

HYGROBA

Etude de la réhabilitation hygrothermique des parois anciennes



CAHIER N°3 :

MURS EN PAN DE BOIS ET TORCHIS



MINISTÈRE
DE L'ÉGALITÉ
DES TERRITOIRES
ET DU LOGEMENT

MINISTÈRE
DE L'ÉCOLOGIE,
DU DÉVELOPPEMENT
DURABLE
ET DE L'ÉNERGIE

HYGROBA

Etude de la réhabilitation hygrothermique des parois anciennes



Sommaire

1. Caractéristiques principales des murs en pan de bois et torchis	5
1.1. Répartition géographique.....	5
1.2. Le matériau.....	6
1.3. Mise en œuvre.....	7
1.4. Pathologies des constructions en pan-de-bois et torchis	8
2. Conditions de l'étude	9
2.1. Configurations testées	9
2.2. Critères d'analyse	10
3. Configuration de base.....	12
3.1. Description.....	12
3.2. Conséquence sur le comportement hygrothermique de la paroi.....	13
4. Solutions d'isolation par l'extérieur (ITE).....	14
4.1. Solution E-E en ITE : « étanche à l'humidité » coté extérieur + « étanche à l'humidité » coté intérieur.....	14
4.2. Solution E-P en ITE : « étanche à l'humidité » coté extérieur + « perméable à l'humidité » coté intérieur	16
4.3. Solution P-E en ITE : « perméable à l'humidité » coté extérieur + « étanche à l'humidité » coté intérieur	18
4.4. Solution P-P en ITE : « perméable à l'humidité » coté extérieur + « perméable à l'humidité » coté intérieur	20
5. Solutions d'isolation par l'intérieur (ITI).....	22
5.1. Solution E-E en ITI : « étanche à l'humidité » coté extérieur + « étanche à l'humidité » coté intérieur	22
5.2. Solution E-P en ITI : « étanche à l'humidité » coté extérieur + « perméable à l'humidité » coté intérieur.....	24
5.3. Solution P-E en ITI : « perméable à l'humidité » coté extérieur + « étanche à l'humidité » coté intérieur	26
5.4. Solution P-P en ITI : « perméable à l'humidité » coté extérieur + « perméable à l'humidité » coté intérieur.....	28

H Y G R O B A

Etude de la réhabilitation hygrothermique des parois anciennes

6. Tableau de synthèse et conclusions.....	30
7. Limites de l'étude	32

1. Caractéristiques principales des murs en pan de bois et torchis

1.1. Répartition géographique

Le torchis est un matériau de construction à base de terre argileuse et de fibres végétales. Il ne joue pas de rôle structurel mais consiste en la réalisation d'un remplissage d'une ossature en pan-de-bois. Le torchis, n'étant pas porteur, a principalement un rôle d'isolant thermique et phonique. Cette technique de construction de bâtiments à pan-de-bois ou à colombage remplis de torchis était très employée partout en France où la terre argileuse était plus abondante que la pierre. Les maisons en pan-de-bois sont surtout présentes en Normandie, Alsace, Champagne-Ardenne, Artois-Picardie, dans l'Orléanais, le Lyonnais, les Landes et en Midi-Pyrénées. On les retrouve un peu partout à la campagne, mais il reste également de très nombreuses constructions à pans de bois rempli de torchis dans les centres anciens de nos villes, comme à Troyes, Tours, Colmar, Strasbourg et Rennes.



Source : T. Marchal - Maisons Paysannes de France

1.2. Le matériau

Matériau vernaculaire par excellence le torchis reflète les techniques et savoir-faire locaux, avec ses propres mélanges de terre de fibres végétales (et parfois animales), sa mise en œuvre et son vocabulaire. Les saisons jouaient un rôle important dans la construction des bâtiments à pan-de bois et dans l'utilisation de la terre. On extrayait la terre manuellement au début de l'automne et elle était stockée pendant tout l'hiver à proximité du futur chantier. Les terres à torchis sont en général fines, argileuses et collantes et souvent peu sableuses. Les torchis ont tendance à fissurer pendant le séchage s'ils ne sont pas armés avec des fibres. Cependant, dans la région de Bresse où les terres sont très sableuses, le torchis ne contient pas systématiquement de fibres végétales.

La bonne période pour travailler le torchis se situe d'avril à octobre afin de faciliter le séchage (2 mois au minimum) et d'éviter les périodes de gel. Souvent le torchis est humidifié plusieurs jours avant son utilisation pour que les fibres végétales soient également bien gainées d'eau et d'argile. Les fibres de différents longueurs (jusqu'à 30 cm) jouent un rôle important dans la liaison entre le torchis et l'ossature. Dans les mélanges on trouve toutes sortes de pailles de céréales, ainsi que les fibres de lin, de chanvre, des roseaux et très souvent du foin. Aujourd'hui, dans la restauration du torchis, on évite les pailles de blé, car elles sont trop cassantes et risquent de se désagréger avec le temps.



Source : T. Marchal - Maisons Paysannes de France

1.3. Mise en œuvre

La mise en œuvre consiste schématiquement à réaliser un remplissage d'une structure de type poteau-poutre comportant des montants de bois. Ceci est réalisé en utilisant des éclisses, branchettes ou palissons autour desquels sont enroulés des fuseaux de terre et de foin à l'état plastique. La forme et la longueur des éclisses et des palissons (barreaux) dépendaient bien sûr de la distance des panneaux entre les montants. Parfois très serrés (15 cm) et plus souvent moins (30 à 50 cm), ceci pouvant aller jusqu'à 1m de large pour 1 à 2m de hauteur. L'espacement et le nombre d'écharpes (bois de contreventement posés en biais) définissait la technique de mise en œuvre du torchis.

Les techniques d'application du torchis sont très diverses selon les régions : pose à cheval de galettes ou de boules sur éclisses en Midi-Pyrénées ; tressage de longs fuseaux dans les Landes ; application sur lattis tressé serré en Bresse. Les éclisses sont coincées entre les poteaux. Ce sont des morceaux de chêne ou de frêne fendu de 3 ou 4cm d'épaisseur. Chaque montant était rainuré sur toute la hauteur sur une face, l'autre face étant percée d'encoches légèrement orientées vers le haut. En général l'épaisseur des murs en torchis suit l'épaisseur des pans de bois, pour la plupart elle est comprise entre 10 et 18 cm. Mais la diversité en la matière est très grande.



