



Pisé "technique": traditions, évolutions, résistances, innovations et projections

Hubert Guillaud, Patrice Doat, Arnaud Misse, Sébastien Moriset

► To cite this version:

Hubert Guillaud, Patrice Doat, Arnaud Misse, Sébastien Moriset. Pisé "technique": traditions, évolutions, résistances, innovations et projections. 2016. hal-01806106

HAL Id: hal-01806106

<https://hal.science/hal-01806106>

Submitted on 1 Jun 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Pisé “technique”: traditions, évolutions, résistances, innovations et projection

Hubert Guillaud, Patrice Doat, Arnaud Misse, Sébastien Moriset
Unité de recherche AE&CC
Architecture, environnement et cultures constructives
Laboratoire CRAterre
Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Grenoble

Introduction

La technique du pisé a été utilisée par les bâtisseurs depuis au moins trois millénaires, sans évolution majeure jusqu'au XX^e siècle. Une véritable révolution culturelle et technique s'est opérée après la Seconde Guerre Mondiale. Engagée en Australie, puis aux Etats-Unis d'Amérique avec l'emploi de nouveaux types de coffrages et outils de compactage de la terre, elle contribue alors au développement de nouveaux concepts architecturaux et systèmes constructifs agissant sur les espaces, la forme et la structure des ouvrages en pisé. Ce progrès de la technique a facilité d'autres étapes d'évolution vers la préfabrication de gros blocs et pans de murs en pisé répondant à un objectif de meilleure productivité sur les chantiers jusqu'alors très intensifs en main d'œuvre et de moins en moins compétitifs. Aujourd'hui, la « survie » de cette culture constructive millénaire qui valorise l'emploi direct de la terre « au pied du mur » semble être davantage exposée à la pression de l'impératif économique mais aussi à la rapide évolution des normes de construction (sécurité, énergie,...) qui pourraient s'opposer à la continuité du pisé. Simultanément, les récentes et nouvelles directions de la recherche fondamentale sur la matière terre, les innovations portées par la recherche et développement (R&D) en construction en terre crue qui expérimentent les bétons de terre coulée pourraient contribuer à accélérer un processus de disparition du pisé. Y a-t-il encore un possible avenir pour le pisé et pour quelles raisons valables et viables ? Nous revisitons ici cette trajectoire historique de la technologie du pisé, entre traditions, évolutions, résistances, innovations et posons les termes d'un argumentaire favorable à une nouvelle étape de projection.

1. Repères d'histoire du pisé

Le procédé de mise en œuvre de la terre crue par compactage dans des coffrages en bois est pratiqué depuis l'Antiquité. En région méditerranéenne, la communauté scientifique s'accorde aujourd'hui sur l'invention de ce procédé de construction en terre « massive » par les phéniciens qui fondèrent la colonie de Carthage en 814 av. n.è. sur les pentes des collines de Byrsa (site de Tunis). Ce qui n'exclut aucunement que ce procédé de construction en terre ait pu être aussi imaginé sous d'autres latitudes, en d'autres cultures et à d'autres époques, ou transféré (Amérique latine, Etats-Unis, Australie). Mais, sur cette question, aucun bilan exhaustif n'a encore été fait. A Carthage, bien que la construction ait été reconnue comme de nature très éclectique, associant plusieurs matériaux

(pierre et terre notamment) en remplissage d'un système à piliers maçonnés (*opus africanum*), le pisé est resté couramment utilisé jusqu'à la destruction de la cité par les Romains, comme l'ont montré les rapports des fouilles menées par Serge Lancel et Jean-Paul Thuillier (1979 et 1982). Le fonds méditerranéen nord africain de la culture du pisé était « posé » et influença sans aucun doute les pratiques romaines dont font ensuite état les écrits de Varron (*De Res Rusticae*, I, 14, 40) au 1^{er} siècle av. n.è., de l'agronome espagnol Columelle (*De Re Rustica*, X, 1,2 et XI, 3,2), au 1^{er} siècle de n.è. et jusqu'au 5^{ème} siècle avec Palladius (*Opus Agriculturae*, I, 34). Il sera réapproprié par de nombreux auteurs ibériques qui témoignent d'une grande culture architecturale épanouie en Espagne (Isidore de Séville, fin 5^e, début 6^e siècle ap. n.è.), puis aux époques maures (Al Razi, Al Bakri, Al Himrayi, Ibn Jaldùn et d'autres), comme en témoignent les travaux de l'historienne de l'Art Juana Font Arrellano (2007). Ces textes sont aujourd'hui connus des chercheurs intéressés par le sujet mais on doit relever que la dimension « technique » du pisé, n'a pas été toujours précisément décrite. Avec la Renaissance, Léon Battista Alberti (*De Re Aedificatoria*, Livre III, trad. J. Martin, 1553, p. 48-49) reste aussi peu disert sur cette dimension comme d'ailleurs le seront Charles Estienne et Jean Liébault dans leur fameux traité de *La Maison Rustique ou l'économie générale des biens de la campagne* (1564 et nombreuses rééditions aux cours des deux siècles suivants). Le propos avantageux sur le pisé reste surtout « économique ». Ce sont les discours et essais savants des Académies des Sciences, Arts et Belles Lettres qui se multiplient en Europe au XVIII^e siècle, et les premiers traités d'architecture rurale produits au cours de la deuxième moitié de ce même siècle, qui traduisent un intérêt plus « technique ». Peut-être car s'agit-il alors d'être « au pied du mur » pour améliorer la solidité et la salubrité des constructions rurales en majorité faites de bois et torchis, à toitures en bâtière de chaume, très exposées aux incendies (arguments valorisés alors). Le *Mémoire sur la construction des murs en terre* de Guillaume-Marie Delorme lu à Amiens le 17 mars 1745, étonnement précis sur la description du pisé, précède d'autres écrits dont certains désormais fameux comme *Le Cours Complet d'Agriculture* (1786) de l'Abbé Rozier (1734-93) dans lequel l'architecte lyonnais François Boulard donne une description plus « méthodique » (à la demande de l'Abbé) de la technique (qualité de la terre, outillage et procédé de mise en œuvre). Suivra *l'Art du Maçon Piseur* (1772) de Georges-Claude Goiffon qui, cette même année, publiait un rapport sur le pisé dans *Le Journal de Physique* que venait de racheter en 1771 le même Abbé Rozier. François Cointeraux avec ses trois fameux *Cahiers d'école d'architecture rurale* (1790 et 1791) s'inscrira dans cette longue lignée d'essais sur le pisé qui sera considéré à l'égal d'autres matériaux et techniques de construction dans le *Traité de l'Art de Bâtir* (1817) de Jean-Baptiste Rondelet (1743-1829) décrivant la méthode lyonnaise et dauphinoise. C'est à partir de ce fonds méditerranéen antique et moderne, puis européen et plus largement international (traductions des cahiers de François Cointeraux ¹) que le modèle technique du pisé traditionnel, passant les siècles,

