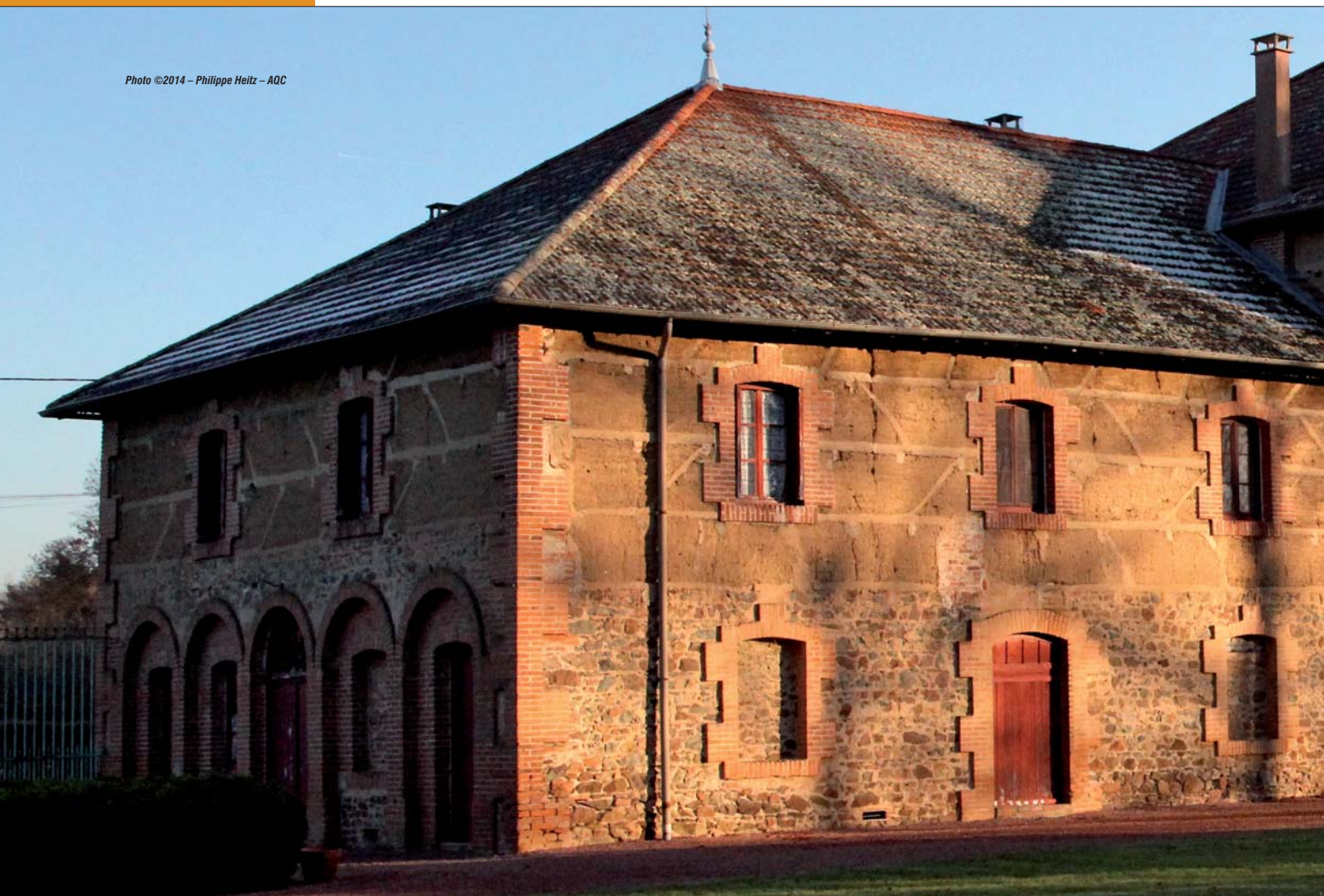


Photo ©2014 – Philippe Heitz – AQC



ARCHITECTURE EN TERRE

LA PATHOLOGIE, HUMIDE DU PISÉ

TEXTE : PHILIPPE HEITZ
PHOTOS & ILLUSTRATIONS : PASCAL SCARATO
(ABITERRE) ET THIERRY LOISON, PHILIPPE HEITZ/AQC

Le pisé, béton de terre crue compactée associant en quantité variable argile, silts, sables, graviers et cailloux, est bien représenté dans le patrimoine architectural français. S'il peut durer des siècles, il demeure un matériau sensible à l'humidité, nécessitant un environnement protecteur. Le point sur les facteurs de risque, la prévention et le traitement de cette pathologie majeure du pisé.



