

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	17
Contexte	19
Tout matériau de construction interagit avec son environnement	21
1. PAILLE ET BOTTES	25
1.1 La paille	26
1.2 Les bottes	28
2. L'ARBRE GÉNÉALOGIQUE DE LA BOTTE DE PAILLE	31
2.1 Les précurseurs	31
2.1.1 Les torchis	31
2.1.2 La bauge	32
2.1.3 L'adobe	32
2.2 Les nouveaux rejets	32
2.2.1 Autres types de bottes de paille	32
2.2.2 Balles de plastique et d'autres matériaux	33
<i>Mise en balles</i>	35
<i>Édification et stabilisation</i>	35
<i>Toit</i>	36
<i>Enduit extérieur</i>	36
<i>Tests en laboratoire</i>	36
<i>Collecte</i>	37
<i>Problèmes potentiels</i>	37
<i>Conclusion</i>	38
2.3 Briques, nouvelles bottes, panneaux et murs préfabriqués en paille .	38
2.3.1 Briques et béton	38
2.3.2 Nouvelles bottes	38
2.3.3 Panneaux et murs préfabriqués	39
2.4 Rénovation : l'enveloppe de paille	40
2.5 Systèmes exclusifs	41

3. ENDUITS ET ARMATURES	45
3.1 Qu'est-ce qu'un enduit ?	45
3.2 Les fonctions de l'enduit	46
3.2.1 Protection contre l'humidité	46
3.2.2 Résistance thermique et stockage de la chaleur	46
3.2.3 Protection contre le feu	47
3.2.4 Protection contre les ravageurs	47
3.2.5 Comportement structural	47
3.2.6 Finitions et esthétique	47
3.3 Composition de l'enduit	48
3.3.1 Le liant	48
3.3.2 La charge	49
3.3.3 Les fibres	49
3.4 Les différents types d'enduits	50
3.4.1 Enduits ciment	51
3.4.2 Enduits à la chaux	52
<i>Spécificités des enduits à la chaux</i>	54
3.4.3 Enduits à l'argile (enduits terre)	56
<i>Qu'est ce que l'argile ?</i>	57
<i>Spécificités des enduits terre</i>	58
3.5 Les propriétés structurales de l'enduit	61
3.5.1 Adhérence de l'enduit	61
3.5.2 Résistance à la compression	61
3.5.3 Module de rupture ou, plus simplement, résistance à la traction	64
3.5.4 Module d'élasticité	64
3.5.5 Conclusions générales sur les qualités structurales des enduits	64
3.6 L'armature de l'enduit	66
3.6.1 Armature à base de fibres	66
3.6.2 Armature par treillis	66
3.6.3 Synthèse des essais récents sur les treillis et ancrages	68
a) <i>Matériaux utilisés lors des essais</i>	69
b) <i>Essais de traction sur fils</i>	70
c) <i>Essais d'ancrage du treillis</i>	71
d) <i>Recommandations en matière de treillis agrafés</i>	76
3.7 Le rôle des enduits dans la régulation de l'humidité	77
3.8 Durabilité et entretien	80
3.9 Considérations environnementales	81

3.10 Méthodes d'application	81
3.11 Préparation et séchage	82
3.12 Références.....	83
4. STRUCTURE	85
4.1 Introduction.....	85
4.1.1 Présentation	85
4.1.2 Techniques de construction.....	87
4.1.3 Pratiques communes à tous les types de structures en bottes de paille.....	89
a) Remplissage des joints	89
b) Insertion de broches	90
c) Protection contre l'eau	90
d) Détails importants	90
e) À plat ou sur chant?.....	91
f) Précontrainte des bottes	91
g) L'enduit.....	92
4.1.4 Remarques générales sur les charges	93
4.1.5 Modèle structural d'un mur en bottes de paille enduites	94
a) Section homogène équivalente	95
b) Section alvéolaire équivalente	95
4.2 Charges verticales.....	97
4.2.1 Comportement du mur et modes de dégradation	97
4.2.2 Résultats des essais.....	98
a) Essais sur bottes non enduites	99
b) Essais sur murs en paille non enduits.....	100
c) Essais sur bottes enduites	102
d) Essais sur murs en bottes de paille enduites.....	105
4.2.3 Résumé des charges ultimes.....	110
4.2.4 Méthode de conception	110
4.2.5 Fluage, tassement initial et précompression	113
Description des essais.....	115
Synthèse et conclusions des essais de fluage.....	116
4.3 Charges horizontales hors plan	118
4.3.1 Introduction	118
4.3.2 Comportement en deux phases d'un mur soumis à un chargement hors plan	119
4.3.3 Comportement avant fissuration d'un mur soumis à un chargement hors plan	121
4.3.4 Comportement après fissuration d'un mur soumis à un chargement hors plan	123
Enduit terre-ciment de 5 cm d'épaisseur.....	123

