CONSTRUIRE EN
TERRE ALLÉGÉE

FRANZ VOLHARD

TRADUCTION : AYMONE NICOLAS

ACTES SUD CRAterre

PRÉFACE, par Hubert Guillaud & **AVANT-PROPOS**, par Franz Volhard

I- INTRODUCTION 10

1. Le matériau terre 11
2. Les techniques de construction en terre 12
La construction massive 12 – *La construction à ossature bois* 13
3. Aperçu historique 14
Construire en terre en Allemagne 14 – *Construire en terre en France (par Aymone Nicolas)* 25
4. Construire en terre aujourd'hui ? 32
5. Quelles possibilités offre la construction en terre aujourd'hui ? 33
6. Construire en bois et terre 34
Le mélange terre-fibres et le torchis 34 – *La terre allégée* 36

II- MATÉRIAUX DE LA TERRE ALLÉGÉE 40

1. La terre 41
Origine et gisements de terre 42 – *Cohésion* 43 – *Granulométrie* 44 – *Identification de la terre* 44 – *Vérification de la cohésion* 45 – *Liquéfaction* 49 – *Approvisionnement en terre* 49
2. Les fibres et les granulats légers 51
La paille 51 – *Copeaux de bois* 52 – *Granulats minéraux légers* 53

III- FABRICATION DE LA TERRE ALLÉGÉE 54

1. La préparation de la barbotine argileuse 55
Exposition aux intempéries 55 – *Trempage* 55 – *Séchage* 55 – *Mélange manuel* 56 – *Mélange mécanisé* 57 – *Malaxeurs à mélange forcé* 57 – *La consistance de la barbotine* 58 – *Addition de défloculants* 59 – *Ajouter de la chaux ?* 60
2. La préparation des fibres et des agrégats 61
Paille 61 – *Agrégats dérivés du bois* 62
3. La fabrication du mélange 62
Mélange par aspersion 62 – *Mélange par trempage* 64 – *Mélange par malaxage* 65 – *Le dosage* 66 – *Macération* 69
4. L'organisation du chantier 70
5. Mélanges prêts à l'emploi 71

IV- MISE EN ŒUVRE HUMIDE 72

1. Les murs coffrés 73
Murs et cloisons épaisses 74 – *Cloisons* 78 – *Le coffrage* 79 – *Différents systèmes de coffrage* 82 – *Coffrages perdus* 83 – *Compactage* 85
2. Le torchis allégé 86
Clayonnage 88 – *Lattis entre poteaux* 91 – *Fusées ou quenouilles* 93 – *Lattis continu* 93
3. Les planchers 93
Préparation de la structure en bois 95 – *Plancher en fusées* 95 – *Plancher compacté sur coffrage coulissant* 98 – *Plancher rempli sur coffrage perdu* 100 – *Plancher rempli sur lattis* 101
4. L'isolation de la toiture 102
Fusées de terre-paille 103 – *Compactage sur coffrage coulissant* 105 – *Remplissage en coffrage perdu* 105 – *Garnissage sur lattis* 105 – *Torchis allégé sur lattis* 105
5. La terre allégée en restauration 106
Remplissage en torchis 106 – *Remplissage en terre allégée* 109 – *Doublage intérieur isolant les murs extérieurs* 111 – *Doublage intérieur, torchis allégé sur isolant* 112
6. La terre projetée 112

V- MONTAGE À SEC 114

1. Les blocs de terre allégée 115
Blocs préfabriqués 116
2. Les panneaux de terre allégée 117
Panneaux préfabriqués 117
3. La fabrication de blocs et de panneaux 118
Fabrication manuelle 118
4. La maçonnerie des murs et des cloisons 122
Maçonnerie en terre allégée 122 – *Maçonnerie entre colombages* 125 – *Doublage intérieur isolant* 125 – *Parois en blocs empilés* 126 – *Éléments de cloison* 127
5. Les planchers et la toiture 127
Panneaux autoportants 127 – *Panneaux et blocs en dallage* 129
6. Le montage à sec 130
Parois 131 – *Plafonds et toiture* 133

VI- DÉTAILS CONSTRUCTIFS POUR LE GROS ŒUVRE ET LA FINITION 134

1. La protection de la construction 135
Protection contre les remontées capillaires et les eaux de rejaillissement 135 – *Protection contre les intempéries* 136 – *Étanchéité à l'air* 137 – *Protection du bois et traitement des surfaces* 138
2. Les enduits et les badigeons 139
Préparation du support 141
3. Les enduits à la chaux 143
4. Les enduits de terre 143
Enduit de terre-sable 145 – *Enduit de terre-fibres (sans sable)* 146 – *Deux recettes traditionnelles* 149 – *Peinture et papier peint sur enduit de terre* 150 – *Mortiers prêts à l'emploi* 150 – *Caractérisation d'un mortier d'enduit de terre* 152
5. Les portes et les fenêtres 153
6. Les revêtements de sol 154
7. Autres revêtements 155
Bardage en bois 155 – *Carrelage* 155
8. Les installations et les scellements 155
Plomberie 155 – *Encastrement et scellement* 156

