

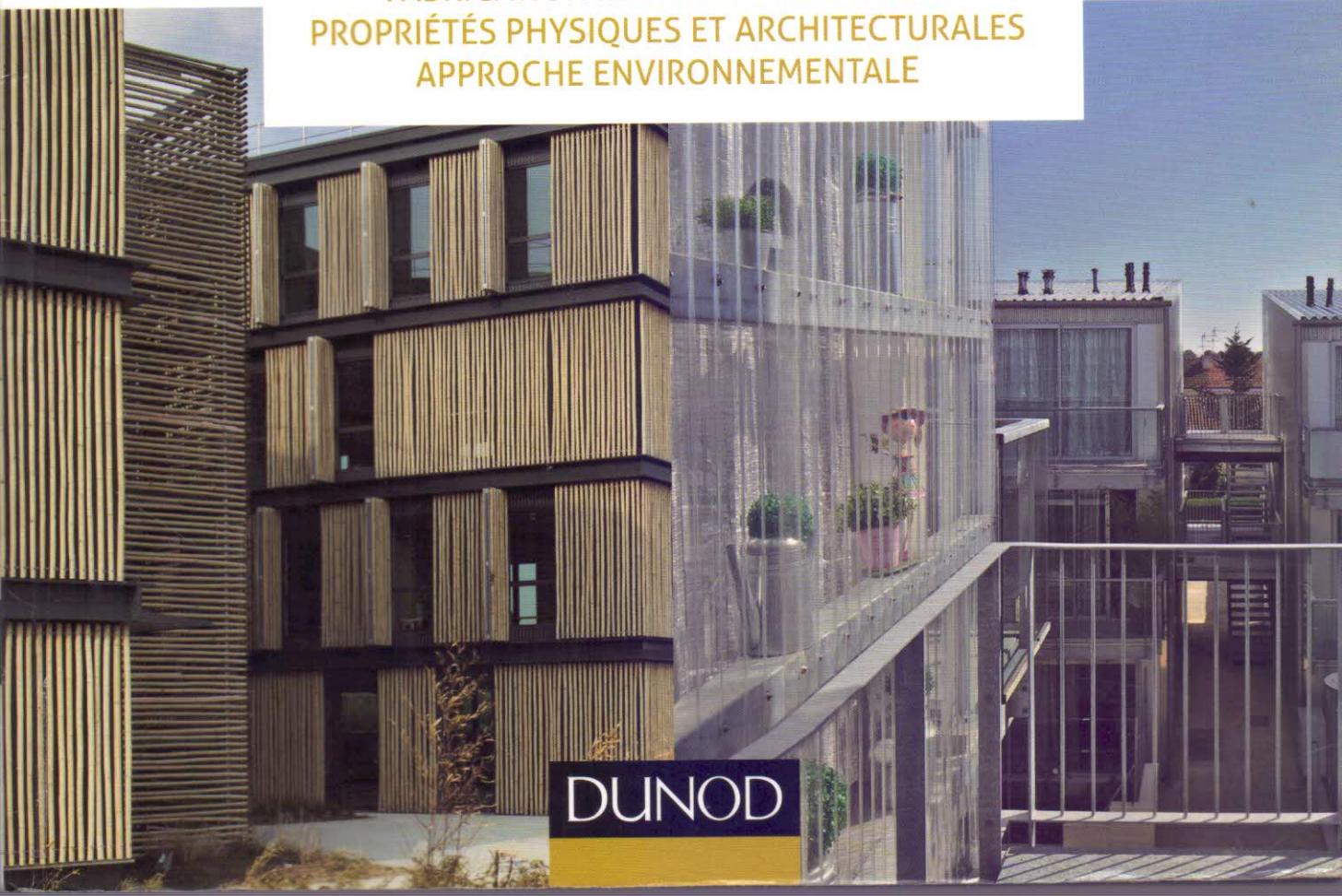
Nadia Hoyet



MATÉRIAUX et ARCHITECTURE DURABLE



FABRICATION ET TRANSFORMATIONS
PROPRIÉTÉS PHYSIQUES ET ARCHITECTURALES
APPROCHE ENVIRONNEMENTALE



DUNOD

Sommaire

CHAPITRE 1 INTRODUCTION

LES MATÉRIAUX ET LE PROJET ARCHITECTURAL	15		
Un développement paradoxal.....	15	Le matériau mis en œuvre sur le chantier.....	18
Les matériaux dans l'architecture: un processus complexe.....	16	Le matériau utilisé et perçu.....	18
Les états du matériau.....	16	Le matériau démonté.....	18
Le matériau conçu et fabriqué.....	16	Le matériau recyclé.....	19
Le matériau prescrit, agencé et dessiné.....	17	Le choix des matériaux: une démarche multicritères.....	19
COMPORTEMENT DES MATÉRIAUX DANS L'ARCHITECTURE	20		
L'architecture répond à un contexte.....	20	Les caractéristiques du concept architectural..	23
Créer des espaces de vie: les données du programme.....	21	Créer la forme.....	23
S'inscrire dans un site.....	22	La perception de l'espace architectural.....	25
Matériaux et techniques constructives.....	23	Les propriétés architecturales des matériaux..	27
PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DES MATÉRIAUX DANS LA CONSTRUCTION	28		
Résistance mécanique.....	28	Dilatation thermique.....	31
Généralités.....	28	Conductivité thermique.....	31
Compression.....	28	Comportement aux agents extérieurs.....	31
Traction.....	29	Comportement au feu.....	31
Flexion.....	30	Inflammabilité.....	31
Comportement thermique.....	31	Résistance au feu.....	32
COMPORTEMENT ENVIRONNEMENTAL	32		
Approche descriptive.....	32	Labels et normes.....	33
Impact environnemental de la fabrication.....	32	Les fiches de déclaration environnementale et sanitaire.....	33
Les territoires de production.....	32	Environmental Product Declarations: les EPD.....	36
Impact lors de la mise en œuvre sur le chantier...	33	Qualité environnementale des bâtiments:	
