

Mise à jour M.Guis le 22/11/2018

→ Introduction

Le pisé est une **technique de construction utilisant de la terre crue** qui est mise en œuvre depuis plusieurs siècles dans la construction. Ce mode constructif porteur d'une identité patrimoniale nécessite une attention et un savoir-faire particulier lors de sa rénovation. Ce document apporte quelques pistes de réflexion sur les interventions en rénovation sur les bâtiments anciens en pisé.

→ Caractéristiques du pisé

▲ Propriétés physiques du matériau

Au-delà de sa disponibilité **la terre possède de multiples qualités** :

- Régulateur d'humidité

La terre peut absorber la vapeur d'eau lorsqu'elle est en excès dans l'air intérieur et à la libérer quand elle est en quantité insuffisante.

- Changement de phases de l'eau contenue dans les pores de la terre

Phénomène d'évaporation et condensation de l'eau dans le mur. Ces transformations thermodynamiques consomment et produisent de la chaleur. Elles contribuent à réchauffer le mur en hiver et le rafraîchir en été. (Ce phénomène fait varier les propriétés de conductivité, chaleur spécifique et résistance à la vapeur d'eau. A NOTER : ces aspects ne sont pas pris en compte dans les modélisations thermiques)

- Déphasant grâce à une forte inertie

Se comporte comme un amortisseur des variations de température (permet donc un bon confort d'été). Bonne capacité à stocker la chaleur et à la restituer par rayonnement.

- Isolation phonique et qualité acoustique

- Reprise aisée mais qui nécessite un savoir-faire.

- Durée de vie : bâtiments centenaires très présents dans la région.

- Faible impact environnemental

Matériau disponible localement, peu d'énergie nécessaire pour la fabrication, pas de déchets à la déconstruction du bâtiment. Peut être réutilisé indéfiniment (sauf si mélangé à la chaux ou à du ciment pour la stabiliser)



1/3

Conductivité Thermique (λ) : W/m.K	Coef de résistance à la diffusion de la vapeur d'eau (μ)	Chaleur spécifique cp: J/kg-K	Déphasage thermique h	Résistance au feu (classe selon NF EN 13501-1)
0,5 à 1,1	5 à 11	830	10 à 12h pour un mur de 50 cm	A2 (incombustible)

Capacité à transmettre de la chaleur. Plus λ est petit plus le matériau est isolant.

Plus μ est élevé plus la résistance à la diffusion de la vapeur d'eau est grande

Capacité à emmagasiner de la chaleur

▲ Conception et mise en œuvre du pisé

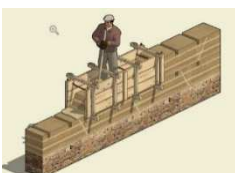
Architecture

Traditionnellement, les bâtiments en pisé portent de « **bonnes bottes** » et un « **bon chapeau** ». C'est à dire que le soubassement est construit de manière à **limiter les remontées capillaires du sol** (le plus souvent en galets, en pierres dures – peu poreuses ou en briques de terre cuites maçonnées) et le débord de toiture est suffisant pour **éviter le ruissellement de l'eau** sur la façade.



Mise en œuvre

Le pisé est une technique de mise en œuvre qui consiste à **compacter** (à l'aide d'un psoir) dans des coffrages (appelés banches) un mélange de graviers, sables, limons et argiles pour constituer la hauteur des murs. Des « **cordons de chaux** », visibles entre chaque « banchée », permettent d'améliorer la résistance à l'érosion des façades extérieures en absorbant de l'eau de ruissellement éventuel pour éviter que celle-ci ne creuse la façade en terre.



→ Points de vigilances

Suite à des interventions plus ou moins récentes et non adaptées au pisé, on observe des dégradations de certains bâtiments. Pour éviter ces problèmes, il est important de réaliser un bon diagnostic et de faire appel à des artisans spécialisés avant toute interventions sur le bâti. Les rubriques ci-dessous présentent les points de vigilance importants dans les projets de rénovation de bâtiments en pisé.