Selon le département américain de l'énergie, un tiers de l'humanité habite dans une construction en terre crue : en pisé, en bauge, torchis, adobe ou en brique de terre comprimée. Depuis le néolithique, sous toutes les latitudes, là où la terre argileuse s'y prête, les hommes ont construit en terre crue, assurant la protection de leurs murs contre l'eau par des architectures variées ou par la stabilisation par la chaux, très récemment par le ciment. En France, la localisation des bâtiments en pisé est très liée aux terres alluviales ou morainiques du quart Sud-Est : Val de Saône, Bresse, Bugey, Dauphiné, Forez, Livradois, Couloir rhodanien, Basse Durance et Comtat Venaissin. On en trouve également en Auvergne, Champagne, Limousin et vallée de la Garonne. 75 % de l'habitat traditionnel de l'Isère est construit en pisé, c'est dire l'importance patrimoniale du risque de pathologie humide du pisé, qui peut conduire à l'écroulement des murs. La compréhension de cette pathologie est un enjeu majeur pour la conservation, la restauration et l'entretien du bâti ancien, comme pour la conception saine des constructions contemporaines. Et sa connaissance doit être diffusée au-delà des bâtisseurs, à tous les aménageurs, élus compris, qui modifient l'environnement proche des bâtiments en pisé sans parfois être conscients des risques importants de dommages.

“Comprendre la pathologie du pisé est un enjeu majeur pour la conservation, la restauration et l'entretien du bâti ancien, comme pour la conception saine des constructions contemporaines”

Photo ci-dessus : Bâtiment agricole de la fin du XIX^e siècle en pisé sans enduit : le pisé bien protégé passe les siècles (Saint-André-Le-Puy [Loire]).

Des grains, des plaquettes, de l'eau, de l'air

La physique de la matière à l'état granulaire permet de comprendre les propriétés du matériau terre, composé pour la terre à pisé d'argiles (grains au-dessous de 2 µm), de silts (entre 2 µm et 60 µm), de sables (entre 60 µm et 2 mm), de graviers (entre 2 mm et 2 cm) et de cailloux (entre 2 cm et 10 cm). Les granulats de tailles complémentaires formant le squelette apportent résistance à la compression et à la fissuration, et l'argile la cohésion de ce béton naturel. Les proportions entre ces composants de la terre à pisé sont naturellement très variables et la granulométrie des pisés existants reflète cette diversité : on bâtissait avec la terre locale, en évitant au maximum le transport de ce matériau pondéreux. Le pisé, obtenu par compactage (le « pisage » ou « damage ») dans un coffrage de la terre humide avec un « pisoir » (ou « fouloir ») manuel ou pneumatique, emprisonne entre les grains de l'air et de l'eau. La microscopie électronique à balayage montre des ponts d'argile liant les grains de sable. Les argiles sont des phyllosilicates à la structure moléculaire feuilletée : des plans d'atomes d'oxygène emprisonnent des atomes de silicium et d'aluminium. Ces feuillets nanométriques s'organisent dans le cas des argiles à pisé (illites pour l'essentiel) en plaquettes, forme géométrique à ▶▶▶

très grande surface par rapport à son volume. Ces plaquettes microscopiques d'argile se collent entre elles par la force capillaire due à la tension superficielle des ménisques formés par l'air et le film de quelques nanomètres d'eau à leur contact (voir schéma ci-dessous). Beaucoup de surface de contact pour une faible masse : la force capillaire de cohésion est multipliée. Les forces de frottement entre les granulats sont quant à elles augmentées par la diversité des granulométries : les petits grains de sable et de silts sont... des grains de sable entre les gros rouages des graviers et cailloux. Au final, le pisé est un béton d'argile qui peut défier les siècles.

Comment l'excès d'eau fragilise-t-il le pisé ?

Au toucher, un pisé sec est dur comme la pierre avec une sensation de grain velouté. Sa teneur en eau est d'environ 1 à 2 %. Le pisé prend une couleur foncée à partir de 5 à 7 % : il reste dur mais la pathologie est déjà là. Encore plus dégradé, il garde l'empreinte du doigt et se déforme comme une pâte à modeler. À la mise en œuvre par compactage, la teneur en eau est de 10 à 12 %. En revanche, en malaxant terre à pisé et graviers dans une bétonnière avec 16 à 20 % d'eau, on obtient une « terre coulée ». Avec cette quantité d'eau, ce mortier de gravier argileux ne peut être compacté : il est utilisé en projection ou coulage. La consistance de la terre à pisé et ses propriétés mécaniques et rhéologiques [1] sont donc intimement dépendantes de sa teneur en eau, c'est-à-dire de la quantité d'eau par rapport à sa masse sèche. La teneur en eau est déterminée en laboratoire de façon simple, par pesée d'un échantillon avant et après dessiccation

