu$  de résistance à la diffusion de vapeur d'eau. Également appelé « facteur de résistance »,  $\mu$  exprime sans unité la perméabilité à la vapeur d'eau par rapport à celle de l'air immobile. Exemple : un  $\mu$  de 5 signifie que la résistance est 5 fois plus importante. En termes d'épaisseur, une couche de 2 cm de matériau vaut 10 cm d'air. On parle alors d'épaisseur d'air équivalente (notée Sd). À noter que le coefficient  $\mu$  peut être exprimé en fonction d'un état sec ou humide.

Deuxième critère de caractérisation : l'absorption – et donc la diffusion – d'eau liquide par effet de capillarité. Cette capacité des matériaux à se charger par succion est le plus souvent formalisée par le coefficient d'absorption d'eau par immersion partielle. Noté A et exprimé en kilogramme par mètre carré par unité de temps, il est codifié par la norme NF EN ISO 15148 lorsqu'il s'agit d'évaluer la vitesse d'absorption capillaire lors de pluies continues ou battantes. Le protocole d'essai est applicable aux enduits et revêtements de façade, mais ne peut être utilisé pour les matériaux en contact avec un sol saturé en eau qui relèvent d'une mesure par immersion totale.

**Intérêt et risque de l'hygroscopicité**

« Plus la structure des matériaux se rapproche de tubes fins et continus, plus l'eau s'y déplace facilement par capillarité », souligne le formateur d'Arcanne. Le rappel de ce phénomène physique amène à préciser un troisième critère important : l'hygroscopicité des matériaux, caractéristique liée à la taille et forme des pores. Plus le pourcentage de micropores est élevé, plus elle a tendance à être renforcée. Quel intérêt ? En contact avec un air humide, un matériau hygroscopique va établir un échange et un équilibre de vapeur d'eau. Il absorbe l'humidité de l'air lorsque celle-ci augmente, et inversement il la restitue lorsque l'ambiance s'assèche. >>>