allait assurer sa permanence jusque dans des pays et continents éloignés (Australie, Etats-Unis) mais sans remise en question ni innovation fondamentale, acceptant quelques variantes régionales ou locales. La Révolution industrielle du XIX^e siècle entamait un processus de déclin du pisé technique « traditionnel » qui sera plus tard accéléré en France avec l'extermination des charpentiers piseurs (boiseurs des tranchées) lors de la Première Guerre Mondiale et abouti dans les années 1950. Aujourd'hui, cette technique traditionnelle, dans sa forme intensive, demeure essentiellement dans les régions en développement où la main d'œuvre reste bon marché. Ce n'est qu'à partir de la fin des années 1970 qu'un renouveau s'opère, sur fond des deux crises de l'énergie successives (1973 et 1979). Un processus de nouvelles expérimentations et d'innovation, liant étroitement technique et économie, développe alors de nouveaux types de coffrages grimpants aux Etats-Unis (Miller et Miller 1980), des techniques de préfabrication de blocs (Meunier 1987) ou de portions de murs trumeaux (Rauch 2001) visant à abaisser les coûts d'exécution dans des régions à main d'œuvre chère, ou encore des coffrages spéciaux pour la reconstruction en région à risque sismique (Minke 2001). Aujourd'hui, les entreprises qui souhaitent continuer à construire en pisé dans les pays industrialisés se heurtent au handicap économique de la technique (coût élevé de la main d'œuvre) et à l'étroitesse du marché, cela malgré de nouveaux arguments écologiques en faveur du procédé de construction. En effet, si les arguments économiques restent plus que jamais très influents, les arguments énergétiques semblent prendre le dessus avec le paradigme du développement durable. Ce sont les propriétés thermiques (masse et inertie) et régulatrices du confort (transferts hydriques, changement de phase) qui sont mises en valeur. On se dirige aussi vers l'utilisation du pisé en enveloppe ou « peau » externe et interne réalisée en petits éléments moulés mais plus encore vers de nouvelles techniques de construction en terre massive à partir de bétons de terre coulée dès lors que seront mieux maîtrisés les paramètres rhéologiques (coulage de la matière). Hors les régions du monde où le pisé traditionnel demeure « viable » (coût inférieur de la main d'œuvre), l'hybridation des matériaux et des systèmes constructifs s'impose et fait l'objet de programmes de recherche et développement (Grands Ateliers de Villefontaine, Isère ; entreprises déposant de nouveaux brevets) comme de réalisations résolument contemporaines (Etats-Unis, Australie, Corée du sud, pays européens). Ainsi s'ouvrent de nouvelles perspectives techniques, économiques, constructives et architecturales qu'annoncent les nouveaux bétons d'argile. Ceux-ci pourraient bien faire disparaître le « vieux pisé » au profit d'un réel « nouveau pisé » dont rêvait François Cointeraux qui fut aussi le précurseur du bloc de terre comprimée.