Treillis soudé 5 × 5 cm [16 gauge]	124
Agrafes galvanisées [16 gauge] avec pattes de 4,5 cm, largeur 10 cm	124
Bottes de paille de riz	124
Remarques	124
Exemple de calcul en sept étapes (A à G)	125
4.3.5 Commentaires	129
4.3.6 Résumé d'essais récents	130
Mur n°1	130
Mur n°2	130
Mur n°3	130
Mur n°4	130
Mur n°5	130
Mur n°6	131
4.3.7 Impacts de projectiles — Que se passe-t-il lors des ouragans et des tornades?	131
4.4 Charges horizontales dans le plan	133
4.4.1 Introduction	133
4.4.2 Remarques générales sur la conception des murs chargés horizontalement dans leur plan	135
4.4.3 Implantation des murs	136
4.4.4 Cheminement des charges et principes de conception	137
4.4.5 Choix des matériaux et des dispositions constructives	139
a) Les bottes	139
b) L'enduit	139
c) L'armature	139
d) Fixations et ancrages	141
4.4.6 Synthèse des essais sous chargement cyclique dans le plan	143
4.4.7 Courbes d'hystérésis obtenues à partir des essais de chargement cyclique (sauf mur A)	143
Description d'échantillons typiques (murs A à F)	143
4.4.8 Conclusions	151
a) Murs de hauteur et largeur identiques (1/1)	151
b) Murs présentant un ratio hauteur / longueur de 2/1 (hauts et étroits)	151
4.4.9 Recommandations en matière de conception	152
4.5 Conclusions générales	152
5. L'HUMIDITÉ	155
5.1. Humidité et décomposition de la paille	156
5.1.1 La molécule d'eau	156
a) Propriétés physiques	156
b) La vapeur d'eau	156
5.1.2 La paille	158

5.1.3 Teneur en eau de la paille	159
5.1.4 La décomposition de la paille	161
a) Les facteurs de décomposition de la paille	161
b) Expérimentations	162
c) Conclusion des expérimentations	169
5.1.5 Implications pratiques	170
a) Conséquences sur la sélection des bottes de paille	170
b) Conséquences sur les constructions en bottes de paille	172
5.2 Quels mécanismes régissent les interactions entre l'humidité et les matériaux?	172
5.2.1 Les matériaux	172
a) Les matériaux poreux — le phénomène de perméabilité	172
b) Les matériaux hydrophiles — le phénomène d'adsorption	173
c) Les matériaux hygroscopiques : l'adsorption hygroscopique et la condensation capillaire	174
d) Récapitulatif des caractéristiques hygrométriques des matériaux	175
5.2.2 Le stockage de l'humidité dans les matériaux hygroscopiques	177
a) Les régimes de stockage	177
b) Implications pratiques : altérations mécaniques et microbiennes	178
5.2.3 Les transferts d'humidité au sein des parois	179
a) Les sources d'humidité	179
b) Le stockage de l'humidité	181
c) La migration de l'humidité	181
d) Récapitulatif des transferts d'humidité	183
5.2.4 L'équilibre hygrométrique	183
5.3 Stratégies de gestion de l'humidité	184
5.3.1 La pluie, source majeure d'humidité	184
5.3.2 Prévenir dès la conception	185
a) Le climat	186
b) L'implantation	186
c) Les eaux superficielles et souterraines	187
d) Forme et volume du bâtiment	187
e) L'eau de pluie sur les murs	189
5.3.3 Stratégies de gestion de l'eau de pluie sur les murs	191
a) Mur massif	192
b) Mur à étanchéité totale	192
c) Mur à écran drainant	193
5.3.4 Stratégies de gestion de la vapeur d'eau dans les parois	194
a) Points froids et remontées capillaires	195
b) Étanchéité à l'air	196
c) Régulation de la diffusion de vapeur d'eau	198
d) Membranes de régulation de l'humidité	201
5.3.5 La plomberie	204
5.3.6 L'humidité pendant la construction	204