Vie en œuvre.....	33	HQE, LEED et BREEAM.....	37
Fin de vie.....	33		

CHAPITRE 2 LE BOIS ET LES AUTRES MATÉRIAUX DE LA BIOMASSE

LE BOIS

REPÈRES HISTORIQUES			40
Avant l'industrie.....	40	L'habitat premier.....	40
Le matériau des origines de la construction.....	40	Expression architecturale des cultures du monde	41

Charpentes, toitures et planchers.....	42	Transformations industrielles.....	44
Depuis la révolution industrielle.....	44	La filière bois en France.....	45

ÉLABORATION ET MISE EN ŒUVRE..... 46

Composition.....	46	Séchage.....	51
Photosynthèse.....	46	La préservation des bois.....	51
Les principales espèces utilisées en construction.....	47	Procédés de transformation : les fabrications industrielles.....	52
Procédés de transformation : de la forêt à la construction.....	48	Les transformations primaires.....	52
Abattage et débardage.....	48	Les bois de structure issus du sciage.....	52
Sciage.....	48	Les produits issus du déroulage.....	56
Classement des bois.....	51	Les panneaux dérivés de la trituration et du recyclage.....	57
Déroulage et tranchage.....	51	Matériaux isolants à base de bois.....	59

PROPRIÉTÉS ARCHITECTURALES ET CONSTRUCTIVES..... 60

Symbolique.....	60	Structure par plans et voiles : construction à ossature bois et panneaux.....	61
Forme et expression structurelle.....	61	Surfaces développées.....	62
Structure par éléments linéaires : poutres et poteaux 61		Ambiances et intériorité.....	62

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES..... 63

Résistance mécanique.....	63	Les risques biologiques.....	64
Critères de variation.....	63	Les mesures de préservation.....	65
Le cas des produits industrialisés.....	63	Comportement au feu.....	65
Comportement thermique.....	64	Réaction au feu.....	65
Comportement aux agressions climatiques et environnementales.....	64	Tenue et résistance au feu.....	66