Torchis hourdé sur lattis

Source : T. Marchal - Maisons Paysannes de France



Pan-de-bois, torchis et éclisses dans le Gers - Source : Hans Valkhoff

En Alsace et en Normandie on trouve également la technique la plus ancienne, celle du clayonnage sur des palançons posés entre les montants de l'ossature, sur lequel le torchis est déposé. Dans certaines régions, comme l'Artois-Picardie le torchis était systématiquement enduit à l'extérieur lorsque le pan de bois n'était pas apparent. Un lattis était cloué à l'intérieur et à l'extérieur de l'ossature et servait de coffrage pour le garnissage du torchis. Après remplissage des pan-de-bois le lattis était couvert d'une couche de torchis puis enduit.

Malgré le fait que certaines constructions en pan de bois étaient conçues pour que les façades restent apparentes, en règle générale les ouvrages remplis de torchis sont recouverts d'un enduit de terre ou de chaux, souvent suivi d'un badigeon. Le soubassement est généralement réalisé en pierres, briques ou galets, afin de se protéger des remontées d'humidité. Il y a également des exemples où les parois en colombage et torchis exposées aux vents dominants et intempéries sont couvertes d'un parement en bardage. Comme d'autres techniques de construction en terre crue, le pan de bois rempli de torchis est souvent associé à la brique de terre cuite ou à la construction en pierre, en maçonnerie mixte. Dans une grande partie des bâtiments en pan-de-bois, le torchis a été depuis remplacé par un remplissage en brique, qui demande moins d'entretien.

Avec une masse volumique comprise entre 1.600 et 1.800 kg/m³ les murs en torchis ont une bonne inertie, mais la conductivité thermique reste relativement élevée ($\lambda \approx 0,37 \text{ W/m.K}$). Pour améliorer le pouvoir isolant le torchis peut être allégé avec des fibres végétales. La technique la plus connue aujourd'hui est la construction en terre-paille, qui est une sorte de torchis ultra léger dont la densité est seulement de 300 à 600 kg/m³ suivant les différents mélanges. La terre-paille est un matériau qui se prête bien à la réhabilitation des maisons en pan de bois remplis de torchis, car elle améliore l'isolation thermique et l'étanchéité à l'air, tout en respectant les techniques et matériaux traditionnels.

1.4. Pathologies des constructions en pan-de-bois et torchis

Pour les constructions en pan de bois remplis de torchis, les pathologies et désordres sont comparables à celles décrites dans *cahiers n°1 sur les murs en terre crue*. La restauration et l'amélioration énergétique d'une maison en pan-de-bois et torchis demande un diagnostic complet des pathologies et un bon choix des matériaux et techniques de restauration et d'isolation thermique. Quelques principes à respecter dans la réhabilitation des bâtiments en pan de bois et torchis sont le débordement des toitures afin d'éviter les rejaillissements en bas de murs, des soubassements en pierre ou brique, des planchers intérieurs dits « respirants ».

2. Conditions de l'étude

2.1. Configurations testées

Le présent cahier permet une analyse de différentes solutions d'isolation d'un mur en pan de bois et torchis, en fonction des risques hygrothermiques associés.

Un ensemble de solutions d'isolation par l'intérieur (ITI) et par l'extérieur (ITE) a été simulé.

D'un point de vue hygrique, les solutions d'isolation ont été regroupées, de manière schématique, en deux grandes catégories :

- « perméable à l'humidité » d'une part : utilisant des matériaux peu résistants à la vapeur d'eau, généralement capillaires et/ou hygroscopiques
- « étanche à l'humidité » d'autre part : utilisant des matériaux résistants à la vapeur d'eau, généralement peu capillaires et / ou peu hygroscopiques.

NB : Les conditions de simulation et les caractéristiques des matériaux considérés sont détaillés dans le cahier n°0.

2.2. Critères d'analyse

Chaque configuration présentée a fait l'objet d'une analyse hygrothermique, selon différents critères, qui sont rappelés ci-dessous.

1.1.1. Quantité d'eau

Quantité d'eau faible (Peu d'accumulation et stabilisation)	Quantité d'eau moyenne	Quantité d'eau élevée (Accumulation d'eau importante ou stabilisation insuffisante)

1.1.2. Capacité de séchage en présence d'infiltrations d'humidité

Capacité de séchage élevée (Peu d'accumulation et stabilisation)	Capacité de séchage moyenne	Capacité de séchage faible (Accumulation d'eau importante ou stabilisation insuffisante)

1.1.3. Condensation interne

Risque de condensation faible (HR constamment inférieur à 85%)	Risque de condensation modéré (HR atteignant des valeurs comprises entre 85% et 95%)	Risque de condensation important (HR atteignant des valeurs supérieures à 95%)

1.1.4. Inertie thermique du mur

Inertie thermique très faible	Inertie thermique faible	Inertie thermique moyenne	Inertie thermique forte
○ ○ ○	● ○ ○	● ● ○	● ● ●

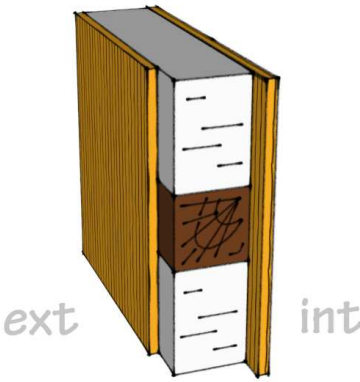
1.1.5. Résistance thermique du mur

Résistance thermique de la paroi fidèle aux performances attendues	Résistance thermique de la paroi inférieure aux performances attendues

3. Configuration de base

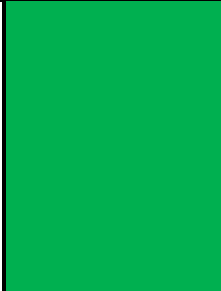
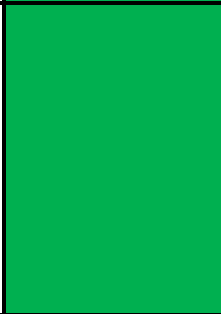

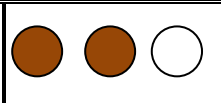

3.1. Description

La configuration de base correspond à un mur traditionnel en pan de bois et torchis avec éclisses, et enduit à la chaux coté intérieur et extérieur.