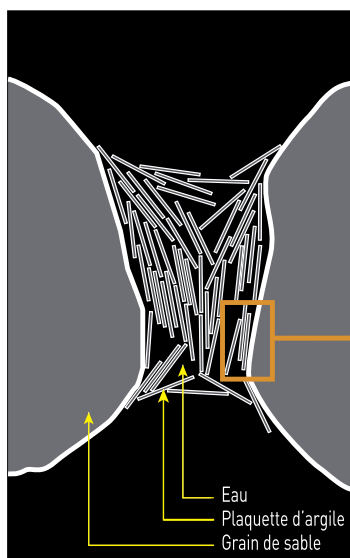
au four à 50 °C. Le projet de recherche « Béton d'argile environnemental » (BAE) financé par le ministère de l'Écologie et coordonné par le laboratoire CRAterre de l'École nationale supérieure d'architecture de Grenoble (Ensag), a notamment testé le comportement mécanique du pisé en fonction de l'humidité. La teneur en eau et la résistance à la compression R_c d'un pisé de terre de Brézins ont été mesurées après compactage en laboratoire, puis séchage à des températures croissantes. Au décoffrage, pour une teneur en eau de 12 à 13 %, la résistance à la compression du pisé est d'environ 0,3 MPa. Après séchage à 20 °C, celle-ci monte à 3,3 MPa pour une teneur en eau de 1,5 %. Elle grimpe à près de 5 MPa pour une humidité relative de 0,5 % obtenue en conditions expérimentales à 50 °C. Elle plafonne autour de 7 MPa pour des éprouvettes déshydratées en laboratoire à 105 °C. À 200 °C, toutes les argiles sont totalement déshydratées et la résistance redescend vers 5 MPa : la suppression des forces capillaires diminue la résistance du pisé sec, qui demeure néanmoins solide comme à 50 °C. Pour Lætitia Fontaine de CRAterre, les forces de frottement entre les grains et les forces capillaires sont les principales en jeu dans la résistance du pisé. Mais il existe aussi des forces électrostatiques entre les feuillets d'argile et les forces de Van Der Waals à l'échelle atomique. Ces dernières ne sont efficaces que si les feuillets d'argile sont distants d'un nanomètre au plus. En écartant les feuillets, l'excès d'eau diminue ces forces cohésives. Les essais menés dans le projet de recherche Primaterre financé par l'Agence nationale de la recherche et coordonné par Jean-Claude Morel du laboratoire LTDS-CNRS à l'École nationale des

[1] Rhéologie : science du comportement des matériaux liant contraintes et déformations.

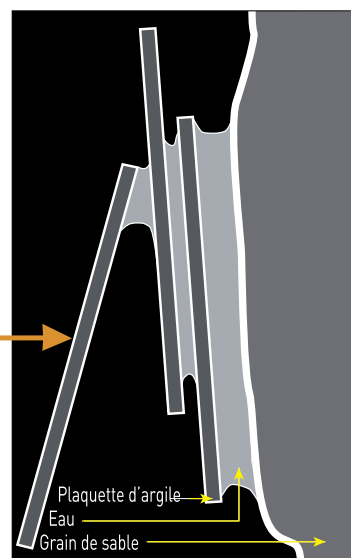
“Ces plaquettes microscopiques d'argile se collent entre elles par la force capillaire due à la tension superficielle des ménisques formés par l'air et le film de quelques nanomètres d'eau à leur contact”

Schéma du pont argileux liant des grains de sables

À l'échelle microscopique, on constate que l'argile « colle » les différents grains de sable entre eux (illustration de gauche). Une observation de ce pont argileux montre que les argiles sont liées entre elles par des ponts d'eau (illustration de droite). Finalement, le véritable liant de la terre, c'est l'eau.