APPROCHE ENVIRONNEMENTALE..... 66

Impact environnemental de la fabrication des matériaux.....	66	Les territoires de production : incidence du transport.....	68
Origine des matériaux : une ressource écologique.....	66	Impact lors de la mise en œuvre sur chantier..	68
Sylviculture raisonnée.....	66	Vie en œuvre.....	68
Consommation énergétique liée à la fabrication ..	67	Entretien / maintenance.....	68
Consommation d'eau.....	67	Taux de renouvellement.....	69
Bilan carbone.....	67	Évolutivité de la construction.....	69
Sous-produits liés au cycle de production.....	67	Fin de vie. Capacité du système à se renouveler.....	69
Rejets polluants.....	67		

LE BAMBOU

PRÉSENTATION ET SPÉCIFICITÉS..... 69

Une herbe remarquable.....	69	Forme et composition.....	70
----------------------------	----	---------------------------	----

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES..... 71

TRANSFORMATION ET APPLICATIONS..... 71

Exploitation traditionnelle.....	71	Lamelles.....	71
Exploitation industrielle.....	71	Fibres et poudres.....	71

LE CHANVRE

PRÉSENTATION			73
Une culture réhabilitée	73	Mode de culture	73
La plante	73	Constitution	73
PROCESSUS DE TRANSFORMATION			73
Récolte	73	Défilage	73
APPLICATIONS			74
Les laines isolantes	74	Les granulats de chanvre	74

LE LIN

PRÉSENTATION			75
Mode de culture	75	La récolte	75
TRANSFORMATION			75
APPLICATIONS			76
Laine de lin	76	Granulats de lin	76

LA PAILLE

PRÉSENTATION			76
Des bottes en forme de parpaings	76	Écologie constructive	77
TECHNIQUES CONSTRUCTIVES			77
Bottes de paille et ossature bois	77	Technique du GREB	78
Caractéristique thermique des bottes de paille ...	77	Paille porteuse ou technique du Nebraska	78
Industrialisation du procédé et avis technique.....	77	Les panneaux de paille compressée	78
Comportement au feu	78	Mode de fabrication	78

CHAPITRE 3 L'ACIER

RÉPÈRES HISTORIQUES			79
La fabrication par méthode directe: de 2500 av. J.-C. au XIV ^e siècle	79	L'aciérie électrique	81
La fonte des hauts-fourneaux: du XIV ^e à la fin du XVIII ^e siècle	80	Les aciers contemporains : 3000 nuances	81
La sidérurgie moderne et la révolution industrielle : du XIX ^e siècle à aujourd'hui	81	L'architecture et les métaux ferreux	82
		Avant la fonte	82
		Avec la fonte	82
		Une nouvelle culture constructive	83

ÉLABORATION ET MISE EN ŒUVRE			85
Composition	85	L'affinage	88
Le minerai de fer	85	Deuxième étape : la coulée	88
Le coke	85	Troisième étape : le laminage	89
La ferraille	85	Les produits sidérurgiques	
Autres matières premières	85	pour la construction	90
Procédés de fabrication	86	Structure et ossature : les produits longs	90
Première étape : l'acier en fusion	86	Couverture, façade et plancher : les produits plats	94
PROPRIÉTÉS ARCHITECTURALES ET CONSTRUCTIVES			97
Symbolique	97	Transparence et lumière	99
Forme et expression structurelle	97	Confort high-tech	100
PROPRIÉTÉS PHYSIQUES			101
Résistance mécanique	101	Risques de corrosion	102
Comportement thermique	102	Comportement au feu	103
APPROCHE ENVIRONNEMENTALE			104
Impact environnemental de la fabrication	104	Impact lors de la mise en œuvre sur chantier ..	105
Les matières premières des hauts fourneaux	104	Vie en œuvre	106
Consommation énergétique et consommation		Entretien et maintenance	106
d'eau	104	Taux de renouvellement	106
Pollutions liées à la fabrication	105	Évolutivité de la construction	106
Les territoires de production : incidence		Fin de vie. Capacité du système	
du transport	105	à se renouveler	106

