

Benchmark biosourcés in the world

PANORAMA DE L'USAGE DES MATÉRIAUX
DE CONSTRUCTION BIOSOURCÉS DANS 15 PAYS



Sommaire synthétique

1	SOMMAIRE ET REFERENCES	4
1.1	SOMMAIRE DETAILLE	4
1.2	TABLE DES ILLUSTRATIONS	9
2	INTRODUCTION	12
3	CONTEXTE, OBJECTIFS ET METHODOLOGIE	14
3.1	CONTEXTE	14
3.2	MATERIAUX DE CONSTRUCTION BIOSOURCES	15
3.3	OBJECTIFS ET METHODOLOGIE	15
4	APPROCHES THEMATIQUES	18
4.1	LES RESSOURCES	18
4.2	LES POLITIQUES PUBLIQUES	32
4.3	L'INNOVATION	40
4.4	LE BATI VERNACULAIRE	47
4.5	ARCHITECTURE INNOVANTE	56
5	APPROCHE PAR PAYS	68
5.1	MAROC	69
5.2	SENEGAL	74
5.3	EMIRATS ARABES UNIS	79
5.4	CHINE, YUNNAN	86
5.5	INDE, KARNATAKA	93
5.6	AUSTRALIE	100
5.7	BRESIL	104
5.8	CANADA	111
5.9	COLOMBIE	118
5.10	ETATS UNIS D'AMERIQUE, OREGON	124
5.11	ROYAUME-UNI	131
5.12	FRANCE	137
5.13	SUEDE	145

6	<u>DOCUMENTS DE REFERENCE</u>	<u>151</u>
7	<u>ANNEXES.....</u>	<u>157</u>
7.1	PARTENAIRES DE L'ETUDE	157
7.2	LA BIOECONOMIE ET LE CLIMAT	159
7.3	RADARS SYNTHESE DES PAYS : CRITERES DE NOTATION	162
8	<u>SYNTHESE ET CONCLUSION</u>	<u>163</u>
8.1	CONTEXTE DE L'ETUDE : MOTIVATIONS, OBJECTIFS ET METHODOLOGIE.....	163
8.2	LES RESSOURCES	164
8.3	L'INNOVATION TECHNOLOGIQUE	165
8.4	LES POLITIQUES PUBLIQUES.....	165
8.5	BATI VERNACULAIRE ET ARCHITECTURE INNOVANTE	166
8.6	POTENTIELS ET PERSPECTIVES	167

1 Sommaire et références

1.1 Sommaire détaillé

1	SOMMAIRE ET REFERENCES	4
1.1	SOMMAIRE DETAILLE.....	4
1.2	TABLE DES ILLUSTRATIONS	9
2	INTRODUCTION	12
3	CONTEXTE, OBJECTIFS ET METHODOLOGIE	14
3.1	CONTEXTE	14
3.2	MATERIAUX DE CONSTRUCTION BIOSOURCES	15
3.2.1	Définition	15
3.2.2	Périmètre de l'étude	15
3.3	OBJECTIFS ET METHODOLOGIE.....	15
3.3.1	Etablissement du panel de pays de l'étude	16
3.3.2	Approfondissement de la situation dans 5 pays	17
4	APPROCHES THEMATIQUES	18
4.1	LES RESSOURCES	18
4.1.1	Matériaux de construction : besoins et ressources	18
4.1.2	La bio-économie, retour aux sources.....	20
4.1.3	Les différents types de biomasse, leurs disponibilités, les possibilités et l'intérêt de les utiliser dans la construction.....	22
4.1.4	Filières locales	24
4.1.5	Biomatériaux de construction : où, pourquoi, comment ?	25
4.1.6	Exemples de ressources : La filière Chanvre en France	27
4.1.7	Exemples de ressources : Le bambou <i>Guadua</i> , « l'acier végétal »	28
4.1.8	Exemples de ressources : La Ouate de cellulose, économie circulaire biosourcée.....	29
4.1.9	Exemples de ressources : Le palmier d'eau, une espèce multifonctionnelle.....	30
4.1.10	Exemples de ressources : Le Typha, d'une plante nuisible à de nouvelles opportunités de valorisation	31
4.2	LES POLITIQUES PUBLIQUES.....	32
4.2.1	Les mesures réglementaires :	32
4.2.2	Les mesures fiscales et financières :	32
4.2.3	Les mesures d'information, de communication et de formation :	34
4.2.4	Les politiques d'achat public préférentiel :	35
4.2.5	Les mesures d'organisation de filière :	35
4.2.6	Exemples de politiques publiques / SENEGAL : « Transfert de Technologies : Production de Matériaux d'Isolation thermique à base de Typha au Sénégal »	36
4.2.7	Exemples de politiques publiques / Grande-Bretagne : Le Green Deal	37
4.2.8	Exemples de politiques publiques / France : Le label bâtiment biosourcé,	38
4.2.9	Exemples de politiques publiques / Colombie : La modification du code de l'urbanisme.....	39

4.3	L'INNOVATION	40
4.3.1	Diversité des sources et des objectifs	40
4.3.2	L'ingénierie du « vide »	41
4.3.3	Approche multi-physique et transdisciplinaire	42
4.3.4	Valorisation des bioressources dans la construction	43
4.3.5	Exemples de démarches d'innovation	45
4.4	LE BÂTI VERNACULAIRE	47
4.4.1	Historique et définition	47
4.4.2	Les notions associées au concept « vernaculaire »	47
4.4.3	Le bâti vernaculaire, un catalyseur du développement urbain durable entre tradition et innovation continue.....	48
4.4.4	Une logique en apparence incompatible avec la densité et les modes de vie urbains modernes	49
4.4.5	Omniprésence des matériaux biosourcés dans la construction vernaculaire.....	49
4.4.6	Les freins et les leviers d'une massification	50
4.4.7	Techniques vernaculaires pour constructions innovantes.....	51
4.5	ARCHITECTURE INNOVANTE	56
4.5.1	GRANDE-BRETAGNE : Marks & Spencer Cheshire Oaks.....	56
4.5.2	COLOMBIE : CARDER, Corporación Autónoma Regional de Risaralda,	57
4.5.3	France : Groupe Scolaire Stéphane Hessel / Les Zéfirottes	58
4.5.4	SENEGAL : THREAD, résidence d'artistes & centre culturel	59
4.5.5	VIETNAM : S House	60
4.5.6	Architectes du biosourcés, portaits	61
4.5.7	Constructions biosourcées innovantes	64
5	APPROCHE PAR PAYS	68
5.1	MAROC	69
5.1.1	Introduction	69
5.1.2	Chronologie des politiques publiques et de la réglementation	70
5.1.3	Les filières de matériaux de construction biosourcés	70
5.1.4	Focus architecture.....	71
5.1.5	Acteurs clés	71
5.1.6	Bibliographie et webographie	72
5.1.7	Atouts / Faiblesses / Opportunités / Risques.....	72
5.1.8	Radars Synthèses	73
5.1.9	Perspectives	73
5.2	SENEGAL	74
5.2.1	Introduction	74
5.2.2	Les filières de matériaux de construction biosourcés	75
5.2.3	Innovation Technologique	75
5.2.4	Normes, Règlementations, Certifications	76
5.2.5	Focus architecture.....	76
5.2.6	Acteurs clés	77
5.2.7	Bibliographie et webographie	77
5.2.8	Atouts / Faiblesses / Opportunités / Risques.....	77
5.2.9	Radars Synthèses	78
5.2.10	Perspectives	78
5.3	EMIRATS ARABES UNIS	79
5.3.1	Introduction	79
5.3.2	Chronologie des politiques publiques et de la réglementation	80
5.3.3	Les filières de matériaux de construction biosourcés	81
5.3.4	Potentiels de développement de la filière aux Emirats Arabes Unis	81
5.3.5	Innovation Technologique	82
5.3.6	Normes, Règlementations, Certifications	82
5.3.7	Focus architecture.....	83
5.3.8	Acteurs clés	83
5.3.9	Bibliographie et webographie	84
5.3.10	Atouts / Faiblesses / Opportunités / Risques.....	84
5.3.11	Radars Synthèses	85
5.3.12	Perspectives	85
5.4	CHINE, YUNNAN	86

5.4.1	Introduction	86
5.4.2	Chronologie des politiques publiques et de la réglementation	88
5.4.3	Les filières de matériaux de construction biosourcés	88
5.4.4	Innovation Technologique	89
5.4.5	Normes, Règlementations, Certifications	89
5.4.6	Focus architecture.....	90
5.4.7	Acteurs clés	90
5.4.8	Bibliographie et webographie	90
5.4.9	Atouts / Faiblesses / Opportunités / Risques.....	91
5.4.10	Radars Synthèses	91
5.4.11	Perspectives	92
5.5	INDE, KARNATAKA.....	93
5.5.1	Introduction	93
5.5.2	Chronologie des politiques publiques et de la réglementation	94
5.5.3	Les filières de matériaux de construction biosourcés	95
5.5.4	Innovation Technologique	96
5.5.5	Normes, Règlementations, Certifications	96
5.5.6	Focus architecture.....	96
5.5.7	Acteurs clés	97
5.5.8	Bibliographie et webographie	97
5.5.9	Atouts / Faiblesses / Opportunités / Risques.....	98
5.5.10	Radars Synthèses	98
5.5.11	Perspectives	99
5.6	AUSTRALIE.....	100
5.6.1	Introduction	100
5.6.2	Chronologie des politiques publiques et de la réglementation	101
5.6.3	Les filières de matériaux de construction biosourcés	101
5.6.4	Innovation Technologique :	101
5.6.5	Normes, Règlementations, Certifications	101
5.6.6	Focus architecture.....	102
5.6.7	Acteurs clés	102
5.6.8	Bibliographie et webographie	102
5.6.9	Atouts / Faiblesses / Opportunités / Risques.....	103
5.6.10	Radars Synthèses	103
5.6.11	Perspectives	103
5.7	BRESIL	104
5.7.1	Introduction	104
5.7.2	Chronologie des politiques publiques et de la réglementation	105
5.7.3	Les filières de matériaux de construction biosourcés	106
5.7.4	Focus architecture.....	107
5.7.5	Acteurs clés	108
5.7.6	Bibliographie et webographie	108
5.7.7	Atouts / Faiblesses / Opportunités / Risques.....	109
5.7.8	Radars Synthèses	109
5.7.9	Perspectives	110
5.8	CANADA	111
5.8.1	Introduction	111
5.8.2	Chronologie des politiques publiques et de la réglementation	112
5.8.3	Les filières de matériaux de construction biosourcés	112
5.8.4	Innovation Technologique	113
5.8.5	Normes, Règlementations, Certifications	114
5.8.6	Focus architecture.....	114
5.8.7	Acteurs clés	115
5.8.8	Bibliographie et webographie	115
5.8.9	Atouts / Faiblesses / Opportunités / Risques.....	116
5.8.10	Radars Synthèses	116
5.8.11	Perspectives	117
5.9	COLOMBIE.....	118
5.9.1	Introduction	118
5.9.2	Chronologie des politiques publiques et de la réglementation	119
5.9.3	Les filières de matériaux de construction biosourcés	120
5.9.4	Innovation Technologique	121
5.9.5	Normes, Règlementations, Certifications	121