6. LE FEU	207
6.1 Introduction.....	207
6.2 Les bottes de paille brûlent mal.....	209
6.3 Résultats des essais en laboratoire.....	209
6.4 Propagation des flammes et densité de fumée.....	211
6.5 Et pourtant, elles brûlent! (rapports d'incendies).....	211
6.6 Mesures de sécurité incendie.....	213
6.7 Essais incendie publiés.....	214
<i>Brève description de l'essai n° 4.</i>	214
<i>Description des murs</i>	215
<i>Commentaires</i>	216
6.8 Conclusions.....	217
7. L'ISOLATION	
PERFORMANCE THERMIQUE DES MURS EN BOTTES DE PAILLE ENDUITES	219
7.1 Qu'est-ce que la performance thermique?.....	219
7.2 La résistance thermique d'une paroi.....	221
7.2.1 Mesures.....	221
7.2.2 Facteurs affectant la valeur R.....	222
7.2.3 Intérêt relatif de la valeur R.....	223
7.2.4 Le mieux est parfois l'ennemi du bien.....	224
7.2.5 Les bottes de paille ne sont pas des briques.....	224
7.3 Différents sons de cloche européens en matière de conductivité thermique.....	225
7.3.1 Allemagne.....	226
7.3.2 Autriche.....	226
7.3.3 France.....	227
7.3.4 Quel coefficient lambda utiliser dans vos calculs?.....	230
7.4 Faut-il faire des plafonds, voûtes et planchers en bottes de paille?..	230
7.5 Conclusion.....	232
7.6 Vers un « bilan carbone » de la maison en paille.....	233

8. L'ISOLATION ACOUSTIQUE	235
8.1 Introduction.....	235
8.2 Bilan des essais.....	235
À l'intérieur du studio 2	236
À l'extérieur du studio 2	237
À l'intérieur du studio 2	237
À l'extérieur du studio 2	237
À l'extérieur du studio 3	237
Niveaux sonores de la rue.....	237
8.3 Recette d'une bonne isolation acoustique.....	239
8.4 L'acoustique d'une pièce.....	240
8.5 Exemples d'indices d'affaiblissement.....	241
8.6 Références.....	242
9. LES INSECTES ET AUTRES INVITÉS INDÉSIRABLES	243
9.1 Introduction.....	243
9.2 Les insectes et les acariens.....	243
9.2.1 Les termites.....	245
9.3 Les autres invités indésirables	247
9.4 Conclusion	248
10. DÉTAILS DE CONCEPTION	249
10.1 Introduction	249
10.2 Sismicité.....	250
10.3 Réglementations en matière de construction.....	251
10.4 Le climat	251
10.4.1 L'humidité extérieure	251
10.4.2 L'humidité intérieure	252
10.4.3 Règles de base pour lutter contre l'humidité.....	253
10.5 Usage et durabilité.....	254
10.6 Exigences structurales.....	255
10.6.1 Règles de base pour obtenir efficacité et durabilité structurales	255

10.7 Les matériaux	257
10.8 Considérations environnementales	259
10.9 Méthodes de travail et mise en œuvre	259
10.10 Planning de construction	260
10.11 Considérations financières	260
11. CODES ET NORMES DU BÂTIMENT	261
11.1 Codes et permis dans le monde, vue d'ensemble	261
<i>Diversité des contextes réglementaires</i>	262
11.2 Le cadre juridique, réglementaire et financier en France	264
11.2.1 Peut on construire avec le matériau paille en France ?	264
11.2.2 DTU ou pas DTU : est-ce bien la question ?	265
11.2.3 Vers l'élaboration de règles professionnelles	266
11.3 Le cadre réglementaire à travers le monde	267
Afrique du Sud	268
Allemagne	269
Amérique centrale	270
Amérique du Sud	270
Arabie Saoudite	270
Australie	271
Belgique	271
Biélorussie	273
Canada	274
Chine	275
Danemark	275
Espagne	275
États-Unis	276
Grèce	278
Irlande	279
Italie	279
Japon	279
Mexique	280
Mongolie	280
Nouvelle-Zélande	280
Pays-Bas	280
République tchèque	281

Royaume-Uni	281
Russie, Sibérie	282
Suisse	282
11.4 Quel avenir pour les codes et réglementations relatifs à la construction en paille?	283
11.5 Codes, directives et prescriptions relatifs à la construction en paille aux États-Unis	287
12. ANNEXES ET TABLES	291
12.1 La Maison en paille à Montholier dans le Jura	291
12.2 <i>Gauge</i> , le casse-tête des conversions	293
12.3 Glossaire	294
12.4 Ressources et bibliographie	301
12.4.1 Suppléments en ligne	301
<i>Projet Montholier</i>	301
<i>Structure</i>	301
<i>Humidité</i>	301
<i>Isolation</i>	301
<i>Codes et normes du bâtiment</i>	301
12.4.2 Bibliographie	302
<i>Paille</i>	302
<i>Terre</i>	302
<i>Chaux</i>	303
<i>Isolation</i>	303
12.4.3 Ressources en ligne	303
12.4.4 Organisations	304
12.4.5 Liens anglophones en relation avec la construction en paille	305