CHAPITRE 4

LES BÉTONS ET LES AUTRES LIANTS HYDRAULIQUES

LE BÉTON

REPÈRES HISTORIQUES			107
La chaux, ancêtre du ciment	107	L'architecture du « mouvement moderne »	
Le béton romain	108	et le béton	109
La re-découverte du béton	108	Préfabrication et essor de la filière	111
Le béton armé	109	L'industrialisation	111
Le béton précontraint	109	Les nouveaux bétons	111
ÉLABORATION ET MISE EN ŒUVRE			112
Composition	112	Prise du ciment	115
Le ciment	112	Les types de ciment	116
Les agrégats	113	Mise en œuvre des bétons	117
L'eau	114	La préparation du béton	117
Les adjuvants	114	Les types de béton	118
Les colorants	115	La mise en forme du béton	118
La formulation du béton	115	La réalisation de l'état de surface	120
Procédés de fabrication du ciment	115	Matériaux isolants à base de béton	121
Extraction et concassage des matières premières	115	Le béton cellulaire	121
Préparation de la matière première : le cru	115	Le béton de granulats isolants	122
Cuisson du cru	115	Les composants isolés en polystyrène	
Broyage et livraison	115	expansé (PSE)	122

PROPRIÉTÉS ARCHITECTURALES ET CONSTRUCTIVES			122
Symbolique.....	122	Le matériau multi-fonction.....	124
Formes et expression structurelle.....	122	Lumière, couleurs et textures.....	124
La forme du moule.....	122	Ambiances et confort.....	124
PROPRIÉTÉS PHYSIQUES			126
Résistance mécanique.....	126	Comportement aux agressions climatiques et environnementales.....	126
Compression et traction.....	126	Les effets de la pollution.....	126
Le retrait.....	126	La résistance au gel.....	127
Propriétés thermiques.....	126	Comportement au feu	127
Conductivité thermique.....	126	La réaction au feu.....	127
Inertie thermique.....	126	La résistance au feu.....	127
APPROCHE ENVIRONNEMENTALE			127
Impact environnemental de la fabrication des constituants.....	127	Emissions de particules.....	128
Carrières d'extraction.....	127	Les territoires de production : incidence énergétique du transport.....	128
Les adjuvants.....	127	Impact lors de la mise en œuvre sur chantier ..	129
Épuisement des matières premières.....	128	Vie en œuvre	129
Recyclage de sous-produits industriels.....	128	Entretien et maintenance.....	129
Consommation énergétique liée à la fabrication ..	128	Taux de renouvellement.....	129
Consommation d'eau.....	128	Évolutivité de la construction.....	129
Rejets polluants	128	Fin de vie. Capacité du système à se renouveler	129
Dégagement CO ₂	128		

LA CHAUX

LES CHAUX NATURELLES			130
Fabrication de la chaux.....	130	Propriétés des chaux naturelles.....	131
La chaux aérienne (CL).....	130	Comportement à l'air et à l'eau.....	131
Applications.....	130	Propriétés bactéricides.....	131
La chaux hydraulique (NHL).....	131	Élasticité.....	131
Applications.....	131		
LES CHAUX ARTIFICIELLES (HL)			131

LE PLÂTRE

FABRICATION			132
Extraction du gypse.....	132	Gâchage.....	132
Cuisson.....	132		
MISE EN ŒUVRE			133
Mise en œuvre traditionnelle.....	133	Mise en œuvre industrielle.....	133
Les enduits.....	133	Les carreaux de plâtre.....	133
Le staff.....	133	Les plaques de plâtre.....	133
Le stuc.....	133		
PROPRIÉTÉS			135
Porosité.....	135	Résistance au feu.....	135