Agrandissement du pont d'eau liant les plaquettes d'argiles



Source : Bâtir en terre de Lætitia Fontaine et Romain Anger (Éditions Belin)

travaux publics de l'État (ENTPE) à Vaulx-en-Velin, confirment cette corrélation entre diminution de la résistance à la compression et augmentation de la teneur en eau. Pour trois terres à pisé contenant de 5 % à 15 % d'argile, la Rc démarre à 0,25 MPa pour 12 à 13 % d'humidité, et s'élève entre 1,6 et 2 MPa pour 2 % de teneur en eau à température ambiante. Ce même laboratoire a trouvé en 2012 une teneur en eau de 11 à 13 % dans des échantillons de pisé prélevés suite à un effondrement d'une façade complète de maison à Lyon. L'humidification du pisé entraîne des risques majeurs : en effet, le noyage par l'eau liquide des pores de la terre en chasse l'air et supprime la tension superficielle entre les phases liquide et gazeuse ; la force de cohésion capillaire disparaît, l'argile devient progressivement plastique. De plus, certaines argiles ont un fort pouvoir d'absorption d'eau et gonflent, entraînant par exemple un décollement d'enduit. Enfin, une teneur en eau de 10 %, pathogène, représente 100 litres d'eau par tonne de mur. Le gel d'une telle masse d'eau déstructure le mur qui s'effondrera au dégel.

Les désordres

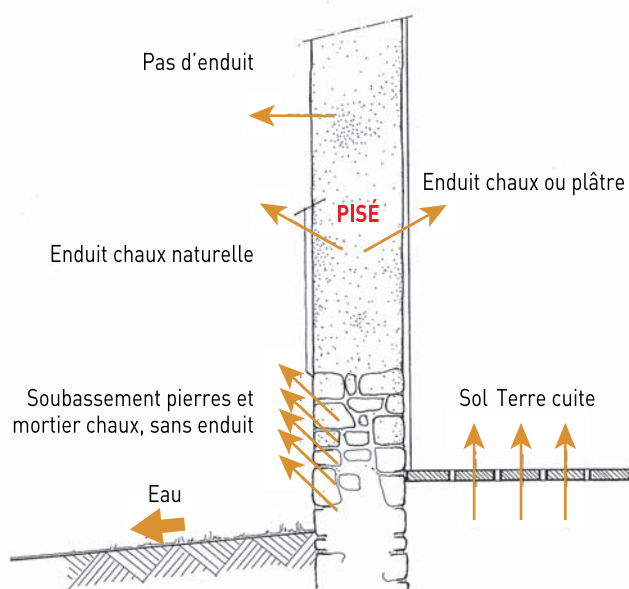
Pour Pascal Scarato, architecte de la SARL ABITerre, expert près la cour d'appel de Lyon, « la pathologie humide est la pathologie majeure du pisé. Et majoritairement par une attaque humide en bas de mur. La zone la plus fragile est à l'interface entre le soubassement en pierre et le pisé. C'est là en effet que dans la majorité des cas se conjuguent l'effort maximal, la concentration des remontées capillaires du sol et le rejaillissement de la pluie frappant le sol. » La déstructuration du pisé par l'humidité peut aller jusqu'à l'effondrement du mur, causant une

sinistralité majeure par ses conséquences et son coût. L'effondrement peut également se produire en étage, par exemple lors de la dépose d'une toiture sans bâchage, l'eau de pluie venant s'accumuler sur la dalle d'étage (phénomène de « piscine »), ou lors d'une construction mitoyenne. La sinistralité lors d'une construction mitoyenne se rencontre en ville quand des murs en pisé sans protection contre les écoulements d'eau pluviale le long des murs. La mauvaise surprise est d'autant plus probable que les maisons de ville en pisé sont fréquemment couvertes d'enduits masquant la terre, comme à Lyon, où de nombreuses habitations sont construites en pisé dans les quartiers de Saint-Just, Vaise, Tassin et la Croix-Rousse. L'effondrement peut parfois être constaté quand la vapeur d'eau d'une habitation condense à l'intérieur d'un mur nord avec un enduit extérieur en ciment épais. Dans le cas de bâtiments inutilisés où une canalisation ou la toiture vont fuir, le dégât des eaux sera tel que la construction s'écroulera ou devra être démolie. Le risque d'effondrement est à craindre également après un incendie, où l'eau d'extinction stagnera dans les gravats, les planchers... Des désordres peu importants de décollement d'enduit sont constatés quand des enduits étanches recouvrent le pisé. Une fuite de chéneau ponctuelle peut ne causer qu'une érosion localisée et superficielle sans conséquence à la condition qu'elle soit réparée rapidement.