FIGURE N° 1

## Passage du bâti ancien au bâti moderne

Illustration MPF/Atheba

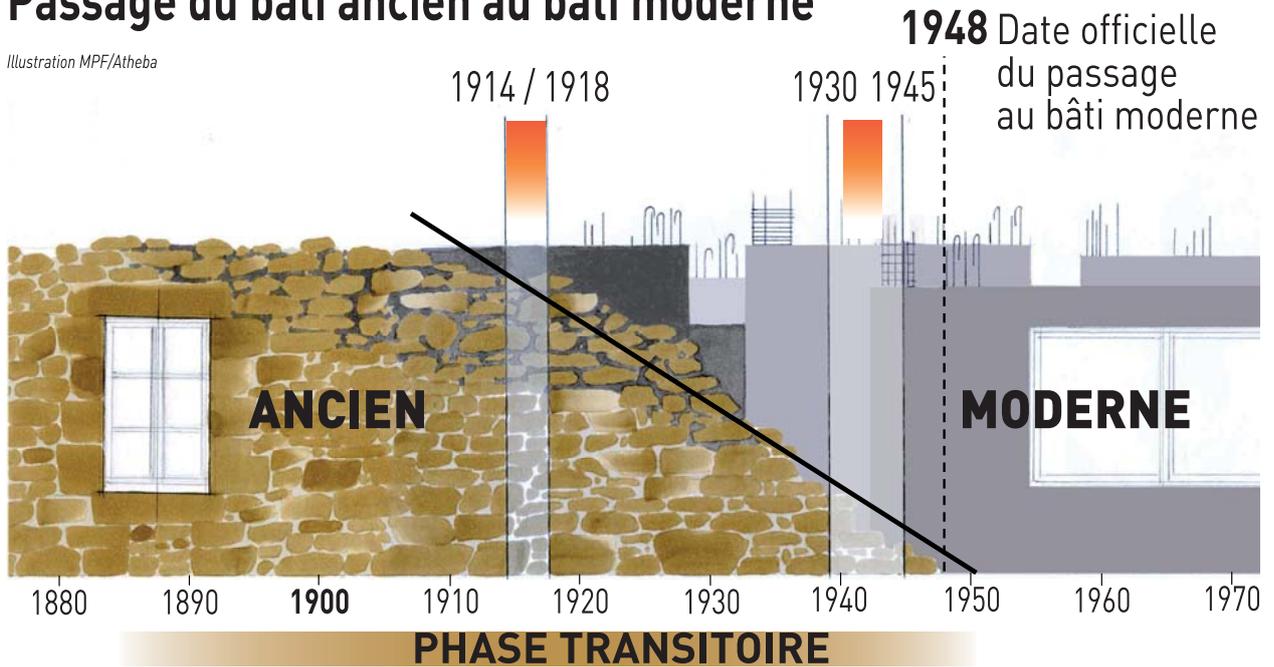


FIGURE N° 2

## Évolution des consommations moyennes du bâti français

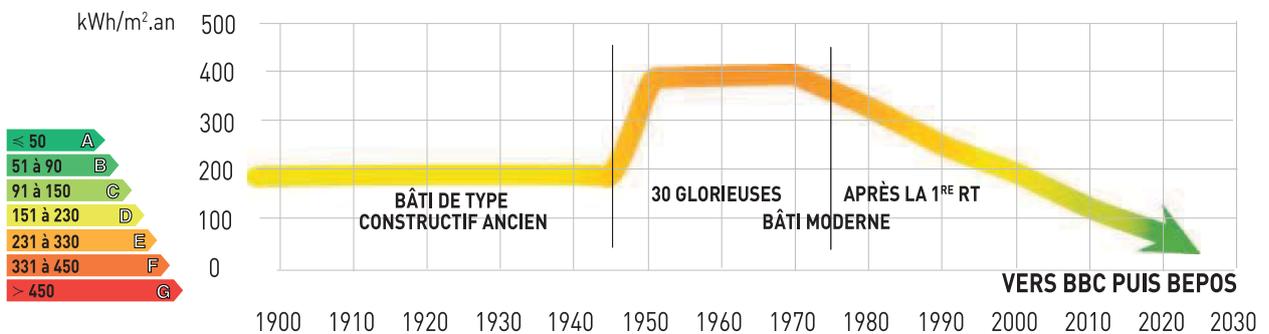


FIGURE N° 3

## Courbe isotherme de sorption-désorption

Courbe d'échange hygroscopique entre l'air intérieur et le matériau de parement, avec phase d'accumulation de la vapeur d'eau dans le mur, puis restitution à l'ambiance.

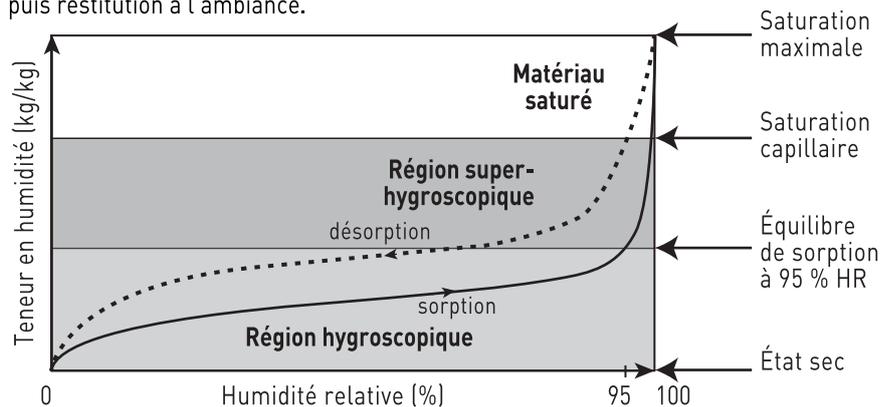


Photo ProClima/Moll



5

**5 Frein-vapeur hygro-réglable :** une option recommandée en cas de doublage isolant intérieur avec laine minérale.

**6 Enduits extérieurs :** un besoin d'étanchéité à la pluie, mais aussi de perméabilité à la vapeur et de capillarité...