5.9.6	Focus architecture.....	121
5.9.7	Acteurs clés	122
5.9.8	Bibliographie et webographie	122
5.9.9	Atouts / Faiblesses / Opportunités / Risques.....	122
5.9.10	Radars Synthèses	123
5.9.11	Perspectives	123
5.10	ETATS UNIS D'AMERIQUE, OREGON	124
5.10.1	Introduction	124
5.10.2	Chronologie des politiques publiques et de la réglementation	125
5.10.3	Les filières de matériaux de construction biosourcés	126
5.10.4	Innovation Technologique	126
5.10.5	Normes, Règlementations, Certifications	127
5.10.6	Focus architecture.....	127
5.10.7	Acteurs clés	128
5.10.8	Bibliographie et webographie	128
5.10.9	Atouts / Faiblesses / Opportunités / Risques.....	129
5.10.10	Radars Synthèses	129
5.10.11	Perspectives	130
5.11	ROYAUME-UNI.....	131
5.11.1	Introduction	131
5.11.2	Chronologie des politiques publiques et de la réglementation	132
5.11.3	Les filières de matériaux de construction biosourcés	133
5.11.4	Innovation Technologique	133
5.11.5	Normes, Règlementations, Certifications	134
5.11.6	Focus architecture.....	134
5.11.7	Acteurs clés	135
5.11.8	Bibliographie et webographie	135
5.11.9	Atouts / Faiblesses / Opportunités / Risques.....	135
5.11.10	Radars Synthèses	136
5.11.11	Perspectives	136
5.12	FRANCE	137
5.12.1	Introduction	137
5.12.2	Chronologie des politiques publiques et de la réglementation	139
5.12.3	Les filières de matériaux de construction biosourcés	139
5.12.4	Innovation Technologique	140
5.12.5	Normes, Règlementations, Certifications	141
5.12.6	Focus architecture.....	141
5.12.7	Acteurs clés	142
5.12.8	Bibliographie et webographie	142
5.12.9	Atouts / Faiblesses / Opportunités / Risques.....	143
5.12.10	Radars Synthèses	143
5.12.11	Perspectives	144
5.13	SUEDE	145
5.13.1	Introduction	145
5.13.2	Chronologie des politiques publiques et de la réglementation	146
5.13.3	Les filières de matériaux de construction biosourcés	146
5.13.4	Innovation Technologique	147
5.13.5	Normes, Règlementations, Certifications	147
5.13.6	Focus architecture.....	148
5.13.7	Acteurs clés	148
5.13.8	Bibliographie et webographie	149
5.13.9	Atouts / Faiblesses / Opportunités / Risques.....	149
5.13.10	Radars Synthèses	150
5.13.11	Perspectives	150
6	DOCUMENTS DE REFERENCE.....	151
6.1.1	The Bioeconomy to 2030	151
6.1.2	The Emerging Biobased Economy	151
6.1.3	Global Bioenergy Supply and Demand Projections.....	151
6.1.4	Les contributions possibles de l'agriculture et de la forêt à la lutte contre le changement climatique, ..	152
6.1.5	World Agriculture: Towards 2015/2030	152

6.1.6	Rapport de Mission – « Les usages non alimentaires de la biomasse »	152
6.1.7	Buildings and Climate Change	153
6.1.8	Pour des bâtiments performants : quels matériaux pour construire et rénover ?	153
6.1.9	Sustainable Construction Materials and Technologies	153
6.1.10	Promoting Energy Efficiency in Buildings : Lessons learned from international experience	153
6.1.11	Matériaux ligno-cellulosiques : « Élaboration et caractérisation »	154
6.1.12	Étude Européenne bois construction – Étude comparative sur l’usage et le développement du bois construction en Europe	154
6.1.13	Le bois dans la construction	154
6.1.14	Exploring climate impacts of timber buildings	155
6.1.15	Bâti vernaculaire et développement urbain durable	155
6.1.16	Market Developments of and Opportunities for bio based products and chemicals	155
6.1.17	Etat des lieux des connaissances actuelles sur le Fonctionnement Hygrothermique des matériaux biosourcés	155
6.1.18	Review of the Environmental Impacts of Bio based Materials	156
6.1.19	Benchmark international des dispositifs de soutien aux produits biosourcés et applicabilité à la France	156
6.1.20	Le soutien apporté aux produits biosourcés dans le cadre des marchés publics	156

7 ANNEXES..... 157

7.1	PARTENAIRES DE L’ETUDE.....	157
7.1.1	ADEME	157
7.1.2	ARENE Île-de-France	157
7.1.3	Arts et Métiers - Campus de Cluny	157
7.1.4	BioBuild Concept	158
7.1.5	Direction de l’habitat, de l’urbanisme et des paysages	158
7.1.6	Nomadéis	159
7.2	LA BIOECONOMIE ET LE CLIMAT.....	159
7.3	RADARS SYNTHESE DES PAYS : CRITERES DE NOTATION.....	162
7.3.1	Situation actuelle	162
7.3.2	Perspectives	162

8 SYNTHÈSE ET CONCLUSION..... 163

8.1	CONTEXTE DE L’ETUDE : MOTIVATIONS, OBJECTIFS ET METHODOLOGIE.....	163
8.2	LES RESSOURCES.....	164
8.3	L’INNOVATION TECHNOLOGIQUE.....	165
8.4	LES POLITIQUES PUBLIQUES.....	165
8.5	BATI VERNACULAIRE ET ARCHITECTURE INNOVANTE.....	166
8.6	POTENTIELS ET PERSPECTIVES.....	167

1.2 Table des illustrations

Figure 1: Panorama des 14 pays sélectionnés dans le cadre de l'étude	16
Figure 2 : Utilisations des sols et populations des pays de référence	16
Figure 3 : Consommation d'énergie, impact climat et vulnérabilité des pays de références	17
Figure 4 : Roselière -Reed beds River Nadder at Harnham BY Col.51 CC-BY-SA-3.0	18
Figure 5 : Sable extraction - Sand mining with suction pumps BY Sumaira Abdulali CC-BY-SA-3.0	18
Figure 6 : Evolution de l'utilisation mondiale des matériaux 1900 à 2005 (Giga T) Source des données : Krausmann and al. / Graphe : BioBuild Concept.....	18
Figure 7: Emissions de gaz à effet de serre en kg eq CO2/m2 Shon/an pour des bâtiments performants sur le plan énergétique – Source des données : HQE Performance Première tendance pour des bâtiments neufs / Graphe : BioBuild Concept	19
Figure 8: Comparaison de l'utilisation de la biomasse et des matériaux fossiles - Evolution de 1900 à 2005 - Source des données : Krausmann and al. / Graphe : BioBuild Concept	20
Figure 9 : Photo Courtesy © enhaut.org	21
Figure 10: Bioressources françaises. Source BioBuildConcept	21
Figure 11: Utilisations des bioressources. Source BioBuild Concept.....	22
Figure 12: Origines des bioressources. Source BioBuild Concept.....	22
Figure 13 : Forêt - Courtesy © M Boyeux	22
Figure 14 : Champ de Blé, près de Bréauté BY Inkey CC-BY-SA-3.0.....	22
Figure 15 : Moutons - Waldschafe BY 3268 zauber CC-BY-SA-3.0.....	23
Figure 16 : Alfatière - Atochar 2601 BY Balle s2601 CC-BY-SA-3.0	23
Figure 17 : Papier recyclé – pape -recycling dump-1442182 Freeimage.com BY Jendo Neversil.....	23
Figure 18 : Algues - seaweed-1382164 Freeimages.com BY Aki Fukaki	23
Figure 19 : La maison aux algues – Droits Réservés	24
Figure 20 : Moudhifs Droits Réservés.....	25
Figure 21 : Toiture en palme Yucatan - Courtesy © M Boyeux et L Lénée-Corrèze (2)	25
Figure 22 : Ouate de carton – Courtesy Idem © Citron Givré	26
Figure 23 : Bloc bétons de chanvre - Maison de l'Habitat Clermont Ferrand / Courtesy © A Duverger.....	26
Figure 24 : Projection de béton de chanvre -Courtesy AKTA.....	26
Figure 25 : Filière chanvre - France 2009 - Source : CenC M de Korff	27
Figure 26: Chènevis - Hemp seeds BY Fluffymuppet CC BY-NC	27
Figure 27 : Culture de chanvre industriel pour les fibres et les graines BY Aleks - CC-BY-SA-3.0.	27
Figure 28 : Forêt de bambou - Bamboo By Ted - CCBY-SA.....	28
Figure 29 : Kerala - Bamboo BY ReflectedSerendipity CC-BY-SA.....	28
Figure 30 : Ouate de cellulose BY Ivanko123 CC BY.....	29
Figure 31: Ouate de Cellulose - mise en œuvre BY Community Environmental Center CC BY-NC.....	29
Figure 32 : Palmier d'eau BY Ria Tan CC BY-NC-ND	30
Figure 33 : Palme Courtesy © - Courtesy © M Boyeux et L Lénée-Corrèze	30
Figure 34: Typha – Bullrush (Typha_orientalis) (9874533694) BY Bernard DUPONT CC-BY-SA-2.0	31
Figure 35 : Bottes de typha Courtesy © Le Goff.....	31
Figure 36 : Typha Mauritanie Courtesy © enhaut.org	36
Figure 37 : Grands Ateliers de l'Isle d'Abeau Courtesy© CRATERRE	36
Figure 38 : Toiture chaume Courtesy © Le Goff.....	36
Figure 39 : Structures microscopiques des tiges de chanvre et de roseaux - Source : CERMAV	41
Figure 40 : Béton de chanvre ©HA Segalen.....	42
Figure 41 : Eprouvettes bétons végétaux - © HA Segalen	42
Figure 42 : Matériaux de construction biosourcés : bois, chanvre, bambou, roseaux, céréales – Droits réservés	43
Figure 43: Ouate de carton NOVIDEM - Courtesy IDEM © Citron Givré.....	44
Figure 44 : Présentation des produits terre-typha aux Grands Ateliers de l'Isle d'Abeau – Courtesy © CRATERRE	45
Figure 45: Maison Diocésaine Odette Prevost - Courtesy M'Cub © Luc Boegly.....	46
Figure 46 : Les notions associées au concept de bâti vernaculaire – Source Nomadéis.....	47