Base		Extérieur	Paroi ancienne		Intérieur
		Matériaux retenus (*)	Pan de bois	Torchis	Enduit chaux
	Epaisseur (mm)	20	120	120	20
	Hygroscopicité	Elevée	Elevée	Elevée	Elevée
	Résistance à la diffusion de vapeur	Faible	Moyenne	Faible	Faible
	Capillarité	Moyenne	Faible	Elevée	Moyenne

(*) Les propriétés physiques de ces matériaux sont détaillées dans le « cahier n°0 »

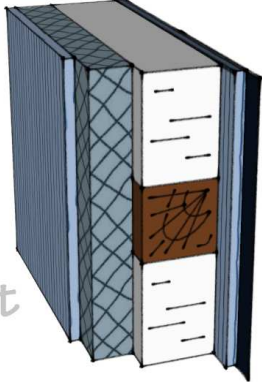
3.2. Conséquence sur le comportement hygrothermique de la paroi

<p>Quantité d'eau</p>	<p>La quantité d'eau dans la configuration de base est faible : la teneur en eau du mur ne subit aucune augmentation.</p> <p>Ce résultat est cohérent avec ce que l'on peut observer de nos jours, à savoir de nombreuses constructions anciennes en pan de bois sans pathologies apparentes. Ceci s'explique par le fait qu'un équilibre hygrothermique favorable a été atteint et maintenu tout au long des décennies passées, et ce, grâce aux caractéristiques propres aux matériaux employés et aux modes constructifs utilisés.</p>	
<p>Capacité de séchage en présence d'infiltrations d'humidité</p>	<p>Pour ce cas particulier, nous avons placé des infiltrations d'humidité entre l'enduit extérieur et la paroi en bois et torchis ; et entre la paroi en bois et torchis et l'enduit intérieur.</p> <p>Dans les deux cas, la capacité de séchage de la paroi est élevée : dans le bois comme dans le torchis, la teneur en eau n'augmente pas sensiblement par rapport au cas sans infiltrations.</p> <p>La chaux facilite le passage de l'humidité, à l'état liquide et gazeux, de la paroi vers l'ambiance extérieure et vers l'ambiance intérieure.</p>	
<p>Condensation</p>	<p>Il y a un risque faible de condensation à l'interface entre l'enduit intérieur et l'ensemble formé par la paroi en bois et torchis, de même pour l'enduit extérieur.</p>	
<p>Inertie thermique</p>	<p>L'inertie de la paroi dans sa configuration de base est moyenne.</p>	
<p>Résistance thermique</p>	<p>La résistance thermique du mur en pan de bois et torchis dans sa configuration de base est inférieure aux performances attendues.</p>	

4. Solutions d'isolation par l'extérieur (ITE)

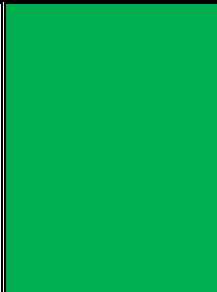
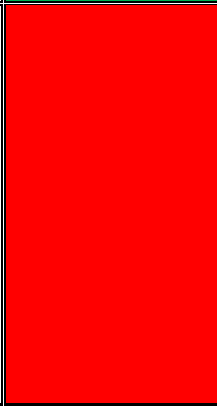

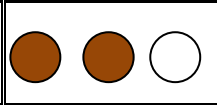

4.1. Solution E-E en ITE : « étanche à l'humidité » coté extérieur + « étanche à l'humidité » coté intérieur

4.1.1. Description

E-E 	Extérieur « Etanche »		Paroi ancienne		Intérieur « Etanche »
	Matériaux retenus (*)	Enduit organique	Polystyrène	Pan de bois	Torchis
Epaisseur (mm)	10	120	120	120	13
Hygroscopicité	Moyenne	Faible	Elevée	Elevée	Moyenne
Résistance à la diffusion de vapeur	Elevée	Moyenne	Moyenne	Faible	Moyenne
Capillarité	Faible	Faible	Faible	Elevée	Moyenne

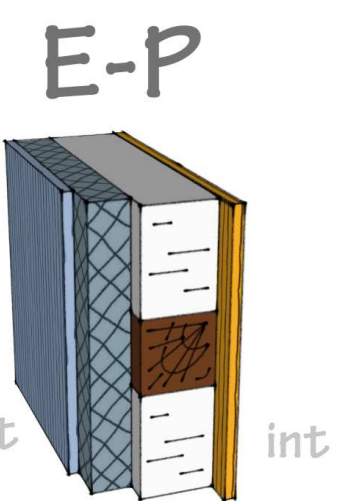
(*) Les propriétés physiques de ces matériaux sont détaillées dans le « cahier n°0 »

4.1.2. Conséquence sur le comportement hygrothermique

<p>Quantité d'eau</p>	<p>Par rapport à la configuration de base, la quantité d'eau diminue dans le bois comme dans le torchis.</p> <ul style="list-style-type: none"> • La paroi ancienne est en effet protégée de l'humidité de l'ambiance intérieure grâce au papier peint vinyle qui interdit son passage sous forme gazeuse dans le plâtre, • Elle est également protégée de l'humidité de l'ambiance extérieure grâce au polystyrène et à l'enduit organique, qui empêchent l'humidité, qu'elle soit sous liquide (eau de pluie) ou gazeuse (transfert de vapeur dû à une ambiance plus humide à l'extérieur qu'à l'intérieur), de pénétrer plus en avant dans la paroi ancienne. 	
<p>Capacité de séchage en présence d'infiltrations d'humidité</p>	<p>La capacité de séchage de la paroi est très faible en présence d'infiltration d'humidité : la quantité d'eau dans le bois comme dans le torchis augmente et n'atteint pas de nouvel équilibre hygrothermique.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Le passage de l'humidité, sous forme liquide et gazeuse, de la paroi ancienne vers l'ambiance extérieure est impossible du fait de la faible capillarité et de la résistance à la diffusion de vapeur plutôt élevée du polystyrène et de l'enduit organique. • De même, mais dans une moindre mesure, la plaque de plâtre et le papier peint vinyle limitent le passage de l'humidité, sous forme gazeuse et sous forme liquide, de paroi ancienne vers l'ambiance intérieure, du fait de leur résistance à la diffusion de vapeur et de leur capillarité moyennes. 	
<p>Condensation</p>	<p>Il y a un risque faible de condensation à l'interface entre l'isolant et l'ensemble formé par le pan de bois et le torchis.</p>	
<p>Inertie thermique</p>	<p>L'inertie de la paroi ancienne isolée est moyenne. L'isolation par l'extérieur préserve l'inertie de la paroi ancienne.</p>	
<p>Résistance thermique</p>	<p>La résistance thermique de la paroi ancienne isolée est fidèle aux performances attendues.</p>	