**7 L'aspect patrimonial de certaines façades écarte le choix d'une isolation par l'extérieur.**

Photo BCB-Tradical



6

Dans un document intitulé *État des lieux des connaissances actuelles sur le fonctionnement hygrothermique des matériaux biosourcés*, l'association Constructions & Bioressources (C&B) publie la courbe type de sorption et désorption d'un composant de paroi hygroscopique (voir figure n°3 à la page précédente). Elle établit la relation entre l'humidité relative de l'air et la teneur en humidité massique du matériau (courbe de croissance marquée en trait continu, de décroissance en trait discontinu). L'étude de C&B indique que ce pouvoir d'échange constitue une forme de régulation passive de l'hygrométrie des ambiances intérieures. Elle valorise ainsi la notion de « tampon hydrique » qui est également appelée « inertie hydrique » (ou plus rarement « hygrique »). À noter : pour qualifier cette caractéristique des matériaux poreux, les scientifiques parlent « d'adsorption » de l'humidité de l'air. Cela signifie que la vapeur d'eau vient « tapisser » les parois des pores. Cette précision permet d'introduire le phénomène de condensation capillaire : saturation des micropores qui provoque une transformation en phase liquide.

L'hygroscopicité d'un matériau est quantifiée par la teneur en eau de référence, notée  $w_{80}$  et exprimée en  $kg/m^3$  pour une humidité relative de 80 %. En présence continue d'un air très humide, elle peut constituer un désavantage. En effet, elle risque de favoriser l'apparition de pathologies : putréfaction et autres dégradations telles que le développement de moisissures ou de champignons...

### Équilibre des parois

« La présence d'humidité dans les murs n'est pas préoccupante tant qu'elle reste sous forme de vapeur d'eau », constate Samuel Courgey. Mais, compte tenu des écarts entre les ambiances extérieure et intérieure, il n'est pas possible de garantir la permanence de cet état. L'enveloppe est soumise à des échanges hygrothermiques.

En hiver, les bâtiments sont chauffés. L'air chaud intérieur est sensiblement plus chargé en vapeur d'eau. Pour mémoire, un air sec à 20 °C peut absorber 17,30 g d'eau par mètre cube, contre seulement 4,84 g à 0 °C. Cela induit un phénomène de migration : l'humidité de l'air intérieur cherche à traverser les murs pour s'équilibrer avec l'air extérieur plus sec. Lors de cette convection, la vapeur d'eau pénètre des couches de matériaux de plus en plus froides. Si elle est refroidie jusqu'à son point de rosée, elle condense et se transforme en eau, ce qui peut générer des désordres, particulièrement dans l'ancien...

Différents outils ont été élaborés pour simuler le fonctionnement des parois et apprécier les conséquences. Parmi eux, la méthode de Glaser et le logiciel *Wufi*. Détaillée par la norme NF EN ISO 13788, Glaser constitue une approche statique qui n'intègre pas les comportements hygroscopique et capillaire des matériaux. Bien qu'ancienne et simplifiée, elle permet de repérer les zones à risque par la répétition d'apparitions de condensation sur un cycle annuel avec un pas de temps mensuel.

De son côté, *Wufi* est un logiciel de simulation dynamique des transferts d'humidité et de chaleur dans les parois(1) basé sur l'application de la norme NF EN 15026. Plus récent, il intègre les diverses caractéristiques hydriques des matériaux. Il tient compte des températures et taux d'humidité, tant intérieurs qu'extérieurs, mais aussi des paramètres climatiques : pluie, ensoleillement, vitesse et direction du vent. Capable de simuler les parois sur plusieurs années, il offre une vision plus large et complète des risques éventuels induits par une présence persistante d'eau.