Constat très répandu : sous l'enduit ciment le pisé n'a pas pu évacuer l'humidité des remontées capillaires. L'enduit gonfle, se morcelle et le surplus d'humidité a délité la surface du mur

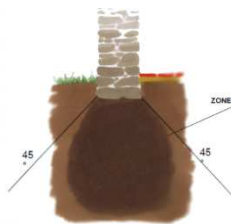
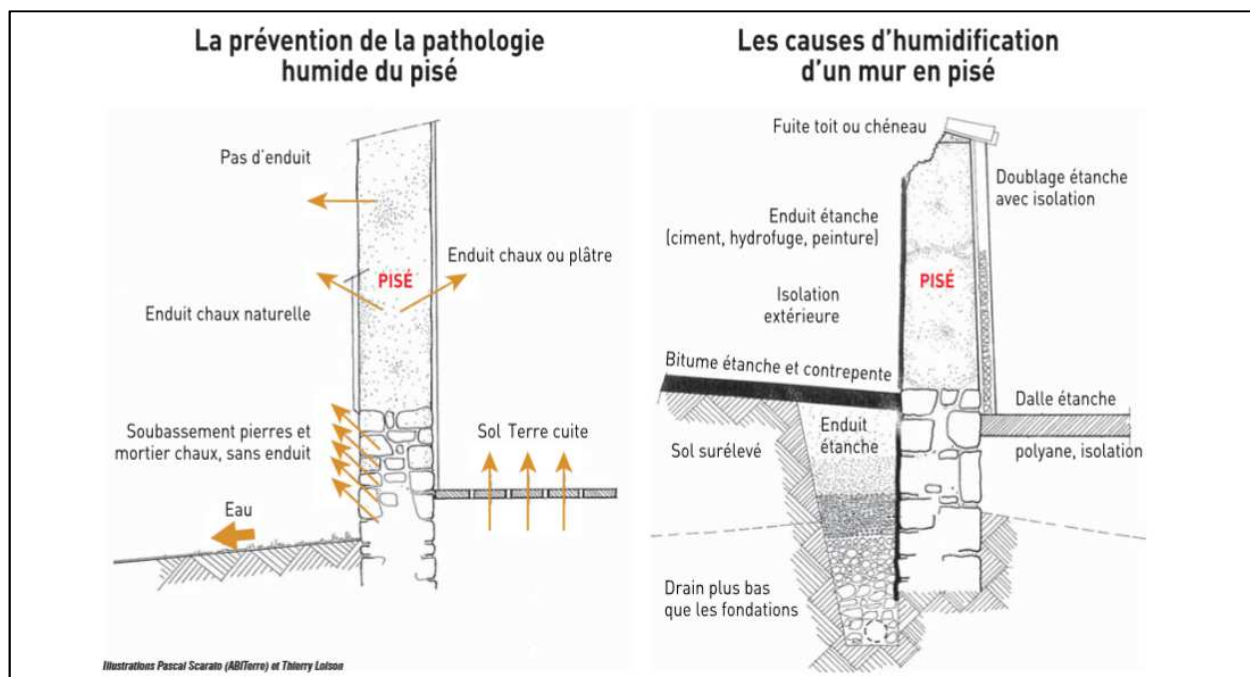
▲ Hygrométrie

Les murs en pisé sont sensibles à l'eau et peuvent voir leur structure altérée si cette humidité s'accumule dans le mur. Les problèmes d'humidité doivent donc être traités en priorité.

La première chose à faire est d'identifier l'origine de la présence d'humidité (remontées capillaires, pente de terrain, impossibilité d'évacuation due à un enduit étanche...).

Quelques règles de base :

- **Les soubassements doivent être considérés avec attention** afin de permettre l'évaporation des remontées d'humidité.
- **Éviter ou réduire les sources d'humidité** avant tout : niveler les pentes de terrain qui sont dans le sens du bâtiment, éviter les revêtements étanches autour du bâtiment (de type goudrons, terrasse de ciment...), drainer la périphérie du bâtiment (pas trop proche des soubassements), et quand c'est possible, le sol de l'habitation, vérifier si le débord de toiture est suffisant. Installer des gouttières.
- **Ne pas appliquer de revêtement étanche** à la vapeur d'eau (sur les murs intérieurs et extérieurs, mais aussi sur les dalles intérieures).
- Installer un système de **ventilation** dans l'habitation.
- Choisir les revêtements de sols extérieurs de manière à **éviter les éclaboussures sur les murs** si ceux-ci ne sont pas enduits.



▲ Structure du mur en pisé

Lors de rénovation, il faut éviter dans la mesure du possible l'utilisation de matériaux rigides (par exemple, utiliser si possible le bois s'il y a nécessité de faire un chaînage).

Lors de travaux à proximité des fondations, veiller à ne pas décaisser aux abords du bulbe de compression. Cette zone de tassement assure la stabilité du mur. Faire appel à un artisan habitué aux problématiques du bâti ancien (ne pas hésiter à demander des références).