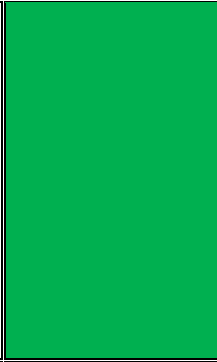
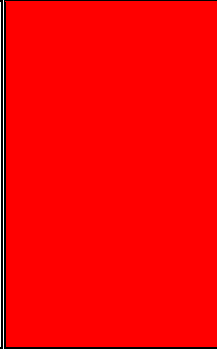

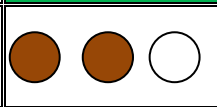
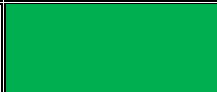
4.2. Solution E-P en ITE : « étanche à l'humidité » coté extérieur + « perméable à l'humidité » coté intérieur

4.2.1. Description

 <p>E-P</p> <p>ext int</p>		Extérieur « Etanche »		Paroi ancienne		Intérieur « Perméable »
	Matériaux retenus (*)	Enduit organique	Polystyrène	Pan de bois	Torchis	Enduit chaux
	Epaisseur (mm)	10	120	120	120	20
	Hygroscopicité	Moyenne	Faible	Elevée	Elevée	Elevée
	Résistance à la diffusion de vapeur	Elevée	Moyenne	Moyenne	Faible	Faible
	Capillarité	Faible	Faible	Faible	Elevée	Moyenne

() Les propriétés physiques de ces matériaux sont détaillées dans le « cahier n°0 »*

4.2.2. Conséquence sur le comportement hygrothermique

<p>Quantité d'eau</p>	<p>Par rapport à la configuration de base, la quantité d'eau diminue dans le bois comme dans le torchis.</p> <ul style="list-style-type: none"> • La paroi ancienne est en effet protégée de l'humidité de l'ambiance extérieure grâce au polystyrène et à l'enduit organique, qui empêchent l'humidité, qu'elle soit liquide (eau de pluie) ou gazeuse (transfert de vapeur dû à une ambiance plus humide à l'extérieur qu'à l'intérieur), de pénétrer plus en avant dans le bois ou le torchis. • La quantité d'humidité provenant de l'ambiance intérieure semble pouvoir être facilement gérée par la paroi. L'enduit de chaux, même s'il autorise le passage de l'humidité sous forme liquide et gazeuse de l'ambiance intérieure vers la paroi ancienne, autorise également ce passage en sens inverse, favorisant ainsi le séchage de la paroi vers l'ambiance intérieure. 	
<p>Capacité de séchage en présence d'infiltrations d'humidité</p>	<p>La capacité de séchage de la paroi est faible.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Le passage de l'humidité, sous forme liquide et gazeuse, de la paroi ancienne vers l'ambiance extérieure est impossible du fait de la faible capillarité et de la résistance à la diffusion de vapeur plutôt élevée du polystyrène et de l'enduit organique. • l'enduit à la chaux facilite le passage de l'humidité, sous forme liquide et gazeuse, de la paroi ancienne vers l'ambiance intérieure. <p>Si le torchis, étant un matériau capillaire, arrive à évacuer correctement le surplus d'eau, le bois quant à lui, stocke en grande quantité cette eau à son interface avec l'isolant.</p>	
<p>Condensation</p>	<p>Il y a un risque faible de condensation à l'interface entre l'isolant et l'ensemble formé par le pan de bois et le torchis.</p>	
<p>Inertie thermique</p>	<p>L'inertie de la paroi ancienne isolée est moyenne.</p> <p>L'isolation par l'extérieur préserve l'inertie de la paroi ancienne.</p>	
<p>Résistance thermique</p>	<p>La résistance thermique de la paroi ancienne isolée est fidèle aux performances attendues.</p>	

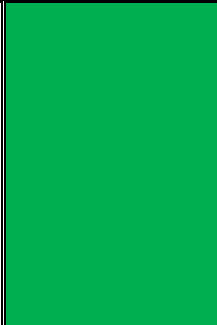
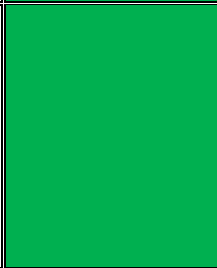

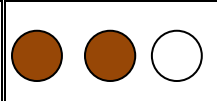

4.3. Solution P-E en ITE : « perméable à l'humidité » coté extérieur + « étanche à l'humidité » coté intérieur

4.3.1. Description

<p>P-E</p>		Extérieur « Perméable »		Paroi ancienne		Intérieur « Etanche »
	Matériaux retenus (*)	Enduit chaux	Fibre de bois	Pan de bois	Torchis	Plaque de plâtre et papier peint vinyle
	Epaisseur (mm)	10	120	120	120	13
	Hygroscopicité	Elevée	Elevée	Elevée	Elevée	Moyenne
	Résistance à la diffusion de vapeur	Faible	Faible	Moyenne	Faible	Moyenne
	Capillarité	Moyenne	Faible	Faible	Elevée	Moyenne

() Les propriétés physiques de ces matériaux sont détaillées dans le « cahier n°0 »*

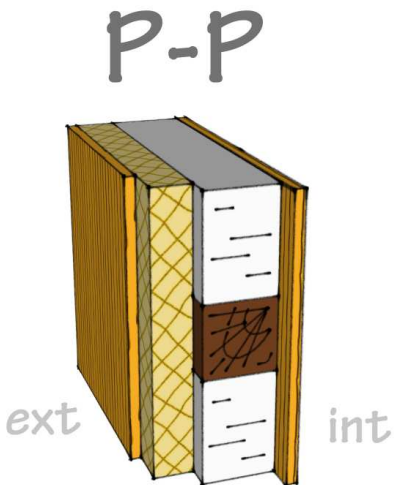
4.3.2. Conséquence sur le comportement hygrothermique