### Influence de l'isolation

Quel est l'impact d'une isolation rapportée ? Premier cas de figure : l'isolation thermique extérieure (ITE). « En période de chauffe, lorsque l'isolant est

(1) L'outil de simulation hygrothermique dynamique *Wufi* a été développé par le Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP) de Stuttgart, en Allemagne.



Photo Bel'M



## “Compte tenu de leur perméabilité à la vapeur d’eau, mais aussi des critères de capillarité et hygroscopicité, il apparaît que les enveloppes des bâtiments anciens se comportent comme des systèmes respirants, ou plus exactement perspirants”

posé côté extérieur, on élève la température de toute la paroi existante», constate Samuel Courgey. Résultat : la vapeur d’eau ne peut condenser qu’au niveau du parement extérieur de l’ITE. Cette conclusion est confirmée à la fois par la méthode de Glaser et le logiciel Wufi.

« Glaser nous montre que les risques sont faibles si le parement extérieur est très ouvert à la vapeur d’eau. Wufi valide l’analyse et attire l’attention sur l’intérêt du caractère capillaire des enduits de revêtement extérieur », commente le formateur. En présence d’humidité (liée par exemple à des remontées capillaires) et de matériaux sensibles (notamment maçonnerie avec terre crue), le logiciel invite à préserver une continuité capillaire sur toute l’épaisseur du mur. Second cas de figure : l’isolation thermique intérieure (ITI). La gestion de la vapeur d’eau est alors plus délicate. Prenons l’hypothèse d’une laine minérale rapportée en doublage. Lors de la période de chauffe, la température de la paroi va rester basse. Résultat : la vapeur d’eau va condenser cette fois au cœur de la paroi, majoritairement à partir de l’interface entre l’isolant et le mur.

« Mais Glaser nous indique que les risques deviennent faibles si on complète la laine minérale par un pare-vapeur », complète le formateur. Pourtant, l’ITI ne permet pas de maîtriser tous les flux de vapeur d’eau. Au-delà des imperfections de pose, tels que les défauts de jointoiement entre panneaux isolants et/ou membranes pare-vapeur, il reste les ponts hygrothermiques au droit des planchers. Inconvénient : l’humidité infiltrée dans la paroi se retrouve

piégée derrière le pare-vapeur. En période de gel, sa présence peut porter atteinte à la cohésion du mur. Plusieurs solutions sont à envisager avec l’aide du logiciel Wufi : la pose de matériaux capillaires et de membranes plus « frein-vapeur » que pare-vapeur, voire à diffusion variable.

### Enveloppe « perspirante »

En résumé, compte tenu de leur perméabilité à la vapeur d’eau, mais aussi des critères de capillarité et hygroscopicité, il apparaît que les enveloppes des bâtiments anciens se comportent comme des systèmes « respirants », ou plus exactement « perspirants », par analogie avec la fonction de la peau pour l’organisme humain. Pour les isoler, dans la mesure où l’aspect patrimonial extérieur n’est pas prépondérant, il faut privilégier les solutions d’ITE. Dans l’hypothèse contraire, si les façades doivent être absolument préservées, il faut se rabattre sur l’ITI en prenant toutes les précautions nécessaires. Pour mieux maîtriser les flux d’humidité, l’isolation intérieure peut être rapportée dans le cadre d’un doublage avec vide intermédiaire ventilé sur l’extérieur ou par un complexe respectant la continuité capillaire. Par défaut, en cas d’impossibilité à la fois d’ITE et d’ITI, il reste à se rabattre sur les solutions dites de « corrections thermiques » qui permettent de lutter contre l’effet de paroi froide. Exemples : application d’un enduit intérieur mince à base de chaux-chanvre, pose de boiseries ou tapisseries... Dans les formations qu’il délivre (2), Samuel Courgey passe en revue les caractéristiques >>>

(2) Samuel Courgey dispense des formations via des structures régionales ou professionnelles implantées sur les territoires (BBD, Scop des 2 rives, Classe 4, CTAI, Arfab, Caue, Ademe...). Pour les trouver, le plus aisé est de taper « Samuel Courgey formation » sur un moteur de recherche.