LA PIERRE

REPÈRES HISTORIQUES			137
Pierre de taille et pierre maçonnée	137	La pierre à l'ère industrielle	139
ÉLABORATION ET MISE EN ŒUVRE			140
Origine et identification des roches	140	La taille	141
Formation	140	Les finitions	142
Composition et forme	141	Les types d'ouvrage et la normalisation	142
Étapes de mise en œuvre : de la roche à la pierre	141	Matériaux isolants à base de roches	142
Extraction	141	Laine de roche	142
		Aérogel de silice : les supers isolants	143
PROPRIÉTÉS ARCHITECTURALES ET CONSTRUCTIVES			144
Symbolique	144	Pierres minces	145
Formes et expression structurelle	144	Lumière, couleurs et textures	145
Blocs massifs	144	Ambiances et confort	145
Maçonneries mixtes	145		
PROPRIÉTÉS PHYSIQUES			146
Masse volumique	146	Porosité, imperméabilité	146
Résistance mécanique	146	Comportement thermique et comportement au feu	147
Dureté et degré d'usure	146		
APPROCHE ENVIRONNEMENTALE			147
Carrières d'extraction	147	Impact lors de la mise en œuvre sur chantier ..	148
Épuisement des matières premières	147	Vie en œuvre	148
Recyclage de sous-produits de carrières	147	Entretien et maintenance	148
Consommations et rejets liés au processus	147	Évolutivité de la construction et renouvellement ..	148
Les territoires de production : incidence énergétique du transport	148		

LA TERRE

REPÈRES HISTORIQUES			149
Un matériau millénaire	149	Un renouveau par étapes	150
ÉLABORATION ET MISE EN ŒUVRE			151
Origine et constitution	151	Les techniques de mise en œuvre	152
Origine	151	Constructions monolithiques	152
Constitution	151	Constructions maçonnées	153
Nature des grains	151	Constructions mixtes	153
Étapes d'une construction en terre	151	Types d'ouvrages	153
Identification	151	Gros-œuvre	153
Propriétés physiques fondamentales de la terre ..	152	Second-œuvre	153
Amélioration des terres	152	Infrastructures	153

PROPRIÉTÉS ARCHITECTURALES ET CONSTRUCTIVES	154		
Symbolique et expression structurelle	154	Ambiances et confort	155
Lumière, couleur et textures.....	154		
PROPRIÉTÉS PHYSIQUES			155
Résistance mécanique.....	155	Résistance aux agressions extérieures.....	155
Propriétés thermiques.....	155		
APPROCHE ENVIRONNEMENTALE			155
Impact environnemental des constructions en terre	155	Mise en œuvre, vie et fin de vie d'une construction en terre.....	156
Consommation de ressources.....	155	Impact lors de la mise en œuvre sur chantier.....	156
Consommation en énergie et en eau	156	Vie en œuvre	156
Rejets polluants	156	Évolutivité de la construction.....	156
Les territoires de production : incidence du transport	156		

LA TERRE CUITE

REPÈRES HISTORIQUES			157
De la poterie aux murs de briques	157	L'industrialisation des briqueteries	157
ÉLABORATION ET MISE EN ŒUVRE			159
Composition	159	Types de produits	160
Procédés de fabrication.....	159	Construction des murs et des cloisons	161
Extraction des terres	159	Réalisation des toitures et des bardages.....	161
Préparation de la pâte	159	Matériaux isolants à base de terre cuite	162
Façonnage	159	Les briques « monomur ».....	162
Séchage.....	159	L'argile expansée	162
Cuisson.....	160		
PROPRIÉTÉS ARCHITECTURALES ET CONSTRUCTIVES			163
Symbolique et expression structurelle	163	Parement et ornement	163
PROPRIÉTÉS PHYSIQUES			165
Résistance mécanique.....	165	Porosité.....	165
Comportement thermique et résistance au feu	165		
APPROCHE ENVIRONNEMENTALE			165
Impact environnemental de la fabrication.....	165	Les territoires de production : incidence énergétique du transport.....	166
Carrières d'extraction	165	Mise en œuvre, vie et fin de vie d'une construction en terre	166
Épuisement des matières premières	165	Impact lors de la mise en œuvre sur chantier.....	166
Recyclage de sous-produits industriels	165	Vie en œuvre	167
Consommation en énergie et en eau	166	Fin de vie. Capacité du système à se renouveler .	167
Rejets polluants	166		