VII- PLANIFICATION ET COÛTS 158

1. Le planning des travaux 159
2. Coûts et rendements 160
Coûts 160 – *Rendements* 161 – *Conseils pour rationaliser le chantier* 163 – *Mise en œuvre par des professionnels* 163 – *Mise en œuvre en autoconstruction* 164
3. La terre allégée et la réglementation de la construction 164
La réglementation en France (par Aymone Nicolas) 164 – *La réglementation en Allemagne* 166 – *Permis de construire* 168 – *Se conformer à la réglementation thermique* 169 – *Justifier des propriétés du matériau* 170
4. La conception, l'appel d'offres et le suivi de chantier 170
5. Le chantier en autoconstruction 171
6. Les erreurs à éviter 172
Terre 172 – *Composants* 172 – *Mélange* 173 – *Éléments constructifs* 173 – *Freins au séchage* 173

VIII- PROPRIÉTÉS PHYSIQUES 174

1. Les performances thermiques 175
Isolation thermique 177 – *Capacité thermique* 181 – *Effusivité thermique* 183 – *Température de surface* 183 – *Amortissement* 184
2. Les performances hydriques 186
Résistance à la diffusion de vapeur d'eau 186 – *Teneur en eau hygroscopique* 187 – *Adsorption et désorption hygroscopiques* 190 – *Capillarité* 192 – *Protection contre l'eau de condensation* 194 – *Humidité et séchage lors du chantier* 197 – *Phénomènes lors du séchage* 197
3. Le comportement au feu 198
Réaction au feu 198 – *Résistance au feu* 201 – *Classement des ouvrages en bois avec remplissage de terre* 203
4. L'isolation acoustique 205
Isolation aux bruits aériens 205 – *Isolation acoustique des planchers en bois* 207
5. L'étanchéité à l'air 209
6. La fixation des substances nocives 209

IX- EXEMPLES DE RÉALISATIONS 211

1. Rénovation et extension d'une maison à colombages – Gross Gerau (Allemagne) 212
2. Maison avec atelier – Darmstadt (Allemagne) 214
3. Immeubles de logements sociaux en terre-paille – Villefontaine (Isère) 218
4. Étable et grange – (Calvados et Manche) 220
5. foyer de jeunes – Rossdorf (Allemagne) 222
6. Aménagement d'une grange – Offenbach (Allemagne) 224
7. Extension d'une maison – Darmstadt (Allemagne) 226
8. Maison d'été – Mauritzberg (Suède) 230
9. Atelier d'artiste – Darmstadt (Allemagne) 232
10. Maison – Maria Rain (Autriche) 236
11. Restauration patrimoniale d'une maison à colombages et construction neuve – Mörfelden (Allemagne) 238
12. Restauration patrimoniale d'une maison à colombages – Mörfelden (Allemagne) 242
13. Maison – Raisio (Finlande) 244
14. Maison individuelle – Saint-Félix-de-Pallières (Gard) 246
15. Maison en terre-copeaux de bois – Järna (Suède) 248
16. Habitat groupé de Sandberghof – Darmstadt (Allemagne) 250
17. Maison en terre-paille – Wisconsin (États-Unis) 254
18. Église – Järna (Suède) 256
19. 20 maisons en terre-paille – Hameau des Buis à Lablachère (Ardèche) 258
20. Construction de cloisons en terre-paille dans une crèche municipale – Thoiras (Gard) 260
21. Réhabilitation d'une maison paysanne – Hotot-en-Auge (Calvados) 262
22. Reconstruction de l'habitat rural – (Haïti) 264
23. Maison individuelle – Carla-Bayle (Ariège) 266
24. École primaire – Johannesburg (Afrique du Sud) 268
25. Maison – Darmstadt (Allemagne) 270