« Un bon chapeau »

Le dicton anglais disant que le mur en pisé doit avoir « un bon chapeau et de bonnes bottes » souligne la nécessité de le protéger des attaques ▷▷▷

La prévention de la pathologie humide du pisé



Les causes d'humidification d'un mur en pisé

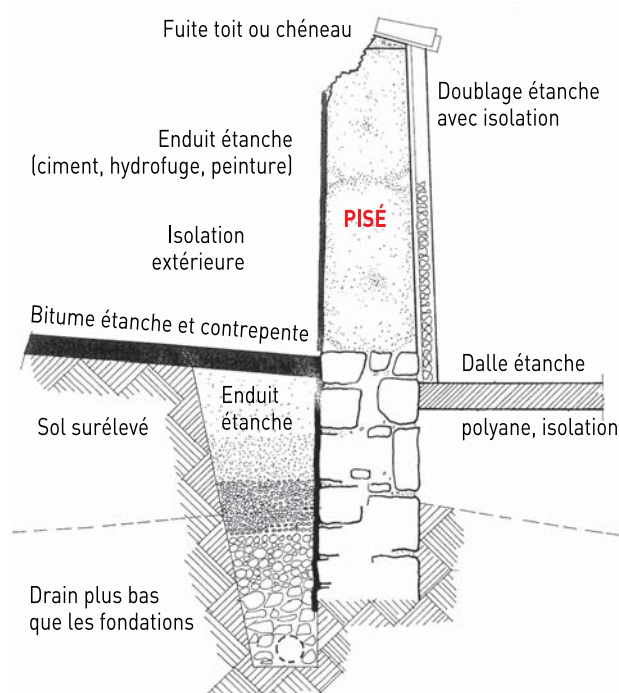


Photo ©2014 - Philippe Heitz - AOC



1 Le pisé humidifié sous plusieurs couches d'enduit ciment garde la trace du doigt.

2 Une zone humide liée au salpêtre au bas d'un mur d'étable en pisé.

humides en tête et en pied. Mais pour Pascal Scarato, « une fuite en toiture ou de chéneau est vite repérée par les habitants, et réparée avant que le dégât des eaux ne dépasse le stade de l'érosion superficielle localisée ». Patrice Doat, architecte cofondateur en 1979 du laboratoire CRAterre de l'Ensag, va dans le même sens. Il souligne que « c'est l'architecture qui protège le mur » et cite l'exemple des kasbahs marocaines en pisé dont les murs porteurs sont protégés de l'humidification par le parapet de terre en toiture-terrasse, qui subit une lente érosion. Cet acrotère fait office de pièce d'usure protectrice et est refait tous les dix ans. Sous nos climats, les bâtiments en pisé sont traditionnellement protégés par un avant-toit qui évite aux murs d'être longtemps trempés par la pluie. Avec cette protection, la pluie peut entraîner une lente érosion des éléments fins de la surface des murs, sans pathologie notable pour la structure. Néanmoins, l'artisan piseur Nicolas Meunier observe que « dans la plaine du Forez, de nombreux bâtiments ont un débord de toiture d'un seul rang de génoise, soit 10 à 12 cm. Le besoin de protection par l'avant-toit dépend de l'exposition du mur au vent dominant, des pentes de toiture, de la présence de chéneaux et de la nature de la terre. »

« De bonnes bottes »

Les murs en pisé sont toujours bâtis sur un soubassement en maçonnerie de pierres, de galets, de briques ou de béton de chaux ou de ciment d'au moins 50 cm d'élévation au-dessus du niveau du sol : « les bonnes bottes ». Ce soubassement met le pisé hors de portée du rejaillissement de la pluie et évacue par les pores de son mortier les remontées capillaires du sol. Pour Pascal Scarato, c'est la dégradation humide en bas d'un mur en pisé, à

l'interface avec le soubassement, qui est la cause la plus fréquente de sinistralité majeure. Pour l'expert, la rehausse des niveaux est la principale cause de la pathologie du pisé, l'humidité restant alors dans le bas du mur. En effet, le niveau du sol extérieur est souvent remonté par des travaux de voirie : chaque réfection rajoute une couche, diminuant la hauteur émergée du soubassement. Fréquemment, les remblais de terrassement de maison ou de piscine, ou des gravats de démolition ou de travaux mitoyens, sont étalés contre les murs en pisé. L'impact de la rehausse du niveau du sol est aggravé si elle l'imperméabilise, favorisant ainsi l'écoulement vers le mur et empêchant l'assèchement du sous-sol. La présence de végétation haute contre les murs, les contrepentes amenant des eaux de ruissellement, les drains mal réalisés ou les rigoles le long des murs, tout ce qui amène et maintient l'eau au contact d'un mur en pisé est source de pathologie humide.

À l'intérieur des maisons, en remplacement d'un sol poreux en terre ou en carreaux de terre cuite, une dalle béton et son film polyane bloquent l'évaporation du sol et conduisent les remontées capillaires vers le soubassement. Si celui-ci voit sa hauteur à l'air libre diminuée, l'humidité atteint le pisé.