2. Permanences, évolutions et innovations techniques

2.1 Un substratum sémantique et technique à la fois universel et particulier

Dans des recherches précédentes, nous avons abordé les filiations sémantiques de la nomenclature de la technique (Guillaud 2007 ; Aurenche *et alii*. 2011). Nous relevons seulement ici l'importance de la filiation arabe à partir des vocables *otob* et *toub* qui donnaient *tabîya* utilisé en Ibérie par les Maures, désignant le pisé d'un remarquable patrimoine populaire, militaire et savant qui compte parmi les plus beaux ensembles architecturaux tel l'Alhambra de Grenade ou de nombreuses fortifications médiévales, de Murcie en Estremadura ou Andalousie. Cette filiation arabe influençait directement l'espagnol et le portugais modernes avec les termes *tapia*, *tapial*, *taipa* mais aussi la langue d'oc avec *tàpie*, *tepa*, *tépe* et autres déclinaisons dans la toponymie et patronymie de l'aire franco-provençale (Baudreu 2007). Quant à *pisay*, *pisey*, *pisé* (Diderot et D'Alembert 1775-77), c'est bien au vocable latin *pinsare* (battre, tasser, aplanir les mortiers avec la *fistuca* ou pilon) qu'il faut se référer avec, là encore, de nombreuses déclinaisons en aire occitane du sud de la France comme le montrent les recherches de Baudreu (*Ibid*). Ailleurs dans le monde, se sont des vocables propres aux langues vernaculaires et modernes qui désignent la technique. On reconnaît par ailleurs l'existence d'un substratum technique que partagent les différentes cultures constructives du pisé qui existent dans le monde, que ce soit en Europe, en Amérique latine, en Asie, ou même en Afrique du Nord, principales régions où a été, et demeure pratiquée, la construction en pisé. Pour autant, la dimension « universelle » du pisé se décline aussi en spécificités ancrées dans la diversité des identités culturelles situées. Pour ce qui est du contexte européen, la description technique du pisé dans les écrits anciens, et même modernes, est restée très sommaire, ne donnant que peu d'indication sur la qualité des terres employées, sur le procédé de compactage en couches successives, sur la description des coffrages le plus souvent réduite à la désignation de simples planches. Les premières descriptions plus précises, et illustrées, étaient données par les essais publiés sur le pisé, à la fin du XVIII^e siècle, puis par quelques traités de construction du XIX^e siècle que l'on a précédemment repéré. Enfin, ce sont des ouvrages plus récents, publiés à partir de la fin des années 1970 et jusqu'à ce jour qui décrivent de façon très précise le procédé de construction en pisé, les types de terres utilisées, les outils de coffrage et de compactage, les étapes de mise en œuvre, etc. Au-delà des premiers ouvrages de référence (Doat *et alii* 1979 ; Houben, Guillaud 1989), la littérature produite par la suite, en espagnol, portugais, anglais, allemand, constitue désormais un corpus abondant mais qui demeure non fondamentalement renouvelé.

On rappellera brièvement ici les caractères universels de la technique que l'on déclinera dans ses formes historiques traditionnelles qui perduraient sans évolution jusqu'aux époques modernes pour être enfin renouvelées par des innovations technologiques au cours de ces quarante dernières

années, seulement ! Il s'agit bien d'une nouvelle étape historique d'évolution pour le pisé, sur fond de pression économique (coûts de la main d'œuvre intensive, productivité), sur arrière-plan de préoccupations environnementales mondialement partagées, qui impactent directement, et pourraient desservir, l'intérêt populaire, social et économique que la technique a conservé pendant sa longue histoire d'utilisation. Une évolution qui modifie aussi les grands caractères constructifs et architecturaux anciens, agissant notamment sur la structure, la forme et la composition de l'espace. Ainsi, dans cette étape d'évolution, la survie de l'emploi du pisé semble devoir imposer une évolution beaucoup plus radicale des modes de conception et de construction, une nouvelle imagination et intelligence constructive et architecturale valorisant l'association du pisé – mais aussi d'autres matériaux de construction en terre tels que briques crues, bauge, terre-paille et torchis - avec les matériaux industriels. Cette nouvelle étape d'évolution semble pouvoir être en mesure de mieux exploiter des qualités et des performances beaucoup plus spécifiques de la matière et du matériau telle que la texture, la couleur des grains de terre, les qualités énergétiques (économie d'énergie grise) ou de confort ambiant (régulation hygrothermique). Par ailleurs, les récentes recherches sur la matière en grains (Fontaine, Anger 2010) ouvrent d'autres perspectives, avec les bétons de terre coulée, qui pourraient même contribuer à une récession, voire une disparition de cette technique millénaire ne répondant plus, dans une économie de « marché », à des impératifs de rentabilité économique et comptable en coût de main d'œuvre comme d'énergie et fatigue de travail pour les ouvriers piseurs.

2.2 Caractères universels d'une culture constructive : savoir et savoir-faire partagés

Confrontés à un ensemble élargi de points de vue qui se croisent pour classer les différents emplois de la terre dans les constructions, et devant la difficulté à pouvoir les combiner, Olivier Aurenche *et alii* (*Ibid*) ont proposé un « essai de classification par mise en œuvre sur le chantier » qui est fondé sur la notion de « terre à bâtir ». Les auteurs distinguent quatre entrées dont celle de la terre « massive » qui correspond à la fois à la terre empilée, ou bauge, à la terre empilée coffrée, ou bauge coffrée, et bien sûr à la terre damée coffrée, ou pisé. Si l'on retient ici les caractères universels du procédé de construction en pisé, largement partagés par les différentes cultures constructives identifiées dans le monde, on peut aisément isoler trois éléments caractéristiques : la nature du sol ou de la terre « brute » le plus couramment utilisée par les bâtisseurs, la nature de l'outillage - ou coffrage - et le procédé de mise en œuvre par compactage de la terre en couches successives, dans le coffrage.

