



Nadia Hoyet



# MATÉRIAUX et ARCHITECTURE DURABLE



FABRICATION ET TRANSFORMATIONS  
PROPRIÉTÉS PHYSIQUES ET ARCHITECTURALES  
APPROCHE ENVIRONNEMENTALE



DUNOD

# Sommaire

## CHAPITRE 1 INTRODUCTION

<b>LES MATÉRIAUX ET LE PROJET ARCHITECTURAL</b> .....	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
<b>COMPORTEMENT DES MATÉRIAUX DANS L'ARCHITECTURE</b> .....	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
<b>PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DES MATÉRIAUX DANS LA CONSTRUCTION</b> .....	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
<b>COMPORTEMENT ENVIRONNEMENTAL</b> .....	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

<b>REPÈRES HISTORIQUES</b> .....	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	<b>Procédés de transformation : les fabrications industrielles.....</b>	52
<b>Procédés de transformation : de la forêt à la construction.....</b>	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	<b>Comportement au feu.....</b>	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	<b>Impact lors de la mise en œuvre sur chantier..</b>	68
Sylviculture raisonnée.....	66	<b>Vie en œuvre.....</b>	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	<b>Fin de vie. Capacité du système à se renouveler.....</b>	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

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

## LE LIN

<b>PRÉSENTATION</b> .....			75
Mode de culture .....	75	La récolte .....	75
<b>TRANSFORMATION</b> .....			75
<b>APPLICATIONS</b> .....			76
Laine de lin .....	76	Granulats de lin .....	76

## LA PAILLE

<b>PRÉSENTATION</b> .....			76
Des bottes en forme de parpaings .....	76	Écologie constructive .....	77
<b>TECHNIQUES CONSTRUCTIVES</b> .....			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

<b>RÉPÈRES HISTORIQUES</b> .....			79
La fabrication par méthode directe: de 2500 av. J.-C. au XIV <sup>e</sup> siècle .....	79	L'aciérie électrique .....	81
La fonte des hauts-fourneaux: du XIV <sup>e</sup> à la fin du XVIII <sup>e</sup> siècle .....	80	Les aciers contemporains : 3000 nuances .....	81
La sidérurgie moderne et la révolution industrielle : du XIX <sup>e</sup> 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

<b>ÉLABORATION ET MISE EN ŒUVRE</b> .....			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	<b>Les produits sidérurgiques</b>	
Autres matières premières .....	85	<b>pour la construction</b> .....	90
<b>Procédés de fabrication</b> .....	86	Structure et ossature : les produits longs .....	90
Première étape : l'acier en fusion .....	86	Couverture, façade et plancher : les produits plats .....	94
<b>PROPRIÉTÉS ARCHITECTURALES ET CONSTRUCTIVES</b> .....			97
Symbolique .....	97	Transparence et lumière .....	99
Forme et expression structurelle .....	97	Confort high-tech .....	100
<b>PROPRIÉTÉS PHYSIQUES</b> .....			101
Résistance mécanique .....	101	Risques de corrosion .....	102
Comportement thermique .....	102	Comportement au feu .....	103
<b>APPROCHE ENVIRONNEMENTALE</b> .....			104
Impact environnemental de la fabrication .....	104	Impact lors de la mise en œuvre sur chantier ..	105
Les matières premières des hauts fourneaux .....	104	<b>Vie en œuvre</b> .....	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		<b>Fin de vie. Capacité du système</b>	
du transport .....	105	<b>à se renouveler</b> .....	106

## CHAPITRE 4

# LES BÉTONS ET LES AUTRES LIANTS HYDRAULIQUES

## LE BÉTON

<b>REPÈRES HISTORIQUES</b> .....			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
<b>ÉLABORATION ET MISE EN ŒUVRE</b> .....			112
Composition .....	112	Prise du ciment .....	115
Le ciment .....	112	Les types de ciment .....	116
Les agrégats .....	113	<b>Mise en œuvre des bétons</b> .....	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
<b>Procédés de fabrication du ciment</b> .....	115	<b>Matériaux isolants à base de béton</b> .....	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