<p>Quantité d'eau</p>	<p>Par rapport à la configuration de base, la quantité d'eau diminue dans le bois comme dans le torchis.</p> <ul style="list-style-type: none"> • La paroi ancienne est en effet protégée de l'humidité de l'ambiance intérieure grâce au papier peint vinyle qui interdit son passage sous forme gazeuse dans le plâtre. • La quantité d'humidité provenant de l'ambiance extérieure semble pouvoir être gérée par la paroi. L'enduit de chaux et la fibre de bois même si elles autorisent le passage de l'humidité, surtout sous forme gazeuse, de l'ambiance extérieure vers la paroi ancienne, autorisent également ce passage en sens inverse, favorisant ainsi le transfert de l'humidité de la paroi vers l'ambiance extérieure. 	
<p>Capacité de séchage en présence d'infiltrations d'humidité</p>	<p>La capacité de séchage de la paroi est élevée.</p> <ul style="list-style-type: none"> • La plaque de plâtre et le papier peint vinyle limitent le passage de l'humidité, sous forme gazeuse et sous forme liquide, de la paroi ancienne vers l'ambiance intérieure, du fait de leur résistance à la diffusion de vapeur et de leur capillarité moyennes. • Le passage de la vapeur d'eau, de la paroi ancienne vers l'ambiance extérieure est favorisé par la faible résistance à la diffusion de vapeur de la fibre de bois et de l'enduit à la chaux. 	
<p>Condensation</p>	<p>Il y a un risque faible de condensation à l'interface entre l'isolant et l'ensemble formé par le pan de bois et le torchis.</p>	
<p>Inertie thermique</p>	<p>L'inertie de la paroi ancienne isolée est moyenne. L'isolation par l'extérieur préserve l'inertie de la paroi ancienne.</p>	
<p>Résistance thermique</p>	<p>La résistance thermique de la paroi ancienne isolée est fidèle aux performances attendues.</p>	

4.4. Solution P-P en ITE : « perméable à l'humidité » coté extérieur + « perméable à l'humidité » coté intérieur

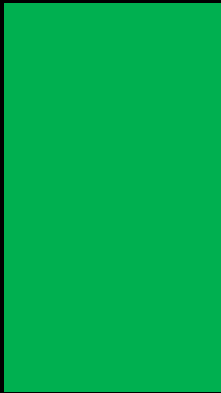
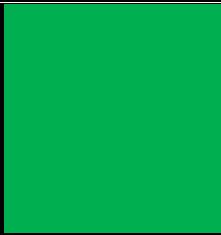



4.4.1. Description

	Extérieur « Perméable »		Paroi ancienne		Intérieur « Perméable »
	Matériaux retenus (*)	Enduit chaux	Fibre de bois	Pan de bois	Torchis
Epaisseur (mm)	10	120	120	120	20
Hygroscopicité	Elevée	Elevée	Elevée	Elevée	Elevée
Résistance à la diffusion de vapeur	Faible	Faible	Moyenne	Faible	Faible
Capillarité	Moyenne	Faible	Faible	Elevée	Moyenne



() Les propriétés physiques de ces matériaux sont détaillées dans le « cahier n°0 »*

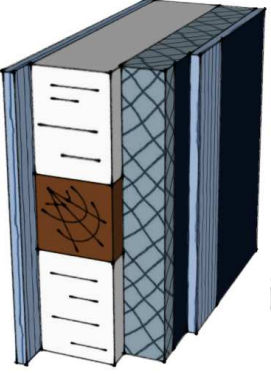
4.4.2. Conséquences sur le comportement hygrothermique

<p>Quantité d'eau</p>	<p>Par rapport à la configuration de base, la quantité d'eau diminue dans le bois comme dans le torchis.</p> <ul style="list-style-type: none"> • La quantité d'humidité provenant de l'ambiance intérieure semble pouvoir être gérée par la paroi, puisque la chaux, même si elle autorise le passage de l'humidité sous forme liquide et gazeuse de l'ambiance intérieure vers la paroi ancienne, autorise également ce passage en sens inverse, favorisant ainsi le séchage de la paroi ancienne vers l'ambiance intérieure • La quantité d'humidité provenant de l'ambiance extérieure semble pouvoir être gérée par la paroi. L'enduit de chaux et la fibre de bois même si elles autorisent le passage de l'humidité, surtout sous forme gazeuse, de l'ambiance extérieure vers la paroi ancienne, autorisent également ce passage en sens inverse, favorisant ainsi le transfert de l'humidité de la paroi vers l'ambiance extérieure. 	
<p>Capacité de séchage en présence d'infiltrations d'humidité</p>	<p>La capacité de séchage de la paroi est élevée.</p> <ul style="list-style-type: none"> • L'enduit à la chaux facilite le passage de l'humidité, sous forme liquide et gazeuse, de la paroi ancienne vers l'ambiance intérieure. • Le passage de la vapeur d'eau, de la paroi ancienne vers l'ambiance extérieure est favorisé par la faible résistance à la diffusion de vapeur de la fibre de bois et de l'enduit à la chaux. 	
<p>Condensation</p>	<p>Il y a un risque faible de condensation à l'interface entre l'isolant et l'ensemble formé par le pan de bois et le torchis.</p>	
<p>Inertie thermique</p>	<p>L'inertie de la paroi ancienne isolée est moyenne. L'isolation par l'extérieur préserve l'inertie de la paroi ancienne.</p>	
<p>Résistance thermique</p>	<p>La résistance thermique de la paroi ancienne isolée est fidèle aux performances attendues.</p>	

5. Solutions d'isolation par l'intérieur (ITI)

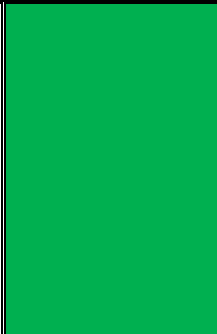
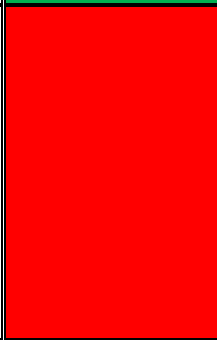



5.1. Solution E-E en ITI : « étanche à l'humidité » coté extérieur + « étanche à l'humidité » coté intérieur

5.1.1. Description

		Extérieur « Etanche »		Paroi ancienne		Intérieur « Etanche »	
 <p>The diagram shows a cross-section of a wall with exterior waterproofing (E) and interior waterproofing (E). The exterior side is labeled 'ext' and the interior side is labeled 'int'. The wall consists of a wooden plank (pan de bois) and a cob (torchis) layer. The exterior waterproofing is a cement render (enduit ciment). The interior waterproofing consists of a vapor barrier (frein-vapeur) and a plaster board with vinyl paint (plaque de plâtre et papier peint vinyle). The thicknesses are indicated in the table below.</p>	Matériaux retenus (*)	Enduit ciment	Pan de bois	Torchis	Laine de roche	Frein-vapeur	Plaque de plâtre et papier peint vinyle
	Epaisseur (mm)	20	120	120	120	1	13
	Hygroscopicité	Elevée	Elevée	Elevée	Faible	-	Moyenne
	Résistance à la diffusion de vapeur	Moyenne	Moyenne	Faible	Faible	Elevée	Moyenne
	Capillarité	Faible	Faible	Elevée	Faible	-	Moyenne