ANNEXES

GLOSSAIRE 274
BIBLIOGRAPHIE 275
INDEX 280
CRÉDITS PHOTOGRAPHIQUES 288

PRÉFACE

Il y a déjà presque trente ans, alors que nous étions aux prémices d'un renouveau de la construction en terre, tentant de réactualiser les traditions du pisé et de la brique de terre crue, l'idée de construire en terre-paille, technique "douce", semblait venir d'une autre planète dans un univers où tout le construit est en "dur". Franz Volhard en avait déjà fait la démonstration avec quelques projets de maisons dans la région de Darmstadt où il réside et exerce sa profession d'architecte. Prenant acte de ces références de qualité d'outre-Rhin, nous nous engagions dans le projet désormais fameux du Domaine de la Terre à Villefontaine, en Isère, où l'un des lots des soixante-cinq logements sociaux expérimentaux, pilotés alors par le plan Construction et Habitat, réalisé par l'Office public d'aménagement et de construction de l'Isère, était construit en terre-paille. On devait ce projet aux architectes Paul Wagner et Nicolas Widmer. CRAterre était conseiller auprès du plan Construction et Habitat et je me voyais chargé du suivi de chantier, alors architecte frais émoulu à peine diplômé de l'école de Marseille. N'étant pas germanophone, le livre de Franz Volhard ne me fut pas d'une utilité directe, ni pour ce suivi de chantier, ni pour les architectes et l'entreprise Guédy qui avait répondu au marché de ce lot de six logements. Fort heureusement, d'autres germanophones au sein de CRAterre, dont Hugo Houben, avaient lu ce livre et pratiqué des expériences en Belgique, qui s'avéraient enthousiasmantes et contribuaient à l'émergence d'un réel intérêt auprès de quelques autoconstructeurs de ce pays. Sur ces bases de connaissances encore limitées, l'opération de Villefontaine fut un chantier-école pour tous les opérateurs impliqués. Je me rappelle aussi être allé à Aix-la-Chapelle visiter l'un des chantiers mettant en œuvre cette terre-paille et avoir été très séduit par la grande flexibilité d'emploi de ce mélange de barbotine argileuse et de paille cardée. On pouvait en effet en faire des remplissages d'ossature en bois pour des murs et cloisons, réactualisant en ce sens les procédés de galandage très anciens, utilisés dans une grande majorité des habitats ruraux des pays européens, mais on pouvait aussi en faire des blocs de toute taille, légers, faciles à manier, utilisés en hourdage de telles ossatures, ou encore des hourdis et voûtains pour des planchers, consolidés par des renforts en bois noyés dans leur masse, ou même des remplissages en sous-toiture, entre chevrons, pour améliorer les performances d'isolation thermique. Quelle merveille donc que ce matériau pouvant être décliné en de multiples usages ! Cette séduction fut rapidement contagieuse et, dans les années qui suivirent cette première réalisation pilote, plusieurs autres projets d'habitat en terre-paille furent réalisés, en France et dans d'autres pays d'Europe. À tel point que cette technique a largement concurrencé durant ces trois dernières décennies le renouveau beaucoup plus difficile du pisé ou même du bloc de terre comprimée (BTC), qui donnait pourtant un label de modernité au renouveau de la filière terre du fait d'un degré de mécanisation plus poussé, par l'usage de presses et autres unités de production motorisées. Car les plus soucieux de répondre aux impératifs d'économie d'énergies – suivant les deux crises du pétrole des années 1970 – et de réduction d'utilisation des ressources non renouvelables, dont on commençait déjà à se préoccuper, préféraient largement utiliser cette technique de la terre-paille dont la pertinence et la performance, eu égard à ces préoccupations, offraient un ensemble d'atouts très convaincants. Mais aussi parce que ce procédé de construction en terre est accessible à la fois techniquement et économiquement.

C'est donc peu dire que cette version française du *Leichtlehmbau* était attendue depuis très longtemps. Il faut aussi relever l'intérêt élargi de ce livre grâce à un important travail de réactualisation et d'augmentation, réalisé par l'auteur qui a accumulé une grande expérience en la matière. Il s'agit en effet d'un véritable "traité" de construction, non seulement en terre-paille, mais plus largement en ce que l'auteur dénomme la "terre allégée", nouveau concept qui amplifie davantage les qualités de ce mélange de terre argileuse avec un éventail plus ouvert d'autres "charges légères". À savoir toutes formes de fibres végétales, dont le chanvre qui fait aujourd'hui une percée formidable sur le marché de la construction, ou les copeaux de bois, constituant ainsi un bel ensemble de ressources naturelles mises au service du développement nécessaire d'une construction de qualité environnementale, d'un écohabitat qui mobilise désormais des architectes, ingénieurs, énergéticiens, entrepreneurs et maîtres d'ouvrage de plus en plus nombreux. Il n'est pas anodin de rappeler que cette "culture constructive", alliance d'un savoir et d'un savoir-faire très élaborés, a trouvé son origine en Allemagne, pays qui a démontré au cours de ces deux dernières décennies toute sa capacité à développer des réponses intelligentes à l'exigence de plus en plus actée de production d'un habitat plus amical pour l'environnement.
Il y a aussi dans ce livre toute la rigueur scientifique d'un chercheur et la maîtrise d'un constructeur expérimenté qui intervient autant dans le secteur de la construction neuve que dans celui de la restauration du patrimoine architectural, notamment des ouvrages à colombages qui constituent un patrimoine d'exception dans plusieurs Länder allemands et dans les régions septentrionales de France et d'autres pays d'Europe.
Ce livre est donc un véritable "traité" de construction au sens des ouvrages qui furent produits à la fin du XIX^e^ siècle. Une alliance efficace de l'ingénierie et de l'architecture que ce livre perpétue, fruit aussi de la formation polytechnique des architectes et des constructeurs allemands. Une superbe union de la littérature technique et du dessin précisant les usages du matériau, les concepts constructifs, les situations de chantier, les outils et les procédés