Figure 47: Maison revêtement algues, Danemark - © Helen Hoyer Mikkelsen	51
Figure 48: Observatoire ornithologique Täkern, Suède © èke Eson Lindman.....	52
Figure 49: Ecole maternelle Aknaibich, Maroc © Franck Stabe	53
Figure 50: Centre de la Biodiversité, Beautour, France - © Willy Berré.....	54
Figure 51 : Programme Terre paille, Ayacoucho, Argentine - ©M Boyeux et L Lénée-Corrèze	55
Figure 52: Formation chaume Sénégal © LE GOFF	55
Figure 53 : Chaumière, France Courtesy-LE GOFF © Jean-Jacques BERNIER	55
Figure 54 : Marks & Spencer Cheshire Oaks – Sources : sites de référence	56
Figure 55 : : Marks & Spencer Cheshire Oaks Courtesy Yan Prichett	56
Figure 56 : CARDER, Corporación Autónoma Regional de Risaralda, Photos Droits réservés.....	57
Figure 57 : Simon Velez, la technologie du bambou – BY BBC World Service CC BY-NC Courtesy Simon Velez.....	57
Figure 58 : Groupe Scolaire Stéphane Hessel / Les Zéfirottes - Courtesy M’Cub © Luc Boegly	58
Figure 59 : Groupe Scolaire Stéphane Hessel - Les Zéfirottes, Construction – Courtesy M’Cub ©Izabel Da Silva	58
Figure 60 : THREAD, résidence d'artistes & centre culturel, Courtesy © Toshiko Mori.....	59
Figure 61 : S House, Vo Trong Nghia Architects - Courtesy Vo Trong Nghia Architects © Hiroyuki Oki 30 / Droits réservés	60
Figure 62 : Bamboo Wings Courtesy Vo Trong Nghia Architects © Hiroyuki Oki 20.jpg	61
Figure 63 : Paluel - Courtesy CoBe © Luc Boegly	61
Figure 64 : Maison de l'habitat à Nantes © Patrick Miara	62
Figure 65: Bug Dome - Courtesy Marco Casagrande © Nikita Wu	62
Figure 66: Simón Vélez – Photos © Deidi von Schaewen (5).....	63
Figure 67 : Dai Lai Hall Vo Trong Nghia - Courtesy Vo Trong Nghia Architects © Hiroyuki Oki 5	64
Figure 68: Pavillon de la chine Milan - © Sergio Grazia A_Ext_004_Sergio_Grazia	65
Figure 69: Maison des Arts de Montbonnot - Courtesy Atelier Donjerkovic © Philippe Donjerkovic	66
Figure 70 : Bamboo Temporary Dormitories refugees Thailand - Courtesy © Argora Architects	67
Figure 71: Pavillon éphémère de l'IMA - Courtesy Oualalou+Choi © Luc Boegly.....	67
Figure 72 : Panorama des 14 pays sélectionnés dans le cadre de l'étude	68
Figure 73 : Carte du Maroc – Données cartographiques ©2016 Google, Inst. Geogr. Nacional.....	69
Figure 74 : Maroc Architecture vernaculaire et architecture innovante – Crédits photographique en bas de page.....	71
Figure 75: : Maroc - Synthèse perspectives	73
Figure 76 : Maroc - Synthèse situation actuelle.....	73
Figure 77: Carte Sénégal - Données cartographiques ©2016 Google	74
Figure 78 : Sénégal, architecture innovante et hébergements touristiques.....	76
Figure 79 : Sénégal, cases traditionnelles	76
Figure 80 : Sénégal - Synthèse perspectives	78
Figure 81 : Sénégal Synthèse situation actuelle.....	78
Figure 82 : Carte Emirats Arabes Unis - Données cartographiques ©2016 Google	79
Figure 83 : Barasti, Emirats Arabes Unis.....	83
Figure 84 : Masdar, Emirats Arabes Unis	83
Figure 85: Emirats Arabes Unis - Synthèse situation actuelle	85
Figure 86 : Emirats Arabes Unis - Synthèse perspectives.....	85
Figure 87: Carte Yunnan (Chine) - Données cartographiques ©2016 Google	86
Figure 88 : Maison étagées, Yunnan - Droits Réservés	90
Figure 89 : Pavillon de la Chine, Milan ©Sergio Grazia	90
Figure 90 : Chine (Yunnan) - Synthèse perspectives.....	91
Figure 91 : Chine (Yunnan) – Synthèse situation actuelle	91
Figure 92: Carte Karnataka (Inde) - Données cartographiques ©2016 Google	93
Figure 93 : Maison d'habitation (Archi. Bijoy Jain) -Photo. Droits Réservés	96
Figure 94 : Habitat traditionnel Bunt (Crédits photographiques en bas de page).....	96
Figure 95 : Inde - Synthèse perspectives.....	98
Figure 96: : Inde - Synthèse situation actuelle	98
Figure 97: Carte Australie - Données cartographiques ©2016 Google	100
Figure 98 : Australian Wildlife Hospital (Crédits photographiques en bas de page)	102
Figure 99 : Australie Bush Hut (Crédits photographique en bas de page)	102

Figure 100 : Australie - Synthèse perspectives	103
Figure 101: Australie - Synthèse situation actuelle	103
Figure 102 : Carte Brésil - Données cartographiques ©2016 Google	104
Figure 103 : Habitation du Maranhão - Crédit photo. Índios isolados no estado brasileiro do Acre BY Gleilson Miranda Governo do Acre - CC BY	107
Figure 104 : Brésil, Ecole en bambou - Crédit photo DR	107
Figure 105 : Brésil - Synthèse perspectives	109
Figure 106: Brésil – Synthèse situation actuelle	109
Figure 107 : Carte Canada - Données cartographiques ©2016 Google	111
Figure 108 : Canada, Construction en bois ronds	114
Figure 109 : Canada, Wood innovation and design centre - MGA Architect	114
Figure 110 : Canada- Synthèse perspectives	116
Figure 111: Canada - Synthèse situation actuelle	116
Figure 112 : Carte Colombie - Données cartographiques ©2016 Google	118
Figure 113 : COLOMBIA Guadua construccion BY Carolina Zuluaga - CC BY NC	121
Figure 114 : Ciudad Perdida BY McKay SAVAGE - CC BY	121
Figure 115 : COLOMBIA Biblioteque Guanacas BY Simon Hosie Architecte - DR	121
Figure 116 : Colombie - Synthèse perspectives	123
Figure 117: Colombie - Synthèse situation actuelle	123
Figure 118 : Carte Oregon (Etats-Unis) - Données cartographiques ©2016 Google	124
Figure 119 : Maisons ossatures bois - Portland Oregon	127
Figure 120 : Hummingbird Wholesale	127
Figure 121: : Etats-Unis (Oregon)- Synthèse situation actuelle	129
Figure 122 : Etats-Unis (Oregon)- Synthèse perspectives	129
Figure 123 : Carte Royaume-Uni - Données cartographiques ©2016 Google	131
Figure 124 : English cottages	134
Figure 125 : Vet School Nottingham	134
Figure 126 : Royaume-Uni - Synthèse perspectives	136
Figure 127: Royaume-Uni - Synthèse situation actuelle	136
Figure 128 : Carte France - Données cartographiques ©2016 Google	137
Figure 129 : Colombages ©BBoyeux	141
Figure 130 : Bordeaux Collège Aliénor d'Aquitaine - DR	141
Figure 131 : France - Synthèse perspectives	143
Figure 132 : France - Synthèse situation actuelle	143
Figure 133 : Carte Suède - Données cartographiques ©2016 Google	145
Figure 134 : Suède, Maisons traditionnelles (Crédits photos. en bas de page)	148
Figure 135 : Suède, Limnologen - DR	148
Figure 136 : Suède - Synthèse perspectives	150
Figure 137 : Suède – Synthèse situation actuelle	150

2 Introduction

Face aux besoins croissants en matières premières, à la prise de conscience de la finitude des ressources minérales et aux conséquences sur le développement durable, de nombreux secteurs d'activités se tournent vers les potentiels offerts par la biomasse. On assiste donc à un redéploiement de la bio-économie. Le monde de la construction – qui consomme près de 60% des matières minérales extraites – ne peut échapper à cette tendance et les initiatives se multiplient.