... mais pas d'imperméable

Le pisé bien protégé par sa couverture et son soubassement, dans un environnement dégagé des facteurs de risque énoncés précédemment, ne nécessite pas d'enduit : en témoignent les nombreuses constructions traditionnelles, remontant parfois jusqu'au XIII^e siècle. Mais la guerre de 1914-1918 a décimé les charpentiers-piseurs, particulièrement affectés au boisage des tranchées. La perte du savoir-faire et de la culture du pisé datant de cette tragédie,



“Les problématiques liées à l’inadaptation de techniques et matériaux aux caractéristiques hygrothermiques du pisé sont d’autant plus d’actualité que se pose aujourd’hui la question de l’isolation du pisé”

accentuée par une dévalorisation de l’image de cette technique traditionnelle, a conduit de nombreux artisans ou propriétaires à enduire les murs en pisé et les soubassements avec des enduits au ciment perçus comme protecteurs contre les infiltrations. Alors que les enduits poreux à la chaux utilisés par les piseurs laissent l’humidité des murs s’évaporer, les enduits au ciment, imperméables, bloquent dans le mur la vapeur d’eau venant de l’intérieur du logement ainsi que les remontées capillaires. Si le mur est exposé au nord, il n’accumule pas dans sa masse la chaleur solaire, fait office de paroi froide et la vapeur condense à l’intérieur du mur. Les enduits imperméabilisants appliqués sur les murs ou sur les soubassements bloquent l’humidité à l’intérieur du mur. Ces problématiques liées à l’inadaptation de techniques et matériaux aux caractéristiques hygrothermiques du pisé sont d’autant plus d’actualité que se pose aujourd’hui la question de l’isolation du pisé. Autre facteur aggravant l’humidification du pisé : le salpêtre ou nitrate de potassium. Ce sel, issu du sol naturel ou de la dégradation de l’urine ou des engrais azotés, remonte par capillarité et imprègne les murs des étables ou des hangars agricoles. Ses auréoles blanches caractéristiques sont dues à sa cristallisation en surface. Par pression osmotique, l’humidité sera concentrée dans le pisé riche en salpêtre. Les sels modifient également l’équilibre ionique et les charges électrostatiques au niveau des feuillets d’argile.

Un sinistre vient d’une conjonction de causes

Pour Pascal Scarato, un sinistre résulte de la conjonction de causes principales et de facteurs déclenchants. Il note que l’affaiblissement par l’humidité de la base des murs en pisé est insidieux car souvent masqué par le sol rehaussé ou par un enduit. De plus, la perte de résistance à la compression étant progressive, il y a souvent une période de latence de plusieurs années entre le début de l’humidification et l’effondrement : « 5 à 10 ans en général après l’enterrement du soubassement », précise l’expert. C’est typiquement le cas lors des travaux de voirie le long de bâtiments en pisé. Première couche de bitume, première rehausse, début d’humidification. Des années après, création de trottoir, nouvelle couche de bitume, aggravation de l’attaque humide. Encore plus tard, une nouvelle couche pour la route. Et quelques mois après, à l’occasion d’une ouverture de tranchée, d’un passage de poids lourd, d’un bang supersonique, du dégel, d’un orage, le mur s’effondre. La répartition des responsabilités est alors compliquée : géomètres, collectivités, urbanistes et bureaux d’études, entreprises, propriétaires ? L’écroulement est parfois retardé encore de plusieurs années par une reprise partielle en parement, qui apporte provisoirement une attelle au mur affaibli, mais masque l’atteinte irréversible du pisé : le pisé humide en bas de mur est remplacé par un simple parement de >>>

Photo ©2014 – Philippe Heitz – AOC



L'absence d'entretien d'une maison en pisé conduit à sa destruction par dégradation humide irréversible (Isère).

“La restauration du bâti en terre ne sera pas durable sans traitement des causes de la pathologie humide. Il faut avoir une vue d'ensemble pour reconstituer l'environnement protecteur du mur, à commencer par un soubassement hors du sol”

pierres, de briques ou de mâchefer, reprise qui est parfois enduite au ciment. Derrière, la dégradation du pisé se poursuit, surtout si l'on n'a pas déterré le soubassement jusqu'au niveau de sol initial.