▲ Fissures

Les bâtiments en pisé sont souvent fissurés car la terre est un matériau qui bouge dans le temps.

Le pisé peut présenter des fissures sans forcément être menacé dans sa stabilité mécanique, mais il convient de les diagnostiquer, d'observer l'évolution à l'aide d'un **témoin en plâtre** qui permet de suivre l'évolution des fissures. (photo ci-contre).



Exemple de réparation d'une fissure due à une infiltration d'eau en toiture.

Source Craterre

Les fissures ou les détériorations mineures

Elles peuvent se réparer superficiellement avec de la terre, sous forme de mortier de terre liquide ou bien avec un coulis de chaux. Il faut **proscrire le ciment**, qui rigidifie la zone et peut aggraver la pathologie.

Les fissures plus importantes

Les ouvertures peuvent être rebouchées avec des éléments de maçonnerie (pierres, briques de terre crue hourdées à la terre ou briques de terre cuite hourdées au mortier de chaux) ou la même terre à pisé mélangée avec de la paille et du sable. Il faut s'assurer au préalable de la bonne stabilité structurelle de l'édifice (ex : fissures importantes dans les angles ou au droit d'éléments de la charpente) et faire appel à un professionnel.

3/6

▲ Finitions extérieures

Un enduit n'est pas obligatoirement nécessaire sur du pisé : c'est selon la qualité de la terre, la destination du bâtiment ainsi que son exposition aux vents, pluies...

En revanche **il est primordial que l'enduit extérieur soit perméable**. On voit couramment des maisons en pisé avec des enduits en ciment. Dans ce cas, il est préférable de **déposer ces enduits** surtout en pieds de mur et **si une isolation des murs par l'intérieur est envisagée**.

Enduit de chaux

La pose d'un enduit à la chaux nécessite une préparation du mur avec réparation des fissures, renforcement des zones fragiles (angles), rattrapage de la planéité du mur ajout d'enduit terre ou par « rabotage » du mur. Dans l'idéal, l'enduit doit être de faible épaisseur (max 3cm), il n'est alors pas nécessaire d'avoir recours à une armature métallique ou synthétique.

La chaux est adaptée au pisé pour ses propriétés hygrométriques (elle ne bloque pas le passage de la vapeur d'eau). On utilise de préférence de la chaux faiblement hydraulique (NHL2) pour ses qualités plastiques qui permettent de s'adapter aux micro-variations du mur.



Exemple de bâtiment n'ayant pas été enduit depuis sa construction. Le pisé n'a pas subi d'altération due à l'érosion.

➔ Rénovation énergétique et pisé

▲ Concevoir son projet

La conception d'un projet de rénovation sur du bâti en pisé nécessite l'appui de professionnels expérimentés avec ce matériau. Elle peut se dérouler selon les étapes suivantes :

S'entourer de professionnels

Architecte / Thermicien / Artisans

Définir vos besoins

Aménagement intérieur, confort, ...

Faire réaliser un diagnostic du bâti

intégrant les besoins que vous avez identifiés

Concevoir votre projet

Définir différents scénarios de travaux avec au moins un scénario BBC

Choisir un scénario et lancer les travaux

▲ L'isolation des murs en pisé

La question de la pertinence à isoler des murs en pisé ne fait actuellement pas toujours consensus parmi les professionnels du domaine en raison de la sensibilité de ce matériau à l'humidité. Il faudra donc étudier au cas par cas les possibilités d'isolation en fonction de l'état du mur. De plus, une rénovation énergétique