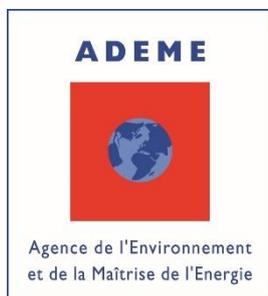
Pour en avoir une vision plus précise, les Arts et Métiers - Campus de Cluny - et BioBuild Concept ont mené une étude s'appuyant sur un panel de quatorze pays. Cette étude, Bio World Resource Benchmark, a été soutenue par l'ADEME¹, la DHUP² et l'ARENE Ile de France³. Elle a également bénéficié de l'expertise du cabinet Nomadéis.

L'ambition est double : d'une part, acquérir, à l'échelon international, un premier niveau de connaissance sur les ressources disponibles, la maturité – scientifique, technique, réglementaire, économique, etc. – des filières ou encore sur les politiques publiques. D'autre part, l'objectif est d'attirer l'attention sur la problématique des matériaux de construction et d'évaluer le potentiel de réponse de la bio-économie.

Le choix des pays composant le panel a tenu compte d'une répartition géographique ainsi que de différenciations significatives concernant différentes données (PIB, urbanisation, consommation d'énergie, production de gaz à effet de serre, vulnérabilité au changement climatique, etc.). L'étude a ensuite été menée selon deux axes :

- d'une part en évaluant, pour chacun des pays du panel, la situation actuelle, les potentiels et les perspectives de développement en ce qui concerne les matériaux de construction biosourcés,
- d'autre part, en procédant à des analyses thématiques sur quatre sujets : les ressources, l'innovation, les politiques publiques et la valorisation des techniques de construction vernaculaires par une architecture innovante. Différents exemples de bonnes pratiques viennent conforter chacune de ces thématiques.

L'étude est complétée par la présentation de vingt documents de références.



Dans un contexte de dérèglements climatiques et d'urbanisation croissante, alors que les bâtiments sont aujourd'hui responsables de plus de 30% des émissions globales de gaz à effet de serre (GES) et que cette tendance s'accroît, l'utilisation de matériaux biosourcés dans la construction semble porteuse de solutions d'avenir.

L'objectif de l'ADEME est de soutenir le développement de produits biosourcés dont les performances environnementales sont supérieures à celles de leurs équivalents produits à partir de matières fossiles. En plus de vingt ans, l'ADEME a financé de nombreux projets de recherche et développement, ainsi que des études dans le domaine des bioressources : produits biosourcés pour la chimie et les matériaux, biocarburants, bois énergie, briques de terre, etc. Ces travaux ont favorisé les innovations et l'émergence de nouvelles filières, qui présentent un potentiel important de création d'emplois et de valorisation de savoir-faire locaux. En France, divers projets de démonstration tournés vers les produits biosourcés et financés dans le cadre du Programme d'Investissements d'Avenir, contribuent à la structuration de filières industrielles issues de ressources renouvelables.

L'étude présentée ici donne une vision globale du développement actuel et du dynamisme des filières à base de matériaux biosourcés pour la construction dans le monde. Elle a permis d'améliorer nos connaissances de l'état de maturité de ces filières ainsi que des perspectives de développement futur.

Dominique CAMPANA, Directrice de l'Action Internationale à l'ADEME

¹ Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie

² La Direction de l'habitat, de l'urbanisme et des paysages (DHUP) fait partie de la Direction générale de l'aménagement, du logement et de la nature rattachée au Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie et au Ministère du logement, de l'égalité des territoires et de la ruralité

³ Agence régionale de l'environnement et des nouvelles énergies d'Ile de France.



Il y a derrière les termes de « matériaux biosourcés » une multitude d'entrées, une foison d'informations qui sont autant de matière à échanges, à usages et à confrontations. On a l'impression de connaître. Et pourtant, à côté de ce lin, de cette paille ou de ce chanvre, figurent le typha, le liège ou le bambou. Chacun a des points communs, de l'utilisation aux savoir-faire locaux dans le bâti, dans la rénovation, dans l'énergie. La croissance verte ouvre l'ère de la bio-économie. Derrière la tradition se profile la modernité pouvant apporter des éléments porteurs de développement durable, nécessaires aux besoins immédiats et futurs tels que l'accroissement de la population ou la lutte contre le dérèglement climatique.

L'ARENE attend beaucoup de cette nouvelle étude « saga du biosourcé à travers le monde ». Elle s'inscrit dans une continuité d'actions qui, du bâti vernaculaire, en passant par la connaissance des matériaux biosourcés en Île-de-France et de ses « possibles » filières, doit permettre d'orienter et d'agir.

Christelle Insergueix, directrice du pôle Territoires durables et solidaires de l'ARENE Île-de-France - www.arenidf.org



Arts et Métiers est une grande école qui forme des ingénieurs technologues pour l'industrie. Le domaine de la construction comme secteur clef de l'industrie en France offre des opportunités d'emplois pour nos étudiants. C'est, en effet, un domaine en forte évolution car les exigences sur les performances environnementales ne cessent d'augmenter : l'innovation y est constante.

Le réseau des huit campus d'enseignement et de recherche Arts et Métiers s'investit fortement dans ce domaine de la construction, ses savoir-faire sont valorisés par exemple à Lille sur les smart Grids, à Bordeaux sur les performances énergétiques des enveloppes des bâtiments, ou encore à Cluny sur les méthodes d'éco conception et la valorisation de la bio-masse dans la construction.

L'éco-construction est un axe fort de développement du campus Arts & Métiers de Cluny avec la valorisation des ressources locales de bois sous forme de matériaux composites pour la construction, la mise au point de nouveaux matériaux à base de broyat de plant de tournesol pour la fabrication de panneau d'isolation ou encore la mise au point de systèmes constructifs performants pour la réhabilitation de bâtiments anciens.

Le campus Arts & Métiers de Cluny s'est alors naturellement investi en partenariat avec BioBuild Concept, dans l'étude des potentiels de valorisation des bioressources à l'échelle planétaire. L'utilisation de ces ressources qui peut prendre différentes formes, permettra à coup sûr de valoriser les compétences de nos personnels et de nos étudiants ainsi que les plateformes technologiques de notre école pour contribuer au renouveau de notre industrie.

Laurent ARNAUD, Directeur des Arts et Métiers du Campus de Cluny



Les études et les travaux auxquels nous avons participé depuis plusieurs années nous ont convaincu du poids des matériaux de construction sur les différents aspects du développement durable. Ils nous ont également fait prendre conscience de la nécessité d'innover pour pallier des besoins immenses et en croissance exponentielle. Face à cette exigence, deux pistes sont porteuses d'avenir : celle de l'économie circulaire – réduire, réutiliser et recycler – et celle de la bio-économie - source de matières premières bas-carbone et renouvelables.

La veille que nous menons au sein de BioBuild Concept sur les matériaux de construction biosourcés faisant ressortir l'émergence d'une dynamique dans différents pays, il nous parut nécessaire d'avoir une vision plus précise de la situation et de porter, au côté des Arts et Métiers de Cluny, une étude sur le sujet.

Cette première étude demandera à être complétée mais, déjà à ce niveau, les résultats confortent nos analyses préalables : non seulement les ressources et les bénéfiques potentiels pour la planète sont immenses, mais les différents ingrédients nécessaires à un développement significatif sont réunis.

Le monde du bâtiment peut entrer dans l'ère de la bio-économie.

Bernard BOYEUX, Directeur Général de BioBuild Concept

3 Contexte, objectifs et méthodologie

3.1 Contexte

Au début du XXe siècle, la biomasse fournissait plus de 75% des besoins mondiaux en matières premières. Cent ans plus tard, cette consommation est multipliée par huit tandis que la biomasse n'en représente plus que 30%. La planète est passée d'une économie biosourcée à une économie du minéral, entraînant d'énormes productions de CO2 et modifiant l'équilibre entre les puits de carbone. La raréfaction de certaines matières fossiles essentielles à l'économie a fait prendre conscience, à la fin du XXe siècle, que la ressource minérale n'est pas infinie et ne saura alimenter encore très longtemps un monde de plus en plus gourmand. Une seconde prise de conscience, celle du changement climatique, est venue accentuer les inquiétudes face à la raréfaction des matières premières.

L'utilisation de matières issues de biomasse apporte des réponses à ce double questionnement qui touche la planète dans sa globalité. D'une part, il s'agit d'une ressource abondante et, surtout, renouvelable. D'autre part, contrairement à la lithosphère qui ne réintègre que très lentement du carbone, la biosphère absorbe à peu près autant de CO2 qu'elle en produit.

De nombreux pays ont donc mis en place des politiques encourageant un redéploiement de la bio-économie. C'est, par exemple, le cas avec des programmes comme Biopreferred aux Etats-Unis qui incitent les organismes fédéraux à privilégier les produits biosourcés dans leurs achats, ou au Brésil qui annoncent leur volonté d'être le leader mondial de la bio-économie d'ici 2020. Dans l'Union Européenne, la démarche Lead Markets Initiative for Europe désigne la bio-économie comme l'un des marchés d'avenir les plus prometteurs. En dehors de la priorité qui doit être réservée aux productions alimentaires, cette bio-économie s'attache aujourd'hui majoritairement à la production d'énergie mais des

secteurs comme la chimie sont de plus en plus concernés. Les producteurs de matériaux de construction commencent à s'y impliquer bien que le domaine reste peu identifié et non soutenu par les politiques publiques.