Prévention : évaporer, assécher

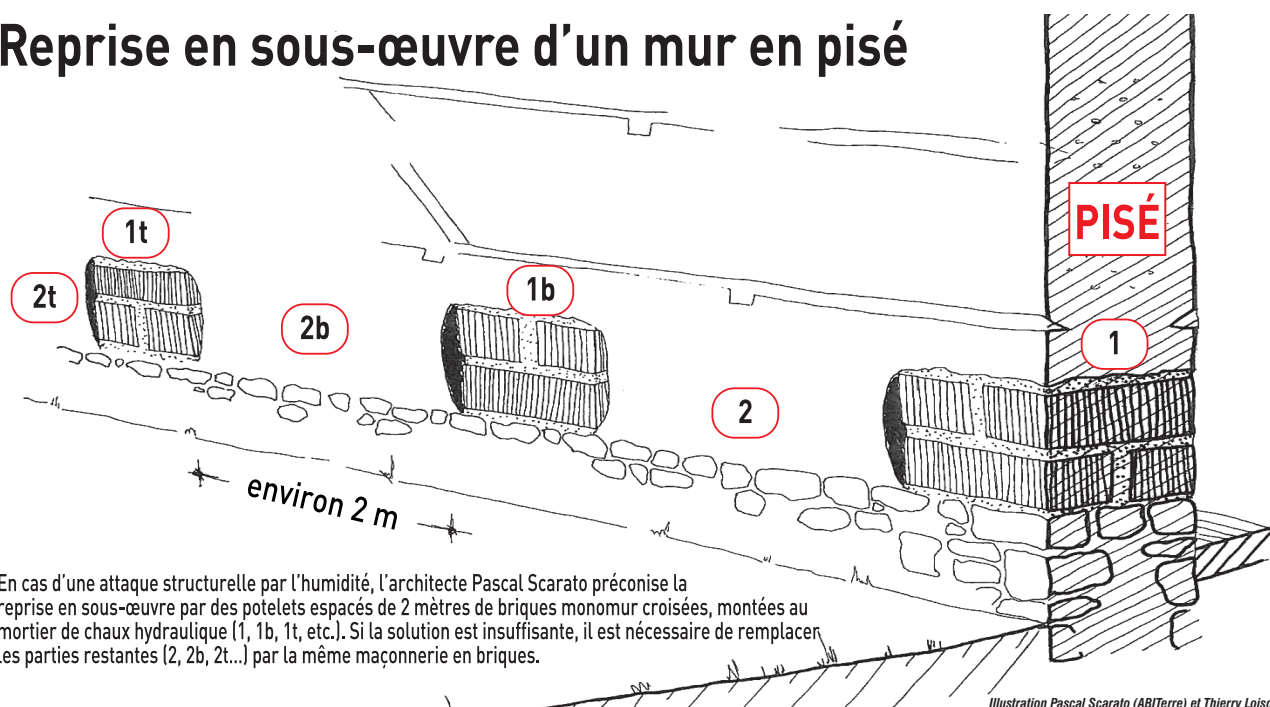
Tout ce qui concourt à laisser l'eau s'évaporer d'un mur en pisé prévient la pathologie humide. Le système constructif traditionnel du pisé utilise la perméabilité naturelle des matériaux. Le soubassement de pierres et mortier de chaux permet d'évaporer les remontées capillaires du sol s'il garde au minimum 50 cm de hauteur libre et reste sans enduit. Le mur en pisé ne doit jamais être au contact direct avec le terrain naturel. Côté extérieur, le mur pisé apparent ou enduit à la terre ou à la chaux naturelle sèche après la pluie et évacue une partie de la vapeur d'eau du logement. Côté intérieur, un enduit terre, chaux ou plâtre est indiqué pour conserver le confort lié aux qualités hygrothermiques du pisé. Le sol sans dalle ciment, couvert de carreaux en terre cuite, laisse évaporer les remontées humides du sous-sol. « Si un sol non perspirant est créé dans la maison, il doit être compensé par des drains ventilés dans un bon hérissonage », précise Jacky Jeannet, architecte de la SARL ABITerre. L'exposition des murs au soleil,

dont ils accumulent la chaleur dans leur masse, est favorable. La toiture débordante évite à la fois la pluie battante et la surexposition solaire en été, mais permet l'ensoleillement en hiver. La présence de chéneaux n'est pas indispensable pourvu que le bas du mur en terre soit bien hors de portée du rejaillissement grâce au soubassement. Les écoulements d'eau pluviale doivent être en bon état et déboucher sur un collecteur ou au moins sur une pente qui éloigne l'eau du mur, faute de quoi ils inonderont le mur localement. La végétation haute qui entretient ombre et humidité doit être éloignée des murs. L'artisan piseur Nicolas Meunier insiste : « Il vaut mieux ne pas avoir de chéneaux, ce qui répartit l'eau du toit tout le long des murs, plutôt que des descentes qui finissent au pied du mur, ce qui inonde le soubassement et entraîne le gonflement du sol, puis son retrait à l'assèchement, d'où des fissurations. »