(*) Les propriétés physiques de ces matériaux sont détaillées dans le « cahier n°0 »

5.1.2. Conséquences sur le comportement hygrothermique

<p>Quantité d'eau</p>	<p>La quantité d'eau dans le bois ou le torchis dans cette configuration est sensiblement la même que dans la paroi de base.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Le séchage de la paroi ancienne vers l'ambiance intérieure est faible. La laine de roche interdit le passage de l'humidité sous forme liquide vers le frein-vapeur, qui lui-même l'interdit sous forme à la fois liquide et gazeuse, tout comme le papier peint vinyle. • Ce séchage est également faible vers l'ambiance extérieure. L'enduit au ciment empêche le passage de l'humidité en provenance de la paroi ancienne, qu'elle soit sous forme liquide ou gazeuse. Cependant il semble qu'en l'absence de toute infiltration d'eau cela soit suffisant pour réguler l'eau de la paroi. 	
<p>Capacité de séchage en présence d'infiltrations d'humidité</p>	<p>La capacité de séchage de la paroi est très faible en présence d'infiltration d'humidité : la paroi ancienne n'atteint pas de nouvel équilibre hygrothermique. Cela engendre une situation critique étant donné que le bois comme le torchis sont saturés en eau après quelques années.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Le passage de l'humidité, sous forme liquide et gazeuse, de la paroi ancienne vers l'ambiance intérieure est impossible du fait de la faible capillarité de la laine de roche et de la forte résistance à la diffusion de vapeur du frein-vapeur. • D'autre part, le ciment étant faiblement capillaire et résistant à la diffusion de vapeur, il empêche également le séchage, que ce soit sous forme liquide ou gazeuse, de la paroi ancienne vers l'extérieur. 	
<p>Condensation</p>	<p>Il y a un risque faible de condensation à l'interface entre l'isolant et l'ensemble formé par le pan de bois et le torchis.</p>	
<p>Inertie thermique</p>	<p>L'inertie de la paroi ancienne isolée est très faible. L'isolation par l'intérieur dégrade considérablement l'inertie de la paroi ancienne.</p>	
<p>Résistance thermique</p>	<p>La résistance thermique de la paroi ancienne isolée est très fidèle aux performances attendues.</p>	

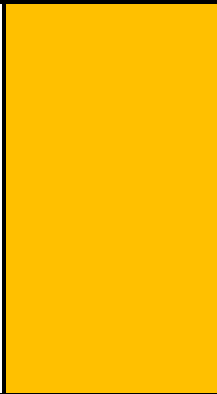
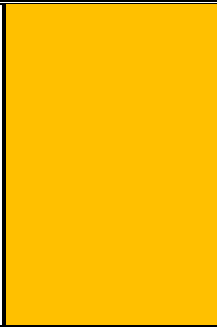

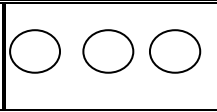

5.2. Solution E-P en ITI : « étanche à l'humidité » coté extérieur + « perméable à l'humidité » coté intérieur

5.2.1. Description

		Extérieur	Paroi ancienne		Intérieur		
		« Etanche »			« Perméable »		
<p>E-P</p>	Matériaux retenus (*)	Enduit ciment	Pan de bois	Torchis	Ouate de cellulose	Frein-vapeur hygro-variable	Plaque de plâtre
	Epaisseur (mm)	20	120	120	120	1	13
	Hygroscopicité	Elevée	Elevée	Elevée	Moyenne	-	Moyenne
	Résistance à la diffusion de vapeur	Moyenne	Moyenne	Faible	Faible	Moyenne à Elevée	Faible
	Capillarité	Faible	Faible	Elevée	Elevée	-	Elevée

() Les propriétés physiques de ces matériaux sont détaillées dans le « cahier n°0 »*

5.2.2. Conséquences sur le comportement hygrothermique

<p>Quantité d'eau</p>	<p>Par rapport à la paroi de base, la quantité d'eau est supérieure et l'équilibre hygrothermique n'est pas tout à fait atteint après 10 ans.</p> <ul style="list-style-type: none"> Le séchage de la paroi ancienne vers l'ambiance extérieure est faible puisque l'enduit extérieur ciment, bien que protégeant correctement la paroi des intempéries, empêche l'évacuation de l'humidité en provenance du bois du torchis, qu'elle soit sous forme liquide ou gazeuse. D'autre part, le coté intérieur de la paroi composé de ouate de cellulose, d'un frein vapeur hygro-variable et de plâtre étant relativement perméable à la vapeur d'eau et capillaire permet d'important s échanges d'humidité entre la paroi et l'ambiance intérieur, notamment un apport d'humidité provenant de l'espace intérieur. 	
<p>Capacité de séchage en présence d'infiltrations d'humidité</p>	<p>La capacité de séchage de la paroi est moyenne en présence d'infiltration d'humidité : bien que la paroi ancienne ait atteint un nouvel équilibre hygrothermique, la quantité d'eau dans le bois et le torchis est plus élevée que dans la paroi de base.</p> <ul style="list-style-type: none"> L'enduit au ciment étant peu capillaire et résistant à la diffusion de vapeur, il empêche le séchage, que ce soit sous forme liquide ou gazeuse, de la paroi ancienne vers l'extérieur. Il semblerait que le passage de l'humidité, sous forme gazeuse, de paroi ancienne vers l'ambiance intérieure ne soit pas suffisant du fait de la résistance à la diffusion de vapeur plutôt moyenne du frein-vapeur hygro-variable. 	
<p>Condensation</p>	<p>Il y a un risque modéré de condensation à l'interface entre l'isolant et l'ensemble formé par le pan de bois et le torchis.</p>	
<p>Inertie thermique</p>	<p>L'inertie de la paroi ancienne isolée est très faible. L'isolation par l'intérieur dégrade considérablement l'inertie de la paroi ancienne.</p>	
<p>Résistance thermique</p>	<p>La résistance thermique de la paroi ancienne isolée est très fidèle aux performances attendues.</p>	