Le secteur du bâtiment (5% du PIB en France, 6,4% en Angleterre, 10% du PIB en Suède ou encore 9% du PIB Canadien) est l'un des principaux secteurs émetteurs de gaz à effet de serre et les matériaux de construction représentent une part de plus en plus significative du bilan global. Les différentes politiques publiques mises en place dans le monde (Plan Bâtiment Durable, la loi sur la Transition Ecologique et Energétique en France, la norme « zéro carbone » et le Climate Change Act en Angleterre, Programme Biopreferred aux Etats-Unis, UAE Green Growth Strategy aux Emirats Arabes Unis, etc) soulignent la nécessaire réduction de l'empreinte carbone globale des bâtiments. Une des clés de réduction se situe à l'échelle des matériaux de construction (90% proviennent de ressources minérales pour les 420 Mt annuelles de la filière anglaise et 401 Mt pour la filière française), notamment par l'utilisation de matériaux biosourcés qui permettent la séquestration d'environ 110kg de carbone/m³. La mobilisation de nouvelles ressources renouvelables pour la construction est indispensable dans l'ensemble du monde, or les initiatives qui y sont développées ne répondent pas encore à l'ambition visée. Les freins sont identifiés (organisation des filières, maturité des solutions techniques, concurrence d'usages, aspects réglementaires, taille critique, compétitivité-prix, acceptabilité, concurrence du secteur de l'énergie, etc.).

3.2 Matériaux de construction biosourcés

3.2.1 Définition

« Les matériaux biosourcés sont, par définition, des matériaux issus de la biomasse d'origine végétale ou animale. Ils couvrent aujourd'hui une large gamme de produits et trouvent de multiples applications dans le domaine du bâtiment et de la construction, en tant qu'isolants (laines de fibres végétales ou animales, de textile recyclé, ouate de cellulose, chènevotte, anas, bottes de paille, etc.), mortiers et bétons (béton de chanvre, de bois, de lin, etc.), panneaux (particules ou fibres végétales, paille compressée, etc.), matériaux composites plastiques (matrices, renforts, charges) ou encore dans la chimie du bâtiment (colles, adjuvants, peintures, etc.).»

Ministère français de l'écologie, du développement durable et de l'énergie

3.2.2 Périmètre de l'étude

L'étude s'intéresse uniquement aux matériaux de construction fabriqués à partir de biomasse, en dehors du bois d'œuvre.

Le bois est bien sûr le matériau de construction biosourcé actuellement le plus utilisé dans la construction. Malgré cela et des analogies importantes avec les autres matériaux biosourcés, les spécificités de la filière bois sont assez différentes de celles des filières biosourcées émergentes.

D'autre part, inclure la globalité de la filière bois dans cette étude aurait exigé d'en élargir périmètre de façon très importante au risque de lui faire perdre sa pertinence. Toutefois, étant donné les similitudes et les complémentarités, les données de la filière bois sont souvent indiquées à titre d'information ou d'exemple.

3.3 Objectifs et Méthodologie

Le premier objectif de l'étude Bio World Resource Benchmark est d'établir un panorama de l'utilisation des matériaux de construction biosourcés sur la planète. Ce travail n'a, bien sûr, pas l'ambition d'être exhaustif. Il s'appuie sur un panel de quatorze pays, répartis sur les différents continents et sélectionnés à partir d'un ensemble de critères permettant de les différencier et de donner à l'étude une vision représentative. Les différents critères concernent la situation géographique et climatique des pays, l'utilisation des terres, la démographie et les prévisions d'évolution, le niveau économique, la consommation d'énergie ainsi que la production de CO₂ par habitat et la vulnérabilité aux aléas climatiques. Pour l'Inde, les Etats-Unis et la Chine, les travaux se sont plus particulièrement concentrés sur les états du Karnataka et de l'Oregon et sur la province du Yunnan.

Globalement Bio World Ressource Benchmark s'est articulé selon deux axes :

- Un premier axe permettant d'identifier des démarches et des pratiques visant à accélérer le développement de la production et de l'utilisation des matériaux de construction biosourcés.
- Un deuxième axe ayant pour objet de approfondir des thématiques transversales en s'appuyant sur des exemples concrets de démarches et de réalisations exemplaires afin de mettre en valeur des bonnes pratiques et les possibilités de

reproduire ces démarches dans un objectif de massification des utilisations. Il a également pour but d'attirer l'attention sur des sujets porteurs de développements significatifs et qui mériteront des études plus approfondies.

3.3.1 Etablissement du panel de pays de l'étude

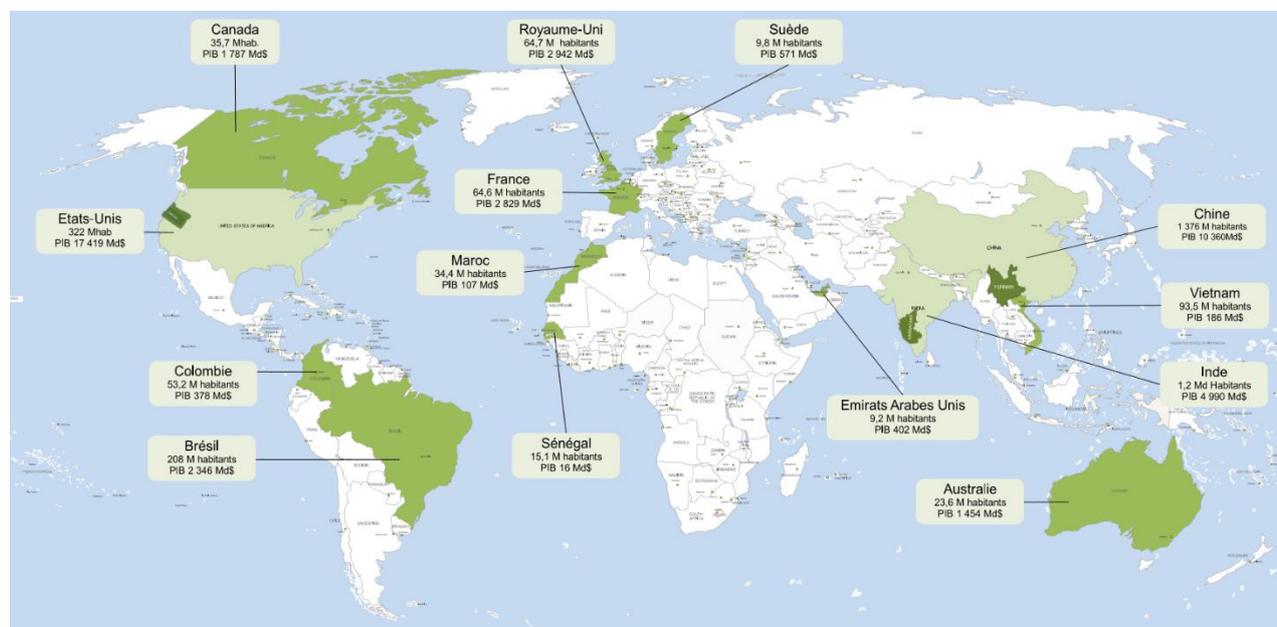


Figure 1: Panorama des 14 pays sélectionnés dans le cadre de l'étude

Les pays sélectionnés présentent des disponibilités en ressources agricoles et forestières par habitant très variables. D'autre part, les démographies devant, selon l'ONU, évoluer de façon extrêmement diversifiée (de -27% à +397% à horizon 2100), ces disponibilités par habitant vont également varier sensiblement.

Pays/Régions	Utilisation des sols					Population					
	Superficie (Km2)	Surface Agricole (% du territoire)	Surface Agricole par habitant (ha)	Surface Forestière (% du territoire)	Surface Forestière par habitant (ha)	Nb Habitant (M) (Estimation ONU 2015)	Nb Habitant (M) (Prév ONU 2030)	% aug /2015	Nb Habitant (M) (Prév ONU 2100)	% aug /2015	Tx Urbanisation
Maroc	446 550	68%	0,88	12%	0,15	34,4	40	16%	41	19%	60%
Sénégal	192 530	47%	0,60	44%	0,56	15,1	23	51%	75	397%	43%
Emirats Arabes Unis	83 600	5%	0,04	4%	0,03	9,2	11	20%	13	46%	85%
Chine	9 388 211	55%	0,37	23%	0,15	1 376,0	1 415	3%	1 004	-27%	54%
Inde	3 287 260	60%	0,15	23%	0,06	1 311,0	1 527	16%	1 660	27%	32%
Vietnam	310 070	35%	0,12	45%	0,15	93,5	105	13%	105	12%	33%
Australie	7 682 300	53%	16,97	19%	6,17	23,9	29	19%	42	77%	89%
Brésil	8 358 140	33%	1,33	62%	2,48	207,8	229	10%	200	-4%	85%
Canada	9 093 510	7%	1,83	34%	8,69	35,7	40	13%	50	40%	82%
Colombie	1 109 500	38%	0,88	54%	1,25	48,3	53	10%	45	-6%	76%
USA	9 147 420	45%	1,27	33%	0,95	321,8	356	11%	450	40%	81%
UK	241 930	71%	0,27	12%	0,04	64,7	70	8%	82	27%	82%
France	547 561	53%	0,45	29%	0,25	64,4	68	6%	76	18%	79%
Suède	407 340	8%	0,31	69%	2,88	9,8	11	10%	15	48%	86%

Figure 2 : Utilisations des sols et populations des pays de référence

La sélection de pays a également pris en compte la diversité des critères économiques et énergétiques ainsi que la sensibilité au changement climatique. Le tableau ci-dessous fait ressortir ces différences et met en évidence que les pays les plus vulnérables au changement climatique (Sénégal, Vietnam) sont également ceux qui produisent le moins de gaz à effet de serre et réciproquement. Cette opposition est également vérifiée pour ce qui concerne le PIB par habitant.