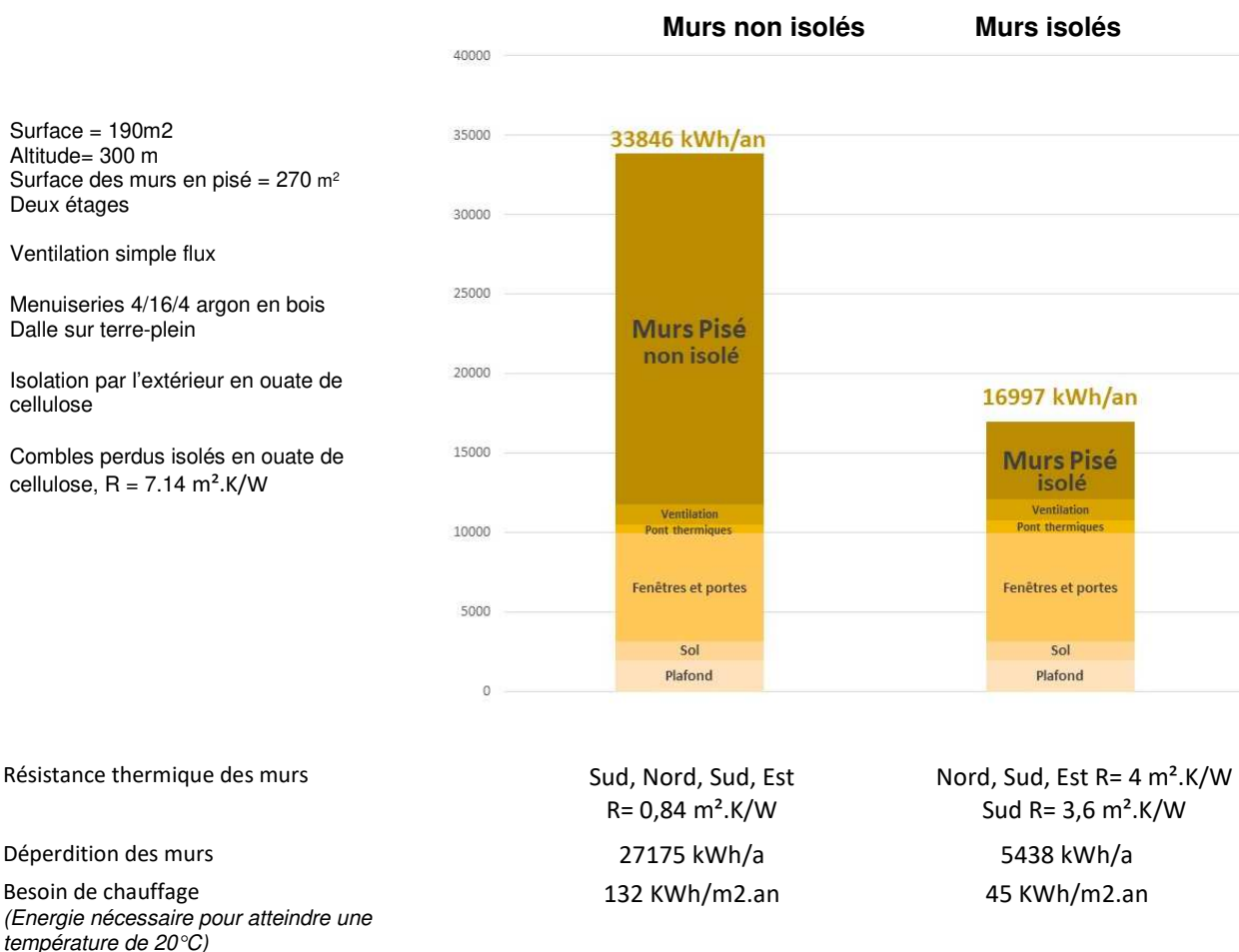
est à **considérer dans une approche globale** en évaluant les gisements d'économies d'énergie sur lesquels il est le plus intéressant de travailler.

Si on se concentre sur le sujet des murs, sur le plan thermique, la valeur relativement élevée de la conductivité thermique du pisé, met en évidence la nécessité d'ajouter un isolant. Bien qu'un mur en pisé soit plus « isolant » qu'un mur en pierre ou béton, on ne pourra le qualifier à proprement parler d'isolant (50cm de pisé ≈ 3cm de polystyrène). **Un mur en pisé seul ne permettra pas d'atteindre les standards de performance du bâtiment demandés aujourd'hui.**

Les dernières recherches sur le pisé ont mis en évidence les caractéristiques de changement de phase de l'eau dans le mur qui contribuent à améliorer l'inertie du mur. Cette caractéristique pourrait contribuer à améliorer le bilan thermique global du mur. Pour le moment, ces comportements spécifiques au pisé font encore débats et ne sont pas bien pris en compte dans les simulations thermiques dynamiques courantes.

La simulation thermique présentée ci-dessous a été réalisée avec le logiciel « PHPP » en prenant en compte les apports solaires. Elle montre que lorsque tous les postes de la maison ont été rénovés (toiture, menuiseries, sol, ventilation) la part des déperditions liée aux murs reste importante.