Ainsi, au vu des analyses de texture en laboratoire, les terres à pisé sont-elles plutôt de nature sableuse, riches en graviers, voire caillouteuses, et finalement assez peu argileuses. Elles sont le

plus souvent dépourvues de végétaux étant prélevées sous la surface herbeuse. Ce sont des terres que l'on dit couramment être « de structure » que l'on ne peut facilement mouler car insuffisamment plastiques. Ce qui les distingue des terres employées pour la bauge ou pour la brique crue (ou adobe). Elles sont mises en œuvre à leur état d'humidité naturelle, soit à une teneur en eau peu élevée, ce qui là encore est une distinction essentielle vis-à-vis des terre moulées ou façonnées en place (adobe et bauge). Leur compactage en couches successives, dans le coffrage, se fait à l'aide d'un pilon, d'une dame ou pisoir, pièce de bois massive, lestée d'un manche également en bois. Les formes de cet outil sont variées selon les cultures régionales et locales ².

Le coffrage le plus couramment employé consiste en deux banches faites à partir de planches en longueur solidarisiées au moyen de traverses verticales clouées (en parement extérieur du coffrage). Ces banches sont posées sur des pièces en bois (rondins ou chevrons), plus récemment en métal (tubes, fers plats), que l'on dénomme couramment « clés », disposées horizontalement sur la base des murs puis sur les banchées réalisées. Pour résister à la pression du compactage de la terre dans le coffrage, les banches sont maintenues en leur parement extérieur par des petits poteaux solidarisiés aux supports horizontaux en bois (le plus souvent par un assemblage à tenons et mortaises calés par des coins en bois). En intérieur du coffrage et en partie haute, un morceau de bois est calé qui donne l'épaisseur du mur et que les dauphinois appellent justement « gros du mur ». Des cordages torsadés reprennent la partie haute des poteaux extérieurs et participent du dispositif de résistance à la pression de compactage et au maintien du coffrage en place. Ce type de coffrage, élaboré au fil du temps, a été successivement décrit à la fin du XVIII^e siècle par les auteurs que nous avons cités *supra*, J.C. Goiffon, F. Boulard, F. Cointeraux et J.B. Rondelet (Fig. 1). Nous avons étudié l'influence internationale de François Cointeraux (Guillaud 1997), ainsi que d'autres chercheurs (Cellauro et Richaud 2006), à partir des traductions de son *École d'architecture rurale, premier cahier* (1790), d'autres adaptations par les encyclopédistes, qui ont beaucoup contribué à la diffusion du modèle technique traditionnel vers d'autres contrées lointaines (Etats-Unis, Australie). Cet outillage, qui est identique dans la tradition ibérique comme au Maghreb (Maroc, Algérie), hérité des pratiques arabes et maures, avait été précédemment transféré vers l'Amérique latine, au-delà de la colonisation du « Nouveau Monde », à partir du XVI^e siècle (Colombie, Brésil, Venezuela).

L'autre variante de coffrage traditionnel a été aussi décrite par François Cointeraux comme par le Comte de Lasteyrie du Saillant (1820). Il s'agit de la méthode dite du « Bugey » et de la méthode « iséroise » (départements français de l'Ain et de l'Isère), consistant en un procédé de maintien des coffrages – qui sont identiques à ceux précédemment décrits – par de hautes perches ou troncs

équarris fichés profondément dans le sol et maintenus en leur partie basse par des jambes de force posées en appui. Dans ce dispositif, le coffrage est toujours déplacé dans le sens horizontal. Ce procédé a également été repéré dans la tradition chinoise. Mais, dans ce cas, le déplacement du coffrage se fait en progression verticale et les murs de pisé sont réalisés en portions de trumeaux successifs. On peut encore l'observer sur le plateau du Tibet dans la région de la Réserve naturelle des sources des trois rivières. Toutefois, les bâtisseurs en pisé tibétains ont abouti ce procédé, et son exploitation optimale, en imaginant un type de coffrage à la fois intégral et grim pant qui mobilise pour la construction plusieurs équipes travaillant en simultané. Ce sont bien là les deux visages historiques et traditionnels de la technique du pisé qui ont maintenu leur permanence au fil des siècles et dans des territoires éloignés les uns des autres, sans grand changement, quelles que soient les variantes culturelles régionales et locales.

2.3. Le pisé, d'évolutions techniques en innovations : vers une autre culture constructive et architecturale

L'introduction récente de l'emploi du coffrage intégral, directement dérivé de la technologie du béton, ne change pas fondamentalement le procédé de mise en œuvre du pisé en masse continue et monolithique. La seule différence est la possibilité d'un décoffrage immédiat, en faveur du pisé, ce qui permet une mobilisation moins importante de coffrages. L'évolution remarquable est celle qui tend à faire disparaître la progression horizontale du coffrage au profit de la progression verticale, en privilégiant la construction d'éléments de murs séparés, en dissociant le plein (maçonnerie de pisé) du vide (baies ou autres éléments de construction occupant ces vides). Cette tendance est particulièrement développée dans la construction en pisé nord américaine et australienne, avec de nouveaux types de coffrages grim pants qui étaient inventés par Jurgenssen en Australie à partir de projet réalisés sur la communauté d'Eltham, en périphérie de Melbourne (Middleton 1953), puis par David Miller (1980) aux Etats-Unis. Ces coffrages deviennent plus largement adoptés en Europe. Enfin, imaginée il y a seulement à peine vingt ans (Meunier 1987 ; Rauch 2001) la préfabrication d'éléments de murs en pisé, *in situ* ou en atelier, peut être considérée comme une véritable révolution. Pour autant, cette évolution est contestée par un écologisme radical lorsque les panneaux de murs sont faits en atelier, puis transportés sur les chantiers (coût énergétique du transport). Relevons aussi que d'autres types de coffrages spéciaux, répondant à des objectifs d'amélioration de la productivité de mise en œuvre, ou pour des applications du pisé en zones sismiques (Minke 2001), ou encore pour réaliser des éléments constructifs particuliers, tels que parties de murs en forme de « L », de « T » ou de « U », ont été également développés (Middleton, *Ibid*) (Fig. 2). Leur emploi semble avoir été limité à des constructions expérimentales ~~ou pilotes~~. Dans ce paysage d'évolutions créatives, qui tentent d'actualiser la technologie pour répondre à d'autres impératifs