Pays/Régions	Economie		Energie			Impacts Climat			
	PIB (Md\$) Estimation 2015	PIB/Hab (\$) Estimation 2015	En Primaire /an (MT.eq.p)	Énergie Primaire /hab/an (T.eq.p)	% Import énergie (2012)	Emission GEZ (kTeq CO2)	Emission GEZ/hab (Teq CO2) 2012	Indice de vulnérabilité (WRI)	
Maroc	107	3 111	61,9	1,800	91%	56 538	1,8	6,8%	Moyen
Sénégal	16	1 032	4,5	0,301	44%	7 858	0,6	11,0%	Très élevé
Emirats Arabes Unis	402	43 657	67,4	7,329	-188%	178 484	20,0	1,9%	Très faible
Chine	10 360	7 529	2 948,8	2,143	13%	9 019 518	6,7	6,9%	Moyen
Inde	2 067	1 630	835,1	0,637	31%	2 074 345	1,1	7,0%	Moyen
Vietnam	186	1 991	68,3	0,731	-7%	173 211	2,0	13,1%	Très élevé
Australie	1 454	60 827	134,9	5,644	-147%	369 040	16,5	3,9%	Faible
Brésil	2 346	11 290	294,7	1,418	11%	439 413	2,2	4,3%	Faible
Canada	1 787	50 046	258,0	7,226	-67%	485 463	14,1	3,1%	Très faible
Colombie	378	7 821	32,0	0,662	-294%	72 423	1,5	6,8%	Moyen
USA	17 419	54 130	2 223,3	6,909	16%	5 305 570	17,0	3,9%	Faible
UK	2 942	45 470	192,0	2,967	39%	448 238	7,1	3,5%	Faible
France	2 829	43 932	246,5	3,827	47%	338 805	5,2	2,7%	Très faible
Suède	571	58 224	51,6	5,269	28%	52 145	5,5	2,2%	Très faible

Figure 3 : Consommation d'énergie, impact climat et vulnérabilité des pays de références

3.3.2 Approfondissement de la situation dans 5 pays

Cinq pays ont fait l'objet de recherches plus approfondies et de zoom sur des thématiques particulières, à savoir :

- Ressources en biomasse
- R&D, innovation technologique, transferts de technologie, développement de produits,
- Politiques publiques
- Evolution et valorisation des solutions vernaculaires notamment au travers d'une architecture innovante

Les pays concernés sont la France, le Royaume-Uni, la Colombie, le Sénégal et le Vietnam.

4 Approches thématiques

4.1 LES RESSOURCES

Dans beaucoup de régions du monde, le pillage du sable, entre autres problèmes, remet en cause l'existence des plages. Dans le même temps, au Canada, en Afrique de l'Ouest et ailleurs de nombreuses zones sont envahies par les roseaux.



Figure 5 : Sable extraction - Sand mining with suction pumps
BY Sumaira Abdulali CC-BY-SA-3.0



Figure 4 : Roselière - Reed beds River Nadder at Harnham BY
Col.51 CC-BY-SA-3.0

4.1.1 Matériaux de construction : besoins et ressources

Le domaine de la construction est le principal utilisateur de matières premières dans le monde, loin devant les besoins de l'énergie. Et, surtout depuis un siècle, l'extraction des matériaux de construction a été multipliée par 34, alors que celle des énergies fossiles a été multipliée par 12.

A titre d'exemple, le béton est, après l'eau, la matière la plus consommée dans le monde. La production mondiale de ciment est en augmentation permanente et émet à elle seule de 5 à 6% des gaz à effet de serre (GES) des activités humaines. Le sable, également constituant du béton, est la deuxième matière minérale extraite avec des volumes en croissance très rapide et de nombreux impacts environnementaux et socio-économiques. La pénurie en est clairement annoncée au même titre que celle des énergies fossiles.

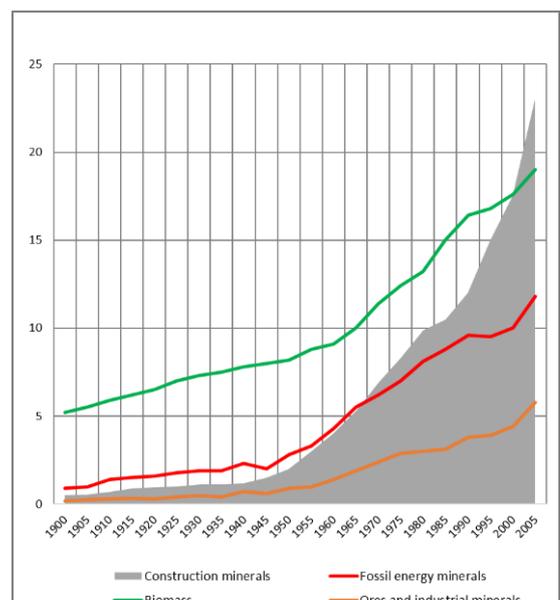


Figure 6 : Evolution de l'utilisation mondiale des matériaux 1900 à 2005 (Giga T) Source des données : Krausmann and al. / Graphe : BioBuild Concept

Par ailleurs, aujourd'hui, un habitant de la planète sur sept vit dans un bidonville. Selon ONU Habitat, en 2030, il faudra en compter un sur cinq, soit l'équivalent de la population actuelle de la Chine. Et, selon les estimations récentes (ONU et INED), la population mondiale doit passer de 7,2 milliards d'habitants à 9,6 milliards en 2050 et à 11 milliards en 2100.

Enfin, une étude⁴ menée en France sur les impacts globaux de 74 bâtiments performants du point de vue énergétique (type BBC) a montré que, en moyenne, 56% des gaz à effet de serre sont liés à la production des matériaux. (Voir Figure 7)

Pour répondre aux besoins actuels et futurs, la construction de logements et d'équipements devra croître en proportion. L'augmentation des surfaces utilisées par habitant et le relèvement du niveau de performances des bâtiments vient encore amplifier le besoin actuel et futur en matériaux de construction.

Cette consommation en croissance exponentielle engendre des conséquences très lourdes sur les objectifs de développement durable, tant environnementaux que socio-économiques. Plus que pour tout autre secteur d'activité, l'utilisation de matières premières issues de la biomasse peut apporter un ensemble de réponses pertinentes à ces besoins. Renouvelables par nature, stockant durablement du carbone, demandant généralement peu d'énergie de production (énergie grise) et vecteurs de développements locaux, les matières premières biosourcées sont adaptées à la fabrication de produits de construction performants et variés : isolants, mortiers et bétons, chimie du bâtiment, matériaux composites, etc.

Enfin, cette biomasse est exploitable dans presque tous les pays, y compris dans des zones arides ou semi-arides à condition d'en avoir une exploitation raisonnée. La priorité est bien sûr de garantir la sécurité alimentaire mais dans de nombreux cas il n'y a pas de concurrence directe entre les usages. Par exemple, dans des pays agricoles tels que la France, la ressource en paille de céréales ou d'oléagineux est abondante. Dans d'autres zones géographiques, des écosystèmes naturels prolifèrent dangereusement comme c'est le cas avec les roseaux en Afrique de l'Ouest ou le marabout à Cuba. (Voir ci-dessous « Typha, phragmites et autres roseaux : savoir bénéficier d'une abondance critique »)

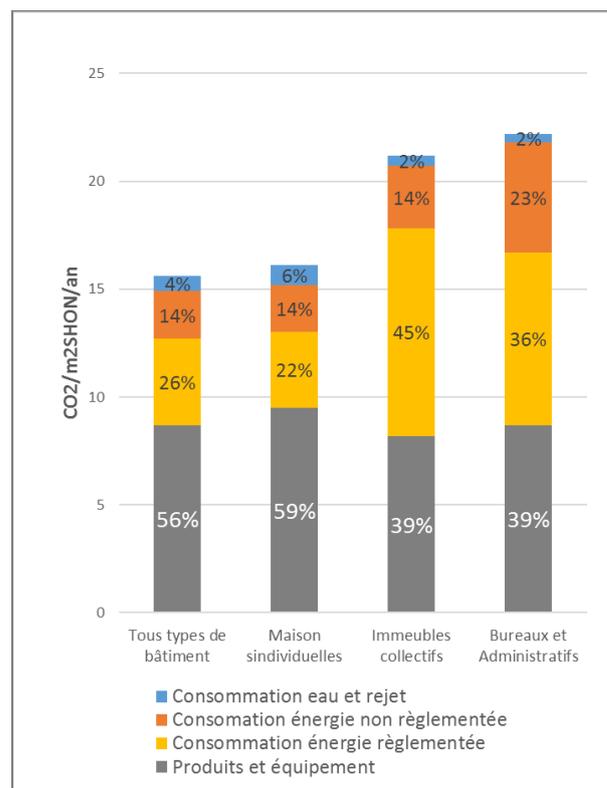


Figure 7: Emissions de gaz à effet de serre en kg eq CO₂/m²SHON/an pour des bâtiments performants sur le plan énergétique – Source des données : HQE Performance Première tendance pour des bâtiments neufs / Graphe : BioBuild Concept

⁴ Etude Université Paris Est, Centre scientifique et Technique du Bâtiment: Evaluation de la performance

environnementale des bâtiments. Définition d'ordres de grandeur (2011)

4.1.2 La bio-économie, retour aux sources

4.1.2.1 Définition et motivations

>>> Expliqué simplement, qu'est-ce que la bio-économie ? Et pourquoi connaît-elle une actualité si forte dans les politiques publiques européennes et internationales ?