de mise en œuvre. Les lecteurs francophones qui aspirent à construire en terre allégée, qu'ils soient autoconstructeurs ou professionnels, auront indubitablement un grand plaisir à lire ce livre qui est composé avec grande rigueur. Rien n'est laissé au hasard et les énergéticiens, thermiciens comme acousticiens, y trouveront leur compte grâce à un travail exhaustif de rassemblement des données et valeurs utiles à leurs calculs de qualité et de performance environnementale pour répondre aux exigences des labels "normés". Les architectes auront aussi de grands intérêts et bénéfices à tirer de l'expérience de projets que restitue en fin d'ouvrage un magnifique corpus de réalisations récentes comme de projets à caractère patrimonial réalisés en Allemagne, en France, en Suède et jusqu'aux États-Unis.

Hubert Guillaud
Professeur, directeur scientifique de l'unité de recherche AE & CC, laboratoires CRAterre-ENSAG et Cultures constructives, École nationale supérieure d'architecture de Grenoble.

AVANT-PROPOS

À la suite du regain d'intérêt suscité, au début des années 1980, par des modes de constructions écologiques et durables, le livre allemand *Leichtlehmbau* est devenu dès sa parution en 1983 le premier ouvrage de référence allemand sur la construction en terre. Il a pour objet principal la terre allégée. Développé dans les années 1920 à partir de la technique traditionnelle du torchis, ce matériau n'a jamais acquis une véritable reconnaissance, dans la mesure où la construction en terre de l'immédiat après-guerre en Allemagne a rapidement été supplantée par l'essor du marché des matériaux industriels dans le contexte du "miracle économique allemand". Le terme "terre allégée" désigne une famille de matériaux terre ayant une masse volumique inférieure à 1 200 kg/m³. Si l'on compare ses très bonnes performances d'isolation thermique et sa grande facilité de mise en œuvre, en particulier avec celles des matériaux "lourds" utilisés traditionnellement en construction en terre, comme le pisé, la bauge ou les briques de terre crue, la terre allégée apparaît particulièrement adaptée aux exigences actuelles de la construction et au développement de la construction en terre.
Depuis les premiers chantiers expérimentaux que nous avons menés, ce livre a été et demeure encore aujourd'hui un très précieux guide pratique pour un très grand nombre de projets menés souvent en autoconstruction. La présente version française, révisée et augmentée, tient compte des exigences plus fortes imposées depuis les années 1990 pour l'isolation thermique et expose les possibilités d'utilisation de produits prêts à l'emploi en terre allégée, et en association avec des matériaux isolants. Toutefois, l'accent est mis, comme dans l'ouvrage initial, sur la mise en œuvre artisanale et surtout sur l'autoconstruction avec le bois et la terre. Les chapitres sur la terre et sa caractérisation, ainsi que ceux sur les propriétés physiques des matériaux et des parties d'ouvrage apportent les bases d'une mise en œuvre plus sûre, de même que pour les produits prêts à l'emploi.
Cette version française contient également une présentation détaillée de l'histoire de la construction en terre allégée en Allemagne et en France.
Que ce projet de traduction française puisse enfin se réaliser après plusieurs tentatives revient à l'initiative, la persévérance et la patience de la traductrice Aymone Nicolas, que je remercie. Il n'a pas été simple de trouver la bonne transposition pour de nombreux termes qui ont pris un sens différent dans les deux pays. Je la remercie aussi particulièrement pour ses contributions sur l'histoire et le droit de la construction en France. Mes remerciements vont aussi à Lydie Didier et Pierre Frey pour leur relecture attentive, compétente et critique du manuscrit et leurs nombreuses suggestions, et aux amis de CRAterre, Hubert Guillaud et Hugo Houben. Nombreux sont ceux qui ont également contribué à cette édition augmentée par l'envoi d'illustrations ou d'informations. Qu'ils en soient ici chaleureusement remerciés : en particulier Alexandre Douline, Lou Host-Jablonski, Anne-Louise Huber, Franck Lahure, Alain Marcom, Sophie Popot, Teuvo Ranki, Johannes Riesterer, Vincent Rigassi, Ulrich Röhlen, Elias Rubin, Eva Rubin, Driss Samri, Olivier Scherrer et Juan Trabanino. J'adresse un remerciement tout particulier à Ute Schauer pour son soutien sans faille dans cette aventure.

Franz Volhard