socioéconomiques, que l'on aura ici brossé sommairement, il nous arrive souvent de penser que la mise en œuvre traditionnelle du pisé, telle que l'on peut encore l'observer dans les vallées présahariennes ou dans les hauteurs de l'Atlas, au Maroc, demeure d'une intelligence et d'une efficacité réellement exceptionnelles. En effet, rarement nous avons observé autant de facilité à bâtir des murs en pisé au moyen d'un outillage parfaitement adapté à l'effort physique, et si aisé à transporter, manipuler. C'est pourtant ce procédé que de nouvelles exigences normatives (sécurité) tendent à contester et exclure.

Il nous semble par contre plus important de relever l'impact de l'évolution de la technologie du pisé sur la conception des structures et sur la composition de l'espace, ainsi que les nouvelles exploitations des qualités esthétiques et énergétiques du matériau.

Dans une publication précédente (Guillaud *et alii* 1987), nous avons proposé une typologie des systèmes constructifs en pisé qui mettait en relation cinq principaux facteurs agissant sur la conception architecturale, la structure, l'espace et la forme. Il s'agissait du module de la « banchée » de pisé, des concepts de structure (enveloppe monolithique traditionnelle, murs à redans et contreforts, murs trumeaux indépendants juxtaposés), des types d'ouvertures (soit percées dans la masse, soit occupant un vide entre deux panneaux de murs en pisé auto stables ou entre murs trumeaux), des ressources du plan agissant sur la composition de l'espace (soit un espace « contenu » par l'enveloppe monolithique, soit un espace « cerné » par des « frontières », soit un espace fluide, « délimité »), et enfin du rapport aux types de couvertures (toitures sur charpentes traditionnelles, voûtes et coupes, et terrasses). Cette typologie reste toujours valable en référence à l'histoire de la culture constructive du pisé et son évolution. Pour autant, les tendances les plus récentes - au-delà du *continuum* des pratiques traditionnelles qui demeurent en certaines régions du monde, au-delà de certaines attaches culturelles et identitaires, voire folkloristes, qui attachent l'élan contemporain à ces traditions et à leurs représentations ou modèles constructifs et architecturaux - semblent réduire considérablement cette typologie des systèmes constructifs dans la production d'une nouvelle architecture de pisé. C'est ce que l'on peut observer aux Etats-Unis, en Australie, en Corée du Sud et sur quelques plus rares projets européens (France, Allemagne, Portugal, Espagne). En effet, la tendance actuelle semble se diriger vers deux directions. Soit dans le sens d'une conception constructive et architecturale « hybride » où se mêlent tradition et contemporanéité, notamment sur le rapport entre la structure et l'espace - projets de Rick Joy en Arizona, au désert de Soñora (2002) -, soit vers une véritable « libération » du plan en privilégiant l'auto stabilité des murs indépendants et panneaux trumeaux, et en exploitant les ressources des frontières et des limites de l'espace (projets de Jones Studio aux Etats-Unis). Par ailleurs, sur de

plus récents projets, mais encore rares, l'approche par l'hybridation dépasse le seul rapport entre structure et espace, tradition et volonté d'expression contemporaine. Elle valorise aussi de nouvelles logiques constructives qui associent le pisé à d'autres matériaux naturels : torchis ou terre-paille, briques de terre crue ou blocs de terre comprimée pour des cloisonnements intérieurs. On observe aussi une tendance à la limitation volontaire de l'emploi du pisé, qui valorise préférentiellement la performance énergétique du matériau (masse et inertie thermique). Ainsi, quelques récents projets en bottes de paille enduites en terre ont en effet intégré dans l'espace intérieur de gros murs en pisé qui contribuent à la régulation efficace du confort hygrothermique (stockage de calories, restitution en déphasage, changement de phase et évaporation). D'autres recherches et expérimentations développées dans le lignage de la préfabrication visent la conception d'enveloppes ou de « peaux », intérieures ou extérieures, en petits éléments de pisé préfabriqués utilisés en hourdage d'ossatures bois ou en métal (prototype « Armadillo Box du Solar Decathlon 2010 ») (Fig 3). Mais, la fragilité des éléments lors de leur manutention sur les chantiers n'est pas encore résolue sans stabilisation excessive. Enfin, pour quelques chantiers où le linéaire de murs en pisé est très important, des solutions de coffrages sur rails et vérins de levage, en double progression horizontale et verticale, ont été imaginées et testées (projets de l'architecte sud-coréen Guen Shik Shin, 2010) (Fig. 4).

Nous devons aussi relever l'intérêt esthétique des concepteurs de projets en pisé qui valorisent la texture, le « grain » et les couleurs de la matière (couches de couleurs ou de texture à taille de grains différentes). Dans ce domaine, Martin Rauch, en Autriche, fut aussi un « passeur ».