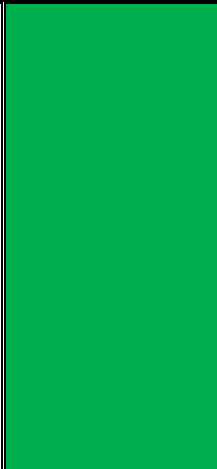
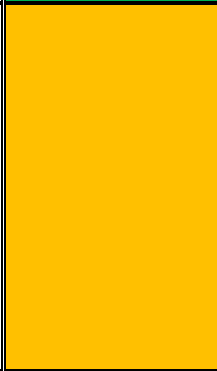

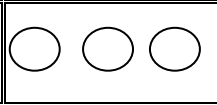

5.3. Solution P-E en ITI : « perméable à l'humidité » coté extérieur + « étanche à l'humidité » coté intérieur

5.3.1. Description

		Extérieur	Paroi ancienne		Intérieur		
		« Perméable »			« Etanche »		
<p>P-E</p>	Matériaux retenus (*)	Enduit chaux	Pan de bois	Torchis	Laine de roche	Frein-vapeur	Plaque de plâtre et papier peint vinyle
	Epaisseur (mm)	20	120	120	120	1	13
	Hygroscopicité	Elevée	Elevée	Elevée	Faible	-	Moyenne
	Résistance à la diffusion de vapeur	Faible	Moyenne	Faible	Faible	Elevée	Moyenne
	Capillarité	Moyenne	Faible	Elevée	Faible	-	Moyenne

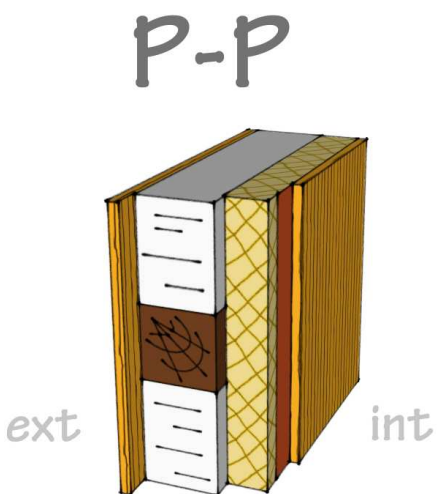
() Les propriétés physiques de ces matériaux sont détaillées dans le « cahier n°0 »*

5.3.2. Conséquences sur le comportement hygrothermique

<p>Quantité d'eau</p>	<p>La quantité d'eau dans le bois ou le torchis dans cette configuration est sensiblement la même que dans la paroi de base.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les transferts d'humidité de la paroi ancienne vers l'ambiance intérieure sont peu importants, puisque la laine de roche interdit le passage de l'humidité sous forme liquide vers le frein-vapeur, qui lui-même l'interdit sous forme à la fois liquide et gazeuse, tout comme le papier peint vinyle. Cet aspect empêche le séchage coté intérieur mais protège également de l'humidité de l'ambiance intérieure. • Cependant, la chaux semble pouvoir gérer la quantité d'humidité provenant de l'ambiance extérieure. De plus, la chaux permet l'évacuation de l'eau contenue dans la paroi ancienne de terre cuite. <p>Cette configuration semble suffisante pour gérer maintenir un niveau d'humidité correcte au sein de la paroi en l'absence d'infiltration d'humidité.</p>	
<p>Capacité de séchage en présence d'infiltrations d'humidité</p>	<p>La capacité de séchage de la paroi est moyenne en présence d'infiltrations d'humidité : La paroi ancienne atteint un nouvel équilibre hygrothermique qui est légèrement supérieur au niveau de la paroi de base. On observe cependant une accumulation d'eau moyenne à l'interface entre le bois et l'isolant.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Le passage de l'humidité, sous forme liquide et gazeuse, de la paroi ancienne vers l'ambiance intérieure est impossible du fait de la faible capillarité de la laine de roche et de la forte résistance à la diffusion de vapeur du frein-vapeur. • Et malgré ses propriétés capillaires moyennes et sa faible résistance à la diffusion de vapeur, l'enduit à la chaux parviennent à évacuer une partie du surplus d'eau. Des problèmes d'accumulation se concentrent néanmoins au niveau du bois qui est très peu capillaire. 	
<p>Condensation</p>	<p>Il y a un risque faible de condensation à l'interface entre l'isolant et l'ensemble formé par le pan de bois et le torchis.</p>	
<p>Inertie thermique</p>	<p>L'inertie de la paroi ancienne isolée est très faible. L'isolation par l'intérieur dégrade considérablement l'inertie de la paroi ancienne.</p>	
<p>Résistance thermique</p>	<p>La résistance thermique de la paroi ancienne isolée est très fidèle aux performances attendues.</p>	




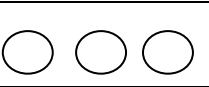

5.4. Solution P-P en ITI : « perméable à l'humidité » coté extérieur + « perméable à l'humidité » coté intérieur

5.4.1. Description

		Extérieur	Paroi ancienne		Intérieur		
		« Perméable »			« Perméable »		
 <p>P-P</p>	Matériaux retenus (*)	Enduit chaux	Pan de bois	Torchis	Ouate de cellulose	Frein-vapeur hygro-variable	Plaque de plâtre
	Epaisseur (mm)	20	120	120	120	1	13
	Hygroscopicité	Elevée	Elevée	Elevée	Moyenne	-	Moyenne
	Résistance à la diffusion de vapeur	Faible	Moyenne	Faible	Faible	Moyenne à Elevée	Faible
	Capillarité	Moyenne	Faible	Elevée	Elevée	-	Elevée

() Les propriétés physiques de ces matériaux sont détaillées dans le « cahier n°0 »*