« Après deux siècles de règne des énergies fossiles, des défis sans précédent nous attendent au cours des prochaines décennies : croissance de la population mondiale ; réchauffement climatique ; épuisement des réserves d'hydrocarbures et de certaines matières premières ; disponibilités réduites en eau et en terres ; suffisance alimentaire... Pour y faire face, il apparaît qu'une mise en valeur efficace des terres agricoles et des forêts, conjuguée avec le développement de leurs filières de transformation, sont des vraies solutions durables ! Grâce aux valorisations multiples de la biomasse photosynthétique, ces solutions permettent en effet d'amortir le réchauffement climatique et de prévenir notamment le tarissement annoncé des réserves mondiales d'hydrocarbures. Car si la biomasse est à la source de notre alimentation, elle permet aussi de produire massivement des substituts partiels au « pétrole roi » : fertilisants organiques, matériaux variés, molécules pour la chimie et énergies renouvelables diversifiées comme les biocarburants, les gaz, la chaleur ou la bio-électricité. Et c'est précisément cette économie « verte » renaissante, originale, systémique, sobre et créatrice d'emplois qui est en jeu et que l'on appelle la « bio-économie ». Tant d'avantages justifient largement l'engouement international pour les biofilères nées il y a une trentaine d'années, et considérablement renforcées depuis la matérialisation des défis climatiques. »

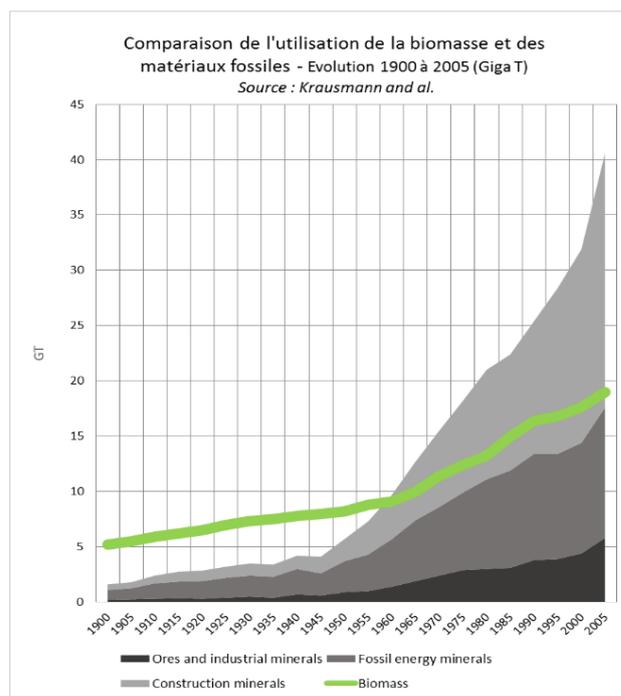


Figure 8: Comparaison de l'utilisation de la biomasse et des matériaux fossiles - Evolution de 1900 à 2005 - Source des données : Krausmann and al. / Graphe : BioBuild Concept

Extrait de « Bio-économie: l'atout France.... », interview de Claude Roy, CGAAER et Président du Club des Bio-économiste publié dans la revue « Chambres d'Agriculture » /// Juillet 2015 - <http://leclubdesbioeconomistes.com/bioeconomie-latout-france-avec-le-concours-de-lapca/>

Thypha, phragmites et autres roseaux : savoir bénéficiaire d'une abondance critique



Figure 9 : Photo Courtesy © enhaut.org

Du lac Titicaca aux marais irakiens, en passant par l'Ouzbékistan, l'Égypte, la Camargue ou le Maroc, le roseau est présent dans le bâti vernaculaire dans pratiquement toutes les régions du globe. En Italie, des essais sur plusieurs centaines d'hectares de culture de cannes de Provence (*Arundo Donax*), espèce courante de roseau poussant dans des terrains arides, ont atteint une production moyenne de 35 tonnes par hectare.

Mais les roseaux ont aussi une large tendance à devenir invasifs ; l'Université de Montréal a mis en place un « Groupe Phragmites » pour faire face à l'envahissement de cette autre espèce courante de roseau.

En Afrique de l'Ouest, le développement invasif dans les zones humides du roseau *Typha Australis* pose de nombreux problèmes. Le fleuve

Sénégal subit des dégâts cruciaux : approvisionnement en eau, envahissement des canaux d'irrigation, difficulté de déplacement sur les voies navigables, régression de la biodiversité, développement de parasites, etc. Pour convertir ce fléau en opportunité, un programme de transformation en charbon a été mis en place en Mauritanie. Au Sénégal, le Fond pour L'Environnement Mondial (PNUD/FEM) soutient un ambitieux programme visant à la fabrication de matériaux de construction devant répondre aux exigences liées à la mise en place d'une réglementation thermique.

4.1.2.2 Que représente la bio-économie en France ?

« La France a probablement été le premier pays en Europe à définir une stratégie bioéconomique, étudiée dès 2003, avec en appui un plan biocarburants, un plan biocombustibles et un plan chimie du végétal et biomatériaux. Cette stratégie fut présentée et approuvée en Conseil des Ministres en 2006. Aujourd'hui, il s'agit seulement pour la France d'affiner cette analyse à la lumière des nouvelles stratégies européennes et du nouveau paquet énergie climat, ainsi qu'avec les engagements climat de COP 21 en vue. N'oublions pas que la bio-économie pèse pour 50% dans les objectifs renouvelables de notre pays ! Pour la France, la Bio-économie recouvre bien sûr l'agroalimentaire (400 000 emplois) et la filière forêt-bois (200 000 emplois) mais aussi des biofiliales plus récentes, nées il y a moins de 30 ans (néo-matériaux, chimie du végétal, biocarburants, biocombustibles) et qui représentent plus de 70 000 nouveaux emplois (avec 14 Mds € / an de chiffre d'affaires). Toutes ces activités massives fournissent 5% de notre consommation nationale d'énergie et l'essentiel de nos matériaux et molécules chimiques renouvelables. D'ici 2030, nos feuilles de route climatiques et énergétiques prévoient plus ou moins un doublement de ces performances, puis encore un nouveau doublement



Figure 10: Bioressources françaises. Source BioBuildConcept

d'ici 2050. Cela laisse entendre que la bio-économie pourrait représenter 20 à 25% de notre économie d'ici 2050, c'est à dire aussi 20 à 25% de nos ressources post-pétrolières. L'importance de l'agriculture et de la sylviculture de production, et des professionnels « de la terre », n'en apparaît donc qu'avec plus de force... »

Extrait de « Bio-économie: l'atout France... », interview de Claude Roy, CGAAER et Président du Club des Bio-économiste publié dans la revue « Chambres d'Agriculture » /// Juillet 2015 - <http://leclubdesbioeconomistes.com/bioeconomie-latout-france-avec-le-concours-de-lapca/>

4.1.3 Les différents types de biomasse, leurs disponibilités, les possibilités et l'intérêt de les utiliser dans la construction

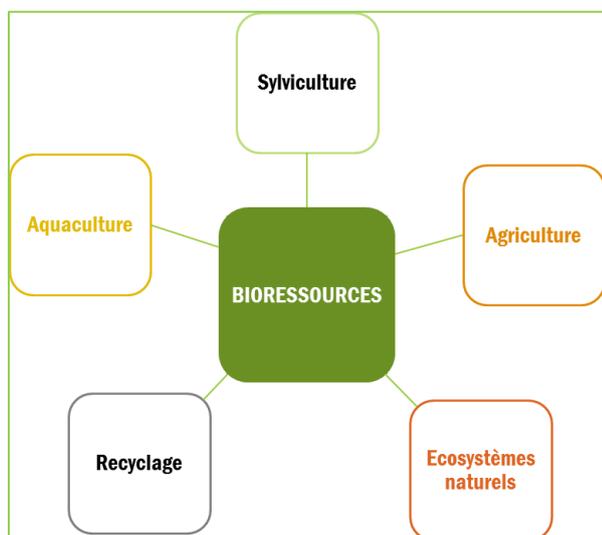


Figure 12: Origines des bioressources. Source BioBuild Concept

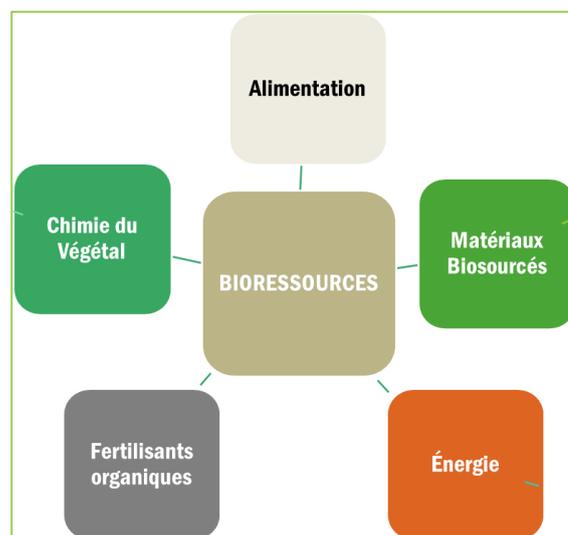


Figure 11: Utilisations des bioressources. Source BioBuild Concept



Figure 13 : Forêt - Courtesy © M Boyeux

4.1.3.1 Sylviculture

La forêt, source principale des matériaux de construction biosourcés, couvre, irrégulièrement, environ 30% de la planète ce qui correspond à 0,62 ha par habitant. Au-delà du bois d'œuvre, la fibre de bois est utilisée pour la fabrication de nombreux matériaux : panneaux, isolants, composites plastiques, béton végétal correspondant à une part importante des matériaux de construction biosourcés.

Par ailleurs, le recyclage du papier – issu majoritairement de ressources sylvicoles – fournit un des isolants biosourcés les plus utilisés (voir ci-dessous).



Figure 14 : Champ de Blé, près de Bréauté
BY Inkey CC-BY-SA-3.0

4.1.3.2 Agriculture

Les surfaces agricoles correspondent à 12% du globe mais pourraient être triplées. Ces données sont extrêmement variables d'une zone géographique à l'autre car l'accroissement des volumes s'opère principalement sur les rendements et dépend largement des ressources en eau.

Les matières végétales qui peuvent être utilisées en construction sont très diverses. Si les plantes à fibres (chanvre, lin) sont les plus exploitées actuellement, les sous-produits des productions alimentaires (paille de céréales ou d'oléagineux, cosses de riz ou d'arachides, palmes, etc.) représentent des potentiels considérables.



Figure 15 : Moutons - Waldschafe BY 3268 zauber CC-BY-SA-3.0

Les fibres animales (laine de mouton, plume) possèdent de nombreuses caractéristiques pour confectionner des isolants. Toutefois, ces fibres trouvent en général de meilleures valorisations dans d'autres usages (textiles) et les développements dans la construction progressent lentement.