CHAPITRE 6 LE VERRE

REPÈRES HISTORIQUES		169	
Le verre soufflé	169	Le verre étiré	171
Le verre coulé	170	Le verre flotté	173
ÉLABORATION ET MISE EN ŒUVRE		173	
Composition	173	La trempe	176
Fabrication du verre plat: transformations primaires	174	Le bombage	176
Mélange des matières premières	174	Assemblages des verres plats	176
Fusion	174	Doubles et triples vitrages	177
Fabrication des plaques	174	Vitrages feuilletés	177
Verres à couche peu émissive	176	Matériaux isolants à base de verre	177
Transformations secondaires du verre plat	176	Le verre cellulaire	177
		La laine de verre	178
PROPRIÉTÉS ARCHITECTURALES ET CONSTRUCTIVES		178	
Symbolique	178	Lumière, couleurs et textures	180
Formes et expression	179	Ambiances et confort	182
PROPRIÉTÉS PHYSIQUES		183	
Résistance mécanique	183	Agressions climatiques et environnementales	185
Propriétés énergétiques	184	Comportement au feu	185
APPROCHE ENVIRONNEMENTALE		185	
Impact environnemental de la fabrication	185	Vie en œuvre	187
Les matières premières : disponibilité	185	Entretien et maintenance	187
Consommation énergétique et consommation d'eau liées à la fabrication	185	Taux de renouvellement	187
Pollutions liées à la fabrication	186	Évolutivité de la construction	187
Les territoires de production : incidence du transport	187	Fin de vie. Capacité du système à se renouveler	187
Impact lors de la mise en œuvre sur chantier ..	187	Recyclage	187
		Recyclage dans l'industrie du ciment	187

CHAPITRE 7 LE CAS PARTICULIER DES POLYMÈRES

REPÈRES HISTORIQUES		189	
Les premiers plastiques	190	Macromolécules et pétrole:	
Les plastiques issus de la cellulose	190	l'essor des polymères	191
Les plastiques issus de la caséine du lait	190	Les polymères dans la construction	192
ÉLABORATION ET MISE EN ŒUVRE		192	
Composition	192	Les matériaux isolants à base de polymères ..	198
Procédés de fabrication	193	Le polystyrène expansé, PSE	198
Extraction du pétrole et du gaz	193	La mousse de polyuréthane	198
Fabrication	193	Les matériaux à changement de phase	198
Procédés de mise en forme	196		

PROPRIÉTÉS ARCHITECTURALES ET CONSTRUCTIVES	198		
Symbolique.....	198	Lumière, couleurs et textures.....	201
Expressions structurelles.....	199	Les enveloppes translucides.....	201
L'architecture textile.....	200	Les « peaux composites ».....	202
Les coques en matériaux composites.....	200	Panneaux d'agencement.....	202
Les structures en tubes composites pultrudés	200	Univers de l'artifice.....	202
PROPRIÉTÉS PHYSIQUES	202		
Masse spécifique.....	203	Comportement au feu.....	203
Apparence.....	203	Réaction au feu.....	203
Comportement mécanique.....	203	Résistance au feu.....	204
Comportement à la déformation.....	203	Emanations toxiques.....	204
Résistance aux agents chimiques et aux conditions climatiques.....	203		
APPROCHE ENVIRONNEMENTALE	204		
Impact environnemental de la fabrication.....	204	Les territoires de production: incidence du transport.....	205
Matières premières.....	204	Impact lors de la mise en œuvre sur chantier..	205
Consommation énergétique et consommation d'eau liées à la fabrication.....	205	Vie en œuvre.....	206
Pollutions liées à la fabrication.....	205	Entretien et maintenance.....	206
Autres impacts.....	205	Taux de renouvellement.....	206
Risques accidentels.....	205	Fin de vie. Capacité du système à se renouveler.....	206

CHAPITRE 8 CONCLUSION

Mixité et complémentarité des matériaux.....	207	Construire des ouvrages démontables et recyclables.....	211
Les matériaux écologiques.....	207	Prescrire des matériaux sains.....	211
Parti-pris architectural.....	208	Composer avec l'ensemble des matériaux.....	211
Prescrire des matériaux locaux.....	209		
Favoriser des solutions techniques à faible coût	209		

CRÉDITS

Photographies.....	213	Illustrations.....	213
--------------------	-----	--------------------	-----

INDEX			215
--------------------	--	--	-----