<b>PROPRIÉTÉS ARCHITECTURALES ET CONSTRUCTIVES</b> .....			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
<b>PROPRIÉTÉS PHYSIQUES</b> .....			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	<b>Comportement au feu</b> .....	127
Conductivité thermique.....	126	La réaction au feu.....	127
Inertie thermique.....	126	La résistance au feu.....	127
<b>APPROCHE ENVIRONNEMENTALE</b> .....			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	<b>Vie en œuvre</b> .....	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
<b>Rejets polluants</b> .....	128	<b>Fin de vie. Capacité du système à se renouveler</b> .....	129
Dégagement CO <sub>2</sub> .....	128		

## LA CHAUX

<b>LES CHAUX NATURELLES</b> .....			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		
<b>LES CHAUX ARTIFICIELLES (HL)</b> .....			131

## LE PLÂTRE

<b>FABRICATION</b> .....			132
Extraction du gypse.....	132	Gâchage.....	132
Cuisson.....	132		
<b>MISE EN ŒUVRE</b> .....			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		
<b>PROPRIÉTÉS</b> .....			135
Porosité.....	135	Résistance au feu.....	135

## LA PIERRE

<b>REPÈRES HISTORIQUES</b> .....			137
Pierre de taille et pierre maçonnée .....	137	La pierre à l'ère industrielle .....	139
<b>ÉLABORATION ET MISE EN ŒUVRE</b> .....			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	<b>Matériaux isolants à base de roches</b> .....	142
Extraction .....	141	Laine de roche .....	142
		Aérogel de silice : les supers isolants .....	143
<b>PROPRIÉTÉS ARCHITECTURALES ET CONSTRUCTIVES</b> .....			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		
<b>PROPRIÉTÉS PHYSIQUES</b> .....			146
Masse volumique .....	146	Porosité, imperméabilité .....	146
Résistance mécanique .....	146	Comportement thermique et comportement au feu .....	147
Dureté et degré d'usure .....	146		
<b>APPROCHE ENVIRONNEMENTALE</b> .....			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

<b>REPÈRES HISTORIQUES</b> .....			149
Un matériau millénaire .....	149	Un renouveau par étapes .....	150
<b>ÉLABORATION ET MISE EN ŒUVRE</b> .....			151
Origine et constitution .....	151	<b>Les techniques de mise en œuvre</b> .....	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	<b>Types d'ouvrages</b> .....	153
Identification .....	151	Gros-œuvre .....	153
Propriétés physiques fondamentales de la terre ..	152	Second-œuvre .....	153
Amélioration des terres .....	152	Infrastructures .....	153

<b>PROPRIÉTÉS ARCHITECTURALES ET CONSTRUCTIVES</b> .....	154		
Symbolique et expression structurelle .....	154	Ambiances et confort .....	155
Lumière, couleur et textures.....	154		
<b>PROPRIÉTÉS PHYSIQUES</b> .....			155
Résistance mécanique.....	155	Résistance aux agressions extérieures.....	155
Propriétés thermiques.....	155		
<b>APPROCHE ENVIRONNEMENTALE</b> .....			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

<b>REPÈRES HISTORIQUES</b> .....			157
De la poterie aux murs de briques .....	157	L'industrialisation des briqueteries .....	157
<b>ÉLABORATION ET MISE EN ŒUVRE</b> .....			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	<b>Matériaux isolants à base de terre cuite</b> .....	162
Façonnage .....	159	Les briques « monomur ».....	162
Séchage.....	159	L'argile expansée .....	162
Cuisson.....	160		
<b>PROPRIÉTÉS ARCHITECTURALES ET CONSTRUCTIVES</b> .....			163
Symbolique et expression structurelle .....	163	Parement et ornement .....	163
<b>PROPRIÉTÉS PHYSIQUES</b> .....			165
Résistance mécanique.....	165	Porosité.....	165
Comportement thermique et résistance au feu	165		
<b>APPROCHE ENVIRONNEMENTALE</b> .....			165
Impact environnemental de la fabrication.....	165	Les territoires de production : incidence énergétique du transport.....	166
Carrières d'extraction .....	165	<b>Mise en œuvre, vie et fin de vie d'une construction en terre</b> .....	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

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

## CHAPITRE 7 LE CAS PARTICULIER DES POLYMÈRES

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

<b>PROPRIÉTÉS ARCHITECTURALES ET CONSTRUCTIVES</b> .....	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
<b>PROPRIÉTÉS PHYSIQUES</b> .....	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		
<b>APPROCHE ENVIRONNEMENTALE</b> .....	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
--------------------	-----	--------------------	-----

<b>INDEX</b> .....			215
--------------------	--	--	-----