Figure 16 : Alfatière - Atochar 2601 BY Balle s2601 CC-BY-SA-3.0

4.1.3.3 Ecosystèmes naturels :

Contrairement à ce que l'on constate dans le bâti vernaculaire, les écosystèmes naturels sont peu utilisés dans la construction moderne. Exploités avec rigueur, ils sont une source aussi importante que la forêt ou l'agriculture. Au Maroc, majoritairement aride ou semi-aride, une exploitation raisonnée des alfatières pourrait produire un million de tonnes des fibres par an. Ailleurs, l'exploitation de certaines espèces invasives permettrait de réguler la prolifération en transformant une nuisance en ressource.



Figure 17 : Papier recyclé – pape -recycling dump-1442182 Freeimage.com BY Jendo Neversil

4.1.3.4 Recyclage :

Le recyclage offre une deuxième, voire une troisième, vie à certaines matières biosourcées : papier, carton, fibres textiles. Souvent dotées de bonnes caractéristiques thermiques, ces matières s'intègrent dans le concept de l'économie circulaire et sont parfois produites par des entreprises issues de l'économie sociale et solidaire.



Figure 18 : Algues - seaweed-1382164 Freeimages.com BY Aki Fukaki

4.1.3.5 Aquaculture

Les matières issues de l'aquaculture sont très peu utilisées aujourd'hui dans la construction. On recourt pourtant à des algues (issues de savoir-faire vernaculaires) ou encore à des solutions très innovantes comme celle des murs « vivants » de la Smart BIQ House à Hambourg.

4.1.3.6 LA SMART BIQ HOUSE



Figure 19 : La maison aux algues – Droits Réservés

Des éoliennes en façade, des toits-jardins, des murs végétaux... Mais des micro-algues vivantes qui recouvrent un immeuble d'habitation et se reproduisent allègrement devant les yeux des passants, ça, c'est une première mondiale !

C'est à Hambourg, en Allemagne, que la Smart BIQ house (jeu de mots entre « Bio » et « IQ » le QI en anglais) a récemment été inaugurée. Un bâtiment vert dans tous les sens du terme, imaginé par le cabinet d'architecture Splitterwerk et la société d'ingénierie Arup.

La façade de cette maison de quatre étages comporte 129 panneaux en verre, remplis d'eau et des nutriments nécessaires à la survie des petites chlorelles, le type d'algue verte choisie pour le projet et originaire de la région.

Le système est plutôt simple. Côté jardin, l'eau dans les panneaux est continuellement brassée. Les algues utilisent la lumière du soleil pour la

photosynthèse, absorbent du CO₂ et produisent de la biomasse.

Côté cour, c'est-à-dire dans la « salle des machines » installée au rez-de-chaussée du bâtiment, la biomasse est transformée en chaleur, stockée, puis utilisée pour le chauffage des locataires qui économiseraient jusqu'à 1 000 euros par an, grâce à l'énergie produite par les micro-plantes.

Source : <http://rue89.nouvelobs.com/2013/10/10/maison-algues-vivantes-246503>

4.1.4 Filières locales

Sur le plan de la structuration et du développement économique, le concept de filière locale n'est pas inconnu du monde de la construction. L'industrie du béton le démontre largement avec, en France, quelques 900 sites de production répartis sur tout le territoire. Toutefois, les productions locales de matériaux de construction biosourcés font appel à des approches plus intégrées, incluant agriculture, industrie et bâtiment. De ce fait, elles suscitent un intérêt croissant de la part de nombreux territoires.

Au-delà de ces volontés et de la pertinence de l'approche locale, le développement significatif de ces filières doit faire face aux exigences du secteur de la construction – évaluations techniques, assurances, circuits commerciaux, réglementation, etc. Les cadres de ces exigences – en particulier réglementaires et normatifs - ne sont pas adaptés à la diversité et à la dimension ces filières. Pour y faire face, les producteurs de matériaux biosourcés des circuits locaux doivent décupler les actions visant à structurer les filières.

4.1.5 Biomatériaux de construction : où, pourquoi, comment ?

4.1.5.1 Matériaux de Structures



Figure 20 : Moudhifs Droits Réservés

En dehors du bois, les matériaux biosourcés participent peu aux fonctions structurelles des bâtiments. Le bambou fait exception à la règle : s'appuyant sur des savoir-faire vernaculaires certains architectes comme Simon Velez ou Vo Trong Ghia ont développé des systèmes constructifs exploitant les qualités exceptionnelles du matériau. La plupart des autres matériaux biosourcés exigent que l'on recourt à l'accumulation de tiges ou de particules pour obtenir les résistances mécaniques nécessaires. Les constructions traditionnelles en roseaux des moudhifs dans les marais d'Amara (Sud de l'Irak) en sont un exemple remarquable: les fondations et la structure sont formées d'arches constituées de deux faisceaux cylindriques de roseaux de 30 à 100 cm de diamètre à la base.

Les murs en ballots de paille porteurs en sont un autre exemple. Cette technique dite technique Nebraska - a été pratiquée dès les premières constructions en paille à la fin du XIX^e siècle. Malgré des contraintes (dimensionnement des baies, répartition des charges, hauteur de construction) plusieurs pays (comme le Royaume-Uni, le Canada ou le Danemark) ont validé des règles de construction pour ce système. Enfin, en ce qui concerne les bétons végétaux, les performances thermiques ont généralement été privilégiées au détriment des performances mécaniques. Les avancées de la recherche permettent d'envisager à court terme la mise en chantier de bétons végétaux porteurs.

4.1.5.2 Couverture



Figure 21 : Toiture en palme Yucatan - Courtesy © M Boyeux et L Lénée-Corrèze (2)

Dans la majorité des régions du globe le bâti vernaculaire a très largement utilisé les végétaux comme matériaux de couverture et toutes les ressources possibles ont été valorisées - paille de seigle ou de froment et autres graminées, roseaux, palmes, joncs, bois, algues, etc. Ces solutions ont en grande partie été abandonnées pour des raisons de durabilité, d'entretien et de coûts. Cependant le retour du toit de chaume est notable dans l'habitat - comme en Allemagne où l'on importe des roseaux -, dans la construction de structures hôtelières recherchant une couleur locale ou encore des hébergements destinés à l'ethno-tourisme. De plus, la technique du chaume offrant une grande souplesse d'utilisation, elle est de plus en plus valorisée au travers d'une architecture innovante dans de nombreux pays - Suède, Vietnam, Pays-Bas, Sénégal, France.

4.1.5.3 Isolants



Figure 22 : Ouate de carton – Courtesy Idem © Citron Givré

Les matériaux biosourcés ont des caractéristiques qui permettent de fabriquer des isolants performants et c'est sans doute dans ce domaine qu'ils connaissent les développements les plus rapides. Si les papiers recyclés et, pour l'Europe, les fibres de bois, occupent l'essentiel du marché, pratiquement toutes les matières biosourcées - paille de céréales, roseaux, laine de mouton, chanvre, graminées, textile recyclé, etc. - peuvent trouver des utilisations dans ce domaine. Et c'est souvent la disponibilité de la ressource qui décide du déploiement d'une filière et de ses avancées. Globalement, il s'agit de produits de substitution, utilisant les mêmes critères que les isolants d'origine minérale, devant répondre aux mêmes exigences et qui trouvent leur place dans un marché en lien direct avec les politiques d'efficacité énergétique portées par de nombreux pays. Ces matériaux ont acquis une maturité technique, normative et, pour certains, économique qui leur permet de trouver leur place dans ce marché. En Europe, les majors de l'isolation s'impliquent de plus en plus dans ce domaine, en particulier par le rachat de PME spécialisées.

4.1.5.4 Mortier et béton



Figure 23 : Bloc bétons de chanvre - Maison de l'Habitat Clermont Ferrand / Courtesy © A Duverger

Les ressources en matières premières susceptibles de fournir des granulats pour confectionner des bétons végétaux sont très diversifiées. Si le bois et le chanvre occupent actuellement l'essentiel du marché, beaucoup d'autres végétaux – lin, miscanthus, roseaux, colza, tournesol, cosses de riz ou d'arachides, etc. – font l'objet de travaux de développement ambitieux. La diversification vient également du côté des liants, qu'il s'agisse de nouvelles formulations ou de l'utilisation de matériaux tels que la terre crue. Matériaux à isolation répartie, les bétons végétaux – même si leurs caractéristiques hygrothermiques ne sont pas prises en compte dans les calculs réglementaires – permettent d'atteindre les performances requises sans isolation complémentaire. Ils sont donc principalement utilisés pour la réalisation de murs extérieurs. Ils sont également utilisés en isolation de toiture où leur rôle de régulateur thermique améliore en particulier le confort d'été. Ils sont également appliqués en enduit pour améliorer l'acoustique mais surtout dans le cadre de la rénovation thermique des bâtiments, et plus particulièrement des constructions traditionnelles en pierre ou en terre.

AKTA : garantir les performances



Figure 24 : Projection de béton de chanvre - Courtesy AKTA

Les performances des bétons végétaux sont impactées par de nombreux paramètres. Au-delà de la typologie des granulats et de la formulation des liants, la quantité d'eau utilisée modifie sensiblement les caractéristiques du matériau. Mais la technique et la régularité de mise en œuvre comme les spécificités de la machine employée – et en particulier sa capacité à enrober les granulats – sont tout aussi importantes pour éviter des écarts de performances réducteurs.

Pour obtenir cette constance, AKTA, entreprise de construction, a élaboré un système global. Ce système comprend des granulats caractérisés et des liants de nouvelle génération, une machine de projection adaptée et innovante, des cahiers de charges spécifiques aux différents types d'ouvrage ainsi qu'un

accompagnement sur toutes les phases du projet.

Cette approche globale permet à AKTA de proposer le premier système garantissant que les performances obtenues sont bien conformes aux valeurs annoncées.

4.1.