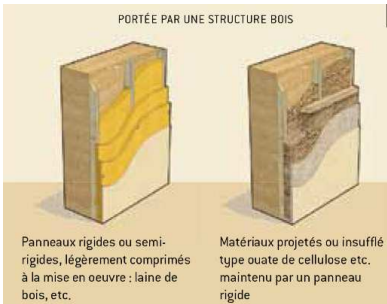
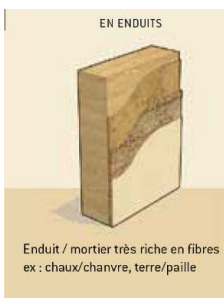
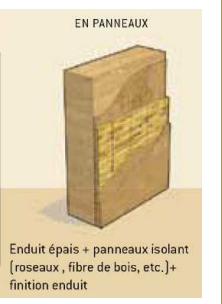
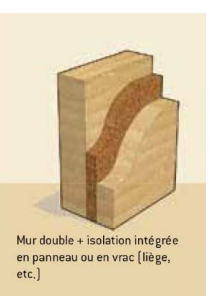
Analyse des Pertes thermiques par simulation thermique : comparaison d'un mur en pisé non-isolé et isolé



Le gain sur les pertes thermiques est de 66% lorsque les murs de cette maison sont isolés

Source : Graphique réalisé à partir de données issues d'une étude réalisée par Franck Janin

Quel type de mise en œuvre ?

Type d'isolation	par l'intérieur	par l'extérieur	par un mur double
<p>Schémas *Source : Guide Livardois Forez</p>	<p>PORTÉE PAR UNE STRUCTURE BOIS</p>  <p>Panneaux rigides ou semi-rigides, légèrement comprimés à la mise en œuvre : laine de bois, etc.</p> <p>Matériaux projetés ou insufflés type ouate de cellulose etc. maintenu par un panneau rigide</p>	<p>EN ENDUITS</p>  <p>Enduit / mortier très riche en fibres ex : chaux/chauvre, terre/paille</p> <p>EN PANNEAUX</p>  <p>Enduit épais + panneaux isolant (roseaux, fibre de bois, etc.) + finition enduit</p>	 <p>Mur double + isolation intégrée en panneau ou en vrac (liège, etc.)</p>
<p>Avantages</p>	<ul style="list-style-type: none"> Facilité de mise en œuvre Préserve l'aspect de la façade Permet l'intégration de réseaux sans avoir à tailler les murs Peut neutraliser le pont thermique du plancher bas s'il y a une continuité avec l'isolant de la dalle 	<ul style="list-style-type: none"> Conserve la surface habitable Supprime les ponts thermiques des refends et planchers intermédiaires Minimise les risques de condensation Préserve l'inertie du mur (confort d'été) Fait bénéficier des propriétés naturelles du pisé à réguler l'humidité Protège les murs de l'effet du gel et de la pluie et les rend plus durables. Le pisé reste côté chaud de la paroi, limite les problèmes liés à un excès d'humidité dans le mur 	<ul style="list-style-type: none"> Mur isolé qui conserve son inertie en été Conserve l'aspect du pisé
<p>Inconvénients</p>	<ul style="list-style-type: none"> Réduit la surface habitable Ne neutralise pas les ponts thermiques liés aux murs de refends et planchers intermédiaires Enlève les bénéfices de l'inertie thermique du mur (confort d'été) Peut entraîner des problèmes de condensation dans le mur si les matériaux et la mise en œuvre ne sont pas adaptés Le mur en pisé se retrouve côté froid, l'excès d'humidité peut entraîner des désordres structurels importants, le mur s'écroulant soudainement sans prévenir dans les cas extrêmes 	<ul style="list-style-type: none"> Modifie l'aspect extérieur du bâtiment en cachant le pisé Peut nécessiter la mise en œuvre d'un support de fixation Peut entraîner des problèmes de condensation dans le mur si les matériaux et la mise en œuvre ne sont pas adaptés Travaux coûteux 	<ul style="list-style-type: none"> Technique plutôt employée dans la construction neuve. Difficile à mettre en œuvre dans un projet de rénovation
<p>Règles de conception</p>	<ul style="list-style-type: none"> Éviter les espaces vides (non ventilé ou ventilé sur air intérieur) entre le mur et l'isolant. Vérifier la nature de l'enduit extérieur. Si l'enduit est en ciment il faudra le déposer pour pouvoir isoler par l'intérieur sans quoi il a un vrai risque de dégrader le mur Les isolants en vrac, ou fixés à l'aide d'un mortier en terre sont tout indiqués sur les murs qui ne sont pas parfaitement plans. Utiliser un frein vapeur hygro-réglable. La mise en œuvre de celui-ci devra être très soignée. Attention à ne pas utiliser de pare-vapeur trop étanche. Assurer au maximum la continuité de l'isolant (ex : découper le plancher entre les étages pour assurer la continuité de l'isolation) 		<ul style="list-style-type: none"> L'isolant doit être imputrescible Le coefficient de résistance à la diffusion de la vapeur d'eau doit être proche de celui du pisé et ne doit pas être supérieur à celui du pisé
	<ul style="list-style-type: none"> Les matériaux utilisés à l'extérieur des murs doivent être plus perméables que ceux situés du côté intérieur afin de laisser migrer facilement la vapeur d'eau vers l'extérieur. Associer un système de ventilation mécanique à tous travaux d'isolation et changement de menuiseries Vérifier que l'enduit extérieur de la maison n'est pas un enduit étanche (enduit au ciment.) En bas de mur, ne pas utiliser de laine végétale, fibres végétales et ouate de cellulose sur les bas de murs à proximité des fondations. Ces isolants sont sensibles à une exposition prolongée à l'humidité, préférer des matériaux imputrescibles type : blocs de silicate de calcium (béton cellulaire) ou verre cellulaire ou liège sur ces parties sensibles pour créer une rupture capillaire. La hauteur dépendant des cas. 		