5.4.2. Conséquences sur le comportement hygrothermique

<p>Quantité d'eau</p>	<p>La quantité d'eau augmente légèrement et atteint rapidement un nouvel équilibre hygrique proche du niveau de la configuration de base.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Le frein vapeur hygrovariable permet des échanges permet d'important échanges d'humidité entre la paroi et l'ambiance intérieur, amenant de l'humidité provenant de l'intérieur mais évacuant également cette humidité vers l'intérieur lorsque celle-ci est en excès. • De plus, la chaux semble pouvoir gérer la quantité d'humidité provenant de l'ambiance extérieure tout en évacuant convenablement l'éventuel excès d'eau stocké dans la le pan de bois et le torchis. <p>Ces deux aspects font que la paroi est sensible aux variations d'humidité des ambiances intérieure et extérieure mais est suffisamment perspirante pour la teneur en eau en son sein reste à un niveau acceptable en l'absence de d'infiltrations d'humidité.</p>	
<p>Capacité de séchage en présence d'infiltrations d'humidité</p>	<p>La capacité de séchage de la paroi est moyenne en présence d'infiltrations d'humidité : la paroi ancienne atteint un nouvel équilibre hygrothermique qui est légèrement supérieur au niveau de la paroi de base. On observe cependant une accumulation d'eau moyenne à l'interface entre le bois et l'isolant.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Le passage de l'humidité, sous forme gazeuse, de la paroi ancienne vers l'ambiance intérieure est limité du fait de la résistance à la diffusion de vapeur plutôt moyenne du frein-vapeur hygro-variable. • Mais d'autre part, l'enduit à la chaux facilite le passage de l'humidité, à l'état liquide et gazeux, de la paroi ancienne vers l'ambiance extérieure. 	
<p>Condensation</p>	<p>Il y a un risque faible de condensation à l'interface entre l'isolant et l'ensemble formé par le pan de bois et le torchis.</p>	
<p>Inertie thermique</p>	<p>L'inertie de la paroi ancienne isolée est très faible. L'isolation par l'intérieur dégrade considérablement l'inertie de la paroi ancienne.</p>	
<p>Résistance thermique</p>	<p>La résistance thermique de la paroi ancienne isolée est très fidèle aux performances attendues.</p>	

6. Tableau de synthèse et conclusions

Murs en pan de bois et torchis		Quantité d'eau	Capacité de séchage	Condensation	Inertie thermique	Résistance thermique
Base					● ● ○	
Isolation par l'extérieur					● ● ○	
					● ● ○	
					● ● ○	
					● ● ○	
					● ● ○	
Isolation par l'intérieur					○ ○ ○	
					○ ○ ○	
					○ ○ ○	
					○ ○ ○	

En préalable, il est à noter que l'on est ici en présence de deux matériaux anciens aux propriétés différentes : le torchis et le bois. Ces deux matériaux sont fortement hygroscopiques mais, alors que le torchis présente une forte capillarité, le bois est quant à lui très peu capillaire. Ceci implique de porter une attention toute particulière à la quantité d'eau dans le bois : en effet, étant très hygroscopique et peu capillaire, celui-ci stocke facilement de grandes quantités d'eau sans être capable de l'évacuer aisément.

De manière générale, les résultats obtenus montrent que, du point de vue hygrothermique, **l'isolation par l'extérieur est préférable à l'isolation par l'intérieur :**

- l'inertie thermique de la paroi est mieux préservée ;
- le risque de condensation est plus faible ;
- la quantité d'eau présente dans la paroi ancienne (pan de bois et torchis) est plus faible.

Parmi les solutions d'isolation par l'extérieur, les configurations P-x, perméables à la vapeur d'eau et capillaires côté extérieur¹, sont à privilégier.

En effet, bien qu'a priori, en l'absence d'infiltrations d'humidité, toutes les solutions d'isolation par l'extérieur présentent une "quantité d'eau" faible, on observe que les configurations « étanches coté extérieur » ont du mal à évacuer l'excès d'eau dû à des infiltrations (critère "capacité de séchage"). Dans ces cas, l'interface entre le bois et l'isolant est un point particulièrement sensible.

Dans le cas d'une isolation par l'intérieur, les configurations P-x, perméables à la vapeur d'eau et capillaires côté extérieur², sont à privilégier.

Elles limitent en effet le risque de condensation et garantissent une meilleure préservation de l'équilibre hygrothermique de la paroi ancienne (critères « quantité d'eau » et « capacité de séchage»).

¹ Illustré ici par une isolation en fibre de bois et un enduit extérieur à la chaux

² Illustré par un enduit à la chaux coté extérieur

7. Limites de l'étude

Ces cahiers ne se substituent pas à un diagnostic spécifique, qui doit être adapté à la situation de chaque enveloppe et des particularités qui peuvent être rencontrées (climat extérieur, climat intérieur, orientation,...).

Les conclusions ne sont donc rigoureusement valables que pour les conditions qui ont été considérées dans l'étude, en termes de climats intérieur / extérieur ou de propriétés des matériaux (cf paragraphe 3 du cahier 0).

Par ailleurs, au-delà des critères hygrothermiques, d'autres aspects sont naturellement à intégrer dans le cadre d'un projet de réhabilitation. Il s'agit bien de réaliser, au cas par cas, un diagnostic global du bâti. Celui-ci devra permettre de répondre notamment aux questions suivantes :

- Sur les aspects énergétiques : les murs et façades représentent-ils un poste de déperditions prioritaire ?
- Sur les aspects techniques : les murs présentent-t-ils des remontées capillaires ? Des défauts d'infiltrations ? Des problèmes structurels ? D'autres pathologies ?
Auxquels cas, il faudra les résoudre avant de procéder à toute isolation.
- Sur les aspects patrimoniaux : quels sont les qualités et contraintes architecturales ? Côté intérieur, côté extérieur ?

Le choix final du mode et du type d'isolation se fera en intégrant toutes ces questions.

H Y G R O B A

Etude de la réhabilitation hygrothermique des parois anciennes

Maitrise d'ouvrage :



Direction Générale de l'Aménagement, du Logement et de la Nature (DGALN)

Direction de l'Habitat, de l'Urbanisme et des Paysages (DHUP)

Sous direction de la qualité et du développement durable dans la construction (QC)

Grande Arche de la Défense - Paroi Sud - 92055 La Défense

Tél : (33) 01 40 81 92 95

Réalisation :



CETE de l'Est – groupe construction – pôle « spécificités thermiques du bâti ancien »

11, rue Jean Mentelin - BP9 – 67035 Strasbourg cedex 2

Tél : (33) 03 88 77 46 00



Ecole Nationale Supérieure d'Architecture (ENSA) de Toulouse - Laboratoire de recherche en architecture (LRA)

83 rue Aristide Maillol – BP 10629 – 31106 Toulouse cedex 1

Tél : (33) 05 62 11 50 40



Laboratoire Matériaux et Durabilité des Constructions (LMDC)

135, Avenue de Ranguel - 31077 Toulouse cedex 4

Tél : (33) 05 61 55 99 16



Maisons Paysannes de France (MPF)

8, passage des deux sœurs - 75009 Paris

Tél : (33) 01 44 83 63 63