Dans cette synthèse, nous souhaitons aussi brièvement évoquer la question cruciale des pratiques de restauration et réhabilitation du bâti ancien en pisé aujourd'hui confrontées à une exigence de bilan énergétique global que porte l'objectif du « facteur 4 », imposé par les récents labels et la nouvelle norme thermique, soit une réduction par quatre de la consommation d'énergie, ou un bilan équivalent à 50 Kw/h/m²/an, voire moins, encore. Cette exigence oblige à développer de nouvelles solutions d'isolation thermique des maçonneries en pisé qui impactent directement la mise en valeur du matériau, l'esthétique du bâti en pisé, la visibilité de la matière, de sa texture et coloration, notamment pour l'option de l'isolation en parement extérieur, même si, dans beaucoup de contextes, le bâti ancien en pisé a pu être souvent enduit à la chaux. La double option entre isolation extérieure ou intérieure n'est pas encore tranchée car les études thermiques restent encore divisées. Les recherches de solutions semblent aujourd'hui privilégier l'emploi de matériaux naturels compatibles avec le pisé tels que panneaux de roseaux enduits de terre, panneaux de terre-chanvre, briques de chanvre, intégration de systèmes de chauffage et de refroidissement dans l'épaisseur de doublages en panneaux de terre-chanvre ou terre-paille (Figs.5a, 5b et 5c). Cette approche a fait

l'objet de propositions dans le cadre d'une récente exposition intitulée « Habiter la terre », présentée dans le cadre du Festival « Grains d'Isère 2010 » que propose chaque année CRAterre aux Grands Ateliers de Villefontaine, Isère.

2.4. Nouvelles explorations de la science : vers les bétons de terre coulée

Les récentes recherches fondamentales sur la matière terre développée par le laboratoire CRAterre en association avec l'ESPCI de ParisTech (Laboratoire PPMD SIMM) et l'INSA de Lyon (laboratoire MATEIS) montrent que la terre est, naturellement, un matériau à « changement de phase ». Cette qualité justifie notamment la sensation de confort saisonnier des maisons en pisé que la vulgate populaire décrit comme étant chaudes en hiver et fraîches en été (phénomène de condensation et évaporation de l'eau contenue). Par ailleurs, ces recherches montrent aussi que cette eau contenue joue un rôle mécanique essentiel en agissant comme « colle » des argiles, assurant la cohésion du matériau. De ce fait les chercheurs s'orientent vers deux directions. D'une part pour mieux faire fonctionner les murs en terre comme accumulateur et déphaseur d'énergie, et d'autre part pour une meilleure maîtrise des modèles d'empilement des grains (de l'empilement apollonien à l'empilement « espacé »), et des propriétés rhéologiques du coulage de la matière. Cela en vue de développer un béton de terre coulée. La recherche s'oriente donc vers une liquéfaction et solidification des boues d'argile en agissant sur le milieu aqueux acide ou basique, sur la salinité, ou encore sur la présence de molécules organiques, de façon à agir sur la viscosité. La maîtrise de ces aspects doit aussi intégrer le contrôle du retrait linéaire et la rapidité du séchage, notamment en épaisseur du matériau. Les expérimentations récemment faites sont très encourageantes et augurent le développement de ces nouveaux bétons « verts ». D'autres voies de recherche considèrent la propriété naturelle de durcissement à l'air (induration par oxygénation) de certains types de terres de la famille des latérites qui implique une maîtrise du phénomène d'oxydo-réduction contribuant à la précipitation, concentration et cristallisation de nouveaux constituants, les sesquioxides. Enfin une toute autre direction de recherche explore la possibilité d'une consolidation organique, à partir de molécules végétales ou animales, principes déjà développés par beaucoup de cultures constructives traditionnelles, mais peu explorés scientifiquement. Il s'agit de l'ajout de paille riche en cellulose, d'huiles végétales, de macération de graines, gousses ou cosses, écorces, d'excréments et urine d'animaux, de caséine, procédés qui libèrent des biopolymères comme le confirme la physico-chimie. Avec ce développement d'une recherche fondamentale visant à mieux connaître ces processus de stabilisation ou consolidation de la matière terre, d'autres révolutions techniques sont en marche.

2.5. Argumentaire en faveur du pisé

Les perspectives offertes par la recherche fondamentale sur la matière en grains qu'est la terre crue, méritent d'être revisitée au prisme d'un argumentaire favorable au *continuum* historique de la culture constructive du pisé. Cet argumentaire a été proposé dans une récente publication conjointement réalisée par le Parc naturel Livradois-Foréz et CRAterre (Moriset *et alii* 2011). Il relève une dizaine de points d'intérêt pour la construction en pisé, autour des quatre piliers du paradigme de développement durable, soit le culturel, l'économique, le social et l'environnemental. Nous nous situons là dans une grande tradition d'argumentation « militante » que François Cointeraux et bien d'autres auteurs ont précédemment exploité. Voici ces dix points d'intérêt, brièvement énoncés, car cela mériterait un plus long exposé :