Quels matériaux pour isoler ?

Sur le plan hygrométrique, la pose d'une isolation non adaptée au pisé peut entraîner un risque de condensation dans le mur et entraîner des dégradations de la structure du mur.
Les matériaux utilisés sur des murs en pisé doivent donc être perméables à la vapeur d'eau.

Isolants adaptés au pisé : laine de chanvre, ouate de cellulose, laine de bois, paille, ...



Laine de chanvre Béton de chanvre Ouate de cellulose Fibre / Laine de bois Paille Chênevotte Métisse Liège Béton / Verre cellulaire

6/6

Les matériaux contre-indiqués pour le pisé :

- Les isolants de synthèse (polystyrène, polyuréthane,)
- Les isolants minéraux (laine de verre, laine de roche,)
- Les enduits étanches (RPE, ciment,)
- Les finitions intérieures étanches (papiers peints plastifiés)

→ Pour aller plus loin

▲ Des livres et des dossiers techniques

- **Réhabiliter le pisé, vers des pratiques adaptées**, Actes sud, CRAterre
- **Le pisé, Patrimoine, Restauration, Technique d'avenir**, Les cahiers de construction traditionnelle
- **Pisé H2O**, Jean-Marie Le Tiec et Grégoire Paccoud, Ed CRAterre
- **Bâtir en terre**, Romain Anger et Laetitia Fontaine, Ed Belin
- **Traiter de construction en terre**, Hubert Guillaud et Hugo Houben, Ed CRAterre
- **Terre crue : techniques de construction et de restauration**, B.Pignal, Eyrolles, 2005
- **La rénovation écologique**, Pierre Lévy, terre vivante, 2010
- **Cahier d'expert bâti en pisé**, Pascal Scarato

▲ Structures spécialisées et listes d'artisans

- **CRAterre**, laboratoire de recherche et conservation de techniques de construction en terre : <http://craterre.org/>
- **Asterre** Association nationale des professionnels de la terre crue
- **TERA** Association terre crue Rhône-Alpes
- **APLOMB** (formation à l'écoconstruction et la restauration du patrimoine) : <http://aplomb.sud-gresivaudan.org/>
- **Le Gabion** (Centre de formation professionnelle en restauration du patrimoine) : <http://gabionorg.free.fr/>
- **Maisons Paysannes de France** <http://www.maisons-paysannes.org/>
- **Oïkos**
- **CAUE** (Conseil en Architecture, Urbanisme et Environnement) : www.caue-isere.org/ ou www.caue69.fr/
- Annuaire des professionnels d'Oïkos: <https://oikos-ecoconstruction.com/reseau-oikos/annuaire-pro/>
- Association TERA: <http://terre-crue-rhone-alpes.org/l'association/>
- Liste artisans et fournisseurs de matériaux de l'Ageden: <http://www.ageden38.org/espace-telechargement/>

Fiche réalisée en collaboration avec :



Franck Janin
Thermicien

Pierre-Antoine Chabriac
Chercheur expert pisé, ENSAS

Grégoire Paccoud
Chercheur Expert pisé