Traitement des causes et des dommages

La restauration du bâti en terre ne sera pas durable sans traitement des causes de la pathologie humide. Il faut avoir une vue d'ensemble pour reconstituer l'environnement protecteur du mur, à commencer par un soubassement hors du sol. Dans le cas d'une humidification de courte durée, sans gel, le

Reprise en sous-œuvre d'un mur en pisé



En cas d'une attaque structurelle par l'humidité, l'architecte Pascal Scarato préconise la reprise en sous-œuvre par des potelets espacés de 2 mètres de briques monomur croisées, montées au mortier de chaux hydraulique (1, 1b, 1t, etc.). Si la solution est insuffisante, il est nécessaire de remplacer les parties restantes (2, 2b, 2t...) par la même maçonnerie en briques.

Illustration Pascal Scarato (ABITerre) et Thierry Loison

pisé peut sécher et retrouver sa résistance. C'est ce qui est observé dans les zones inondables. En revanche, Pascal Scarato observe que si l'humidification a duré longtemps, la déstructuration du pisé est devenue irréversible suite aux alternances gel-dégel. Les habitants des communes riches en pisé le savent : les murs s'écroulent en fin d'hiver, au dégel. Des solutions variées, adaptées à chaque cas, sont employées. Après étaieage et reprise des charges, le pisé peut être refait à neuf, avec la même terre : une nouvelle mise en œuvre avec malaxage-pisage redonne ses qualités au matériau. Quand la reprise en terre n'est pas envisageable, Pascal Scarato préconise la reprise en sous-œuvre par des potelets de briques monomur croisées, montées au mortier de chaux hydraulique, qui permet de reprendre les charges et d'évacuer l'humidité. Les potelets sont espacés de 2 mètres initialement, et non enduits pendant quelques mois (voir schéma ci-dessus). Cette reprise rapide à mettre en œuvre permet le retour des habitants chez eux deux semaines après leur évacuation. Si la solution ne suffit pas à redonner au pisé ses qualités, les parties restantes sont remplacées par la même maçonnerie en briques isolantes. Dans d'autres sinistres, plutôt que de chercher à restaurer absolument à l'identique « un mur pourri avec un trou », l'architecte a remplacé le trou par une ouverture avec un cadre rigide structurant. Une véranda peut aussi être une structure de renfort, dans une solution architecturale combinant traitement de la pathologie et amélioration du confort des habitants. Le mortier de terre à pisé éventuellement enrichi en graviers pour éviter les fissures de retrait, permet des reprises en sous-œuvre d'angles fragilisés, de trous et fissures. Les pathologies mineures de type érosion superficielle ou

dégradation peu étendue seront réparées par enduits ou mortier de terre ou de chaux [2]. Pour le traitement du pisé humidifié à cause du salpêtre, Martin Pointet de la Scop Caracol préconise, après résolution du problème originel de remontées d'eau, de poser en soubassement puis d'enlever plusieurs fois des enduits de terre « martyrs » qui capteront une partie du sel.

Un matériau sensible à son environnement

Le bâti en pisé est durable, mais sensible à son environnement. L'humanité a développé au fil des millénaires des architectures protectrices de ce matériau solide quand il est sec, mais fragile quand il est humide. En France, la transmission des savoir-faire indispensables à l'entretien de ce patrimoine a failli s'interrompre dans les années 1970, avec la fin de la génération des charpentiers-piseurs rescapés de la Grande Guerre. Une poignée de passionnés a recueilli à cette époque les connaissances des quelques maîtres-piseurs encore vivants pour les remettre en pratique. La quasi-disparition de la culture du patrimoine en pisé a conduit à l'accumulation de nombreuses erreurs techniques qui se payent aujourd'hui encore par de nombreux sinistres. Mais les avantages de ce matériau naturel en termes de confort hygrothermique, d'isolation phonique, d'énergie grise, ainsi que son esthétique, le remettent au goût du jour et en font l'objet d'une architecture et de recherches nouvelles. Si les connaissances développées maintenant par les artisans, les architectes, ingénieurs et chercheurs permettent d'inventer les constructions en terre de demain, la sauvegarde du patrimoine en pisé demande toujours un gros effort d'information du public et de formation des professionnels. ■

[2] Voir l'article publié dans le n° 134 de Qualité Construction (septembre-octobre 2012, pages 47 à 54).