- a) Le plus souvent bien intégrée dans les territoires régionaux, l'architecture vernaculaire en pisé exprime une grande part de leurs identités. Réhabiliter ce patrimoine et continuer à construire en pisé contribue au maintien d'un enracinement de l'architecture dans le paysage.
- b) L'architecture des bâtiments en pisé est parfois remarquable (manoirs bourgeois, patrimoine industriel, religieux, habitat rural, urbain,...) et témoigne de l'histoire de la culture constructive des territoires, de la vie et de l'économie des sociétés. En cela elle joue un rôle culturel de premier plan.
- c) Ancienne ou récente, l'architecture en pisé témoigne de savoirs et savoir-faire élaborés qui méritent d'être préservés. Entre traditions et contemporanéité, rénovation et construction neuve, une mise en valeur inventive de la culture constructive est possible.
- d) Le matériau terre est une ressource abondante des territoires. Cette terre à bâtir demande peu de transformation et peu d'équipements pour sa mise en œuvre en construction.
- e) La construction en pisé est propice à l'auto-construction ou l'auto-finition permettant en cela de réduire les coûts de production.
- f) La recherche et le développement de la filière terre soutiennent l'économie locale par la création d'entreprises spécialisées et génèrent du travail dans les secteurs de la rénovation du patrimoine et de la construction neuve. La plus grande partie du coût d'un mur en pisé correspond au salaire de la main d'œuvre qui est reversé localement.
- g) La construction en pisé est propice à des actions sociales. Elle s'adapte bien à des chantiers de formation, d'insertion et à des entraides conviviales telles que les chantiers participatifs.
- h) Les murs en pisé participent au confort hygrothermique et régulent l'ambiance intérieure des habitations, contribuant au bien-être des habitants.
- i) La construction en pisé consomme très peu d'énergie grise. En cela, elle contribue à la réduction de l'empreinte écologique sur l'environnement.

- j) L'analyse du cycle de vie montre que la terre crue est le matériau le moins émetteur de gaz à effet de serre et donc sans influence négative sur le changement climatique.

Cet argumentaire concis en dix points d'intérêt pour le pisé pose les jalons d'une réflexion qui doit être approfondie, bien plus étayée, nuancée, en se donnant pour objectif la mise en forme d'une déclaration des valeurs et de la signification culturelle de l'architecture de terre au regard des défis culturels, sociaux, économiques et environnementaux auxquels l'humanité est désormais confrontée.

3 - CONCLUSION

Il semble que nous ayons davantage de faits visibles, dans les pratiques du projet en pisé, comme dans l'évolution des recherches, qui puissent accréditer l'apparition d'une nouvelle culture constructive et architecturale de la terre « massive ». Le compactage et le coulage de la terre pourront-ils cohabiter ? Cette nouvelle culture du « béton de terre » (pisé et terre coulée) ne serait alors pas seulement issue de formes de résistances sociales et culturelles, nostalgiques, voire folkloristes, mais pourrait bien être le fruit d'une véritable créativité face à de nouveaux défis de société qu'imposent le paradigme du développement durable et un état général de crise de société. Il faut alors espérer que cette « renaissance » ne soit pas uniquement portée par des arguments trop exclusivement techniques et économiques, ou cadrée par la « norme » (énergétique notamment) mais qu'elle puisse instruire un autre rapport à l'humain et contribuer à la réconciliation de l'homme et de la nature comme l'a proposé Michel Serres (2003) avec son « contrat naturel ». D'autres conditions restent indispensables : la valeur du travail doit être à nouveau mieux reconnue et supplanter la valeur marchande de l'argent. Une autre politique devrait valoriser plus concrètement l'impératif écologique et redonner de la « valeur » aux matériaux « naturels » dans le secteur de la construction. On aura aussi compris ici la place de l'innovation sociale et culturelle que constitue le rétablissement d'un rapport humain au travail, les bénéfices directs de la valorisation des ressources locales des territoires (savoirs et savoir-faire), le retour de l'auto-production et de l'auto-construction pour des formes nouvelles d'habitat (coopératif, groupé). Mais aussi les effets du faire « mieux avec le moins » qu'ont appelé de leur vœux les idéologues de l'écologie politique et de la décroissance (Gorz 2008). Ces évolutions pourraient bien être favorable à un intérêt retrouvé pour le pisé, et plus largement d'ailleurs pour la construction et l'architecture en terre.

Notes

1 Sur l'influence européenne et internationale de François Cointeraux, se reporter à Hubert Guillaud, *François Cointeraux 1730-1840, pionnier de la construction en pisé en Rhône-Alpes*,

Grenoble, CRAterre, 1997 ; et à Louis Cellauro et Gilbert Richaud, *François Cointeraux's Ecole d'architecture rurale (1790-91) and its influence in Europe and the colonies*, Architectural History, 49, Cambridge, 2006, p.129-148

2 – On peut observer en Amérique latine, au Pérou, dans les régions andines, des piseirs lestés de deux manches en bois avec des masses de compactage très volumineuses.

Bibliographie

Olivier AURENCHE *et alii*. Essai de classification des modalités de mise en œuvre de la terre crue en parois verticales et leur nomenclature, **dans** *Echanges transdisciplinaires sur les constructions en terre crue (3). Les cultures constructives de la brique crue*. Montpellier, L'Espérou, 2011, p. 13-34.

Dominique BAUDREU, Essai d'approche lexicographique des constructions en terre massive en domaine occitan et franco-provençal, **dans** *Echanges transdisciplinaires sur les constructions en terre crue (2). Les constructions en terre massive, pisé et bauge*. Montpellier, L'Espérou, 2007, p. 39-52.

François COINTERAUX, *Ecole d'architecture rurale; quatrième cahier dans lequel on traite du nouveau pisé inventé par l'auteur ; de la construction en terre de ses outils, etc. Ouvrage dédié aux français, et utile aux autres nations*, Paris, chez l'auteur, novembre 1791.