(3) Étude commandée par la Direction générale de l'aménagement, du logement et de la nature (DGALN), ainsi que par la Direction de l'habitat, de l'urbanisme et des paysages (DHUP), réalisée par le Cerema Est, l'École nationale supérieure d'architecture de Toulouse, avec le Laboratoire matériaux et durabilité des constructions (LMDC).

(4) Les différents documents sont librement téléchargeables à l'adresse [www.maisons-paysannes.org/actions/economies-denergie](http://www.maisons-paysannes.org/actions/economies-denergie).

hygrothermiques d'une vingtaine d'isolants. Sur le plan de la diffusion de la vapeur d'eau, ils sont rangés dans trois catégories : perméables à l'image des laines minérales, peu perméables tel le polystyrène expansé, et non perméables comme le verre cellulaire. Il distingue ensuite les matériaux à la fois non hygroscopiques et non capillaires tels que le polyuréthane, de ceux qui le sont plus ou moins tels que les panneaux en fibres de bois ou la laine de chanvre.

Enfin, il envisage la sensibilité à la présence d'humidité sous l'angle des dégradations, en termes de durabilité et d'altération des performances. Les isolants peuvent être considérés comme non putrescibles et non – ou très peu – altérables à l'image des mousses minérales de type béton cellulaire allégé, non putrescibles mais altérables comme les laines minérales, putrescibles et altérables tels que la paille ou – avec des degrés divers – les autres matériaux biosourcés.

### Classement des isolants

Une classification semblable (voir tableau ci-dessous) a été élaborée dans le cadre de l'étude Hygroba, centrée sur la réhabilitation hygrothermique des parois anciennes (3). Menée avec le concours de l'association Maisons paysannes de France en utilisant le logiciel *Wufi*, elle évalue l'impact de l'isolation sur quatre typologies de parois anciennes : pisé banché de 50 cm d'épaisseur, briques de terre cuite hourdées au mortier de chaux de 22 cm, pierre calcaire dure montée à la

chaux de 42 cm, pans de bois et torchis de 12 cm. Différentes solutions d'isolation sont traitées. Elles font appel à de la ouate de cellulose insufflée et à trois isolants en panneaux rigides : laine de roche, fibre de bois et polystyrène expansé. Les matériaux perméables à la vapeur d'eau sont complétés par un pare-vapeur classique (Sd de 20 m) ou un frein-vapeur « intelligent » (Sd hygrovariable). Revêtements envisagés : enduit organique, enduit chaux (composé majoritairement de chaux aérienne avec ajout hydraulique), enduit ciment, plaque de plâtre et papier peint vinyle.

Les conclusions de l'étude font l'objet de quatre cahiers spécifiques aux différentes parois. Elles corroborent et prolongent les analyses de Samuel Courgey. Le rapport de synthèse (4) confirme que les solutions d'ITE sont les plus performantes : le risque de condensation est bien plus faible, les quantités d'eau présentes dans les matériaux anciens sont réduites et l'inertie des murs est mieux préservée.

Les solutions d'ITI sont les plus exposées aux accumulations d'humidité. Les auteurs du rapport remarquent que les risques les plus importants se retrouvent dans les murs en pierre dure... Les configurations « perméables à la vapeur d'eau et capillaires », tant côté extérieur qu'intérieur, sont en revanche globalement les plus favorables. Elles présentent des capacités de séchage plus élevées, permettant de mieux gérer les flux d'humidité les plus fréquents : la condensation de vapeur, les infiltrations d'eau de pluie et remontées capillaires. ■

## Caractéristiques hygrothermiques des matériaux anciens et des complexes isolants rapportés

Source : rapport d'étude Hygroba

COMPOSANTS DE PAROIS ÉTUDIÉS	CRITÈRES THERMIQUES		CRITÈRES HYDRIQUES OU « HYGRIQUES »		
	CONDUCTIVITÉ	INERTIE	HYGROSCOPICITÉ	RÉSISTANCE À LA VAPEUR D'EAU	CAPILLARITÉ
<b>MATÉRIAUX ANCIENS</b>					
• Bois	moyenne	moyenne	élevée	moyenne	faible
• Brique de terre cuite	moyenne	élevée	moyenne	moyenne	élevée
• Mortier chaux	moyenne	élevée	moyenne	moyenne	élevée
• Pierre calcaire dure	élevée	élevée	faible	élevée	faible
• Pisé (1)	moyenne	moyenne	élevée	moyenne	élevée
• Torchis (1)	moyenne	élevée	élevée	moyenne	élevée
<b>ISOLANTS</b>					
• Fibre de bois	faible	faible	élevée	faible	faible
• Laine de roche	faible	faible	faible	faible	faible
• Ouate de cellulose	faible	faible	moyenne	faible	élevée
• Polystyrène expansé	faible	faible	faible	moyenne	faible
<b>REVÊTEMENTS</b>					
• Enduit chaux	moyenne	élevée	élevée	faible	moyenne
• Enduit ciment	moyenne	élevée	élevée	moyenne	faible
• Enduit organique	moyenne	élevée	moyenne	élevée	faible
• Plaque de plâtre	moyenne	moyenne	moyenne	faible	élevée
• Papier peint vinyle	/	/	faible	moyenne	faible

(1) Les caractéristiques du pisé et du torchis sont très proches, y compris en matière d'inertie où ils se situent à la frontière entre les classes moyenne et élevée.



# VERS UNE MEILLEURE CONNAISSANCE DU PARC ANCIEN

**La direction territoriale Est du Cerema (ex-Cete de l'Est) abrite un pôle de compétence et d'innovation « Spécificités thermiques des bâtiments anciens ».**

Centré sur le comportement énergétique du parc existant construit avant 1948 et auteur d'un guide méthodologique pour les villes souhaitant réaliser un audit de leur patrimoine, cette structure a été impliquée dans diverses études financées par les pouvoirs publics :

- le programme « Connaissance des bâtiments anciens et économies d'énergie », qui a permis d'instrumenter et d'analyser dix constructions d'âges différents afin d'évaluer leur consommation et confort ;
- le programme Batan, visant à modéliser le comportement du bâti d'avant 1948 ;
- le programme Hygroba, dédié à la réhabilitation thermique de parois

anciennes et à leur équilibre hygrothermique ;

- le programme Atheba, consacré à l'amélioration thermique des bâtiments anciens.

Ce dernier projet a été mené en collaboration avec l'association Maisons paysannes de France, la Fondation du patrimoine, les ministères en charge de la Culture, du Logement et de l'Écologie. Il a débouché sur la rédaction de 13 fiches conseils à l'usage du grand public. Les trois premières s'attachent à mieux faire comprendre la nature du bâti ancien. La suivante passe en revue les exigences contemporaines en termes de confort et de réglementation, les neuf autres sont ciblées sur les modalités d'intervention. Elles détaillent les travaux à envisager sur les abords des bâtiments et leur organisation interne, sur les murs et les ouvertures, sur les planchers et les combles, sur la

ventilation et les équipements de chauffage.

Au-delà de ce message pédagogique destiné en priorité aux particuliers, le programme Atheba a aussi été l'occasion d'élaborer des formations pour les professionnels. Les fiches conseils comme les dates des stages sont accessibles sur le site Internet [www.maisons-paysannes.org](http://www.maisons-paysannes.org). Depuis 2012, les directions territoriales Est et Ouest du Cerema participent avec le CSTB au programme Humibatex dont la thématique est résumée par un double questionnaire : comment prédire les désordres causés par l'humidité ? Quelles solutions techniques pour rénover le bâti existant ? Au terme de ce projet, il est prévu de publier un guide de réhabilitation proposant des réponses validées à la fois par des outils de simulation et des résultats de campagnes de mesures. ■