Louis CELLAURO, Gilbert RICHAUD, François Cointeraux's École d'Architecture Rurale (1790-91) and its influence in Europe and the Colonies, dans *Architectural History* 49, Cambridge, 2006, p. 129-148

Denis DIDEROT, Jean Le Rond D'ALEMBERT, Pisay, pisey, pisé, *L'Encyclopédie*, supplément en 4 volumes, Paris, 1775-77, p. 384-385.

Patrice DOAT *et alii.*, *Construire en terre*, Paris, Alternatives et Parallèles, 1979.

Juana FONT ARRELLANO, La *tapia* dans les textes hispaniques, dans *Les constructions en terre massive pisé et bauge, Echanges transdisciplinaires sur les constructions en terre crue. 2*, Montpellier, l'Espérou, 2007, p. 53-69.

Laetitia FONTAINE, Romain ANGER, *Bâtir en terre*, Paris, Belin, 2010.

André GORZ, *Écologica*, Paris, Galilée, 2008.

Hubert GUILLAUD *et alii.*, *Marrakech 87 Habitat en terre*, Grenoble, CRAterre, 1987.

Hubert GUILLAUD, *François Cointeraux 1730-1840, pionnier de la construction en pisé en Rhône-Alpes*, Grenoble, CRAterre, 1997.

Hubert GUILLAUD, Evolution de la culture constructive et architecturale du pisé, dans *Echanges transdisciplinaires sur les constructions en terre crue (2). Les constructions en terre massive, pisé et bauge*. Montpellier, L'Espérou, 2007, p. 277-310.

Hugo HOUBEN, Hubert GUILLAUD, *Traité de construction en terre*, Marseille, Parenthèses, 1989.

Rick JOY *et alii*, *Desert works*, New York, Princeton Architectural Press, 2002.

Serge LANCEL (dir.), *Mission archéologique française à Carthage, rapports préliminaires des fouilles (1974-1975)*, vol. 1, Byrsa I, vol. 2, Byrsa II, Rome, 1979 et 1982 (Collection de l'Ecole Française de Rome, 41).

Charles Philibert de LASTEYRIE DU SAILLANT, *Collection de machines, d'instruments, ustensiles, constructions, appareils*, 2 vol., Planche 7, Paris, 1820.

Nicolas MEUNIER, *Autre procédé pour la mise en œuvre de bâtiments en terre compactée*, mémoire de CEAA-Terre, Ecole d'Architecture de Grenoble, 1987.

George Frederick MIDDLETON, *Build your house of earth*, Melbourne, Angus & Robertson, 1953.

L.A. MILLER et D.J. MILLER, *Manual for building a rammed earth wall*, Greeley, Rammed Earth International Institute, 1980.

Gernot MINKE, *Construction manual for earthquake-resistant houses built of earth*, Eschborn, Gate-Basin, 2001.

Sébastien MORISET *et alii*, *Rénover et construire en pisé dans le Parc naturel régional Livradois-Forez*, ed. Parc naturel régional Livradois-Forez, 2011.

Martin RAUCH, *Lehm und Architektur*, Basel, Birkhäuser, 2001.

Jean-Baptiste RONDELET, *Traité théorique et pratique de l'Art de Bâtir*, 7 vol., (Paris, 1817), Paris, Firmin Didot Frères, Libraires, 10^e ed., 1843, Livre 1^{er}, 1^{re} Section, chap. 1^{er}, chap. 2, Pl. 4 et Pl. 5.

Michel SERRES, Le temps humain : de l'évolution créatrice au créateur d'évolution, dans *Qu'est-ce que l'humain?*, Paris, Le Pommier, 2003.

Légendes des figures

Fig. 1 : Planche IV extraite du *Traité de l'Art de Bâtir*, de Jean-Baptiste Rondelet, Livre 1^{er}, 1^{ère} Section, chapitre I^{er}. Dans *L'Art de Bâtir*, J. Rondelet, Instituto Juan De Herrera, Fondo Antiguo de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid, Edición Facsímil, 2001.

Fig. 2 : Coffrages imaginés par George F. Middleton, pour faciliter la mise en œuvre des liaisons de murs d'angle et de murs de refend et gouttereaux en pisé. Observés au National Building Centre de Chastwood, Sydney, Australie, en 1988. Photographie de Hubert Guillaud.

Fig. 3 : Eléments de « peau » intérieure ou extérieure en pisé, en forme de dalettes calées dans une ossature (en métal ou en bois). Expérimentation réalisée aux Grands Ateliers de l'Isle d'Abeau pour la mise au point du prototype de logement autonome « Armadillo Box » présenté lors de la compétition internationale du Solar Decathlon 2010.

Fig. 4 : Coffrage en ossature métallique et panneau de bois aggloméré en progression horizontale, sur rails, et verticale, à l'aide de vérins. Invention de l'architecte SHIN Guen Shik (Corée du Sud) pour la réalisation d'un projet de musée, avec de longs linéaires de murs en pisé.

Figs. 5a, 5b, 5c : Exposition de principes d'isolation des murs en pisé, avec d'autres matériaux naturels compatibles tels que briques de chanvre, panneaux de terre-chanvre ou terre-copeaux de bois, panneaux de roseaux enduits de terre (Festival « Grains d'Isère » 2010 aux Grands Ateliers de l'Isle d'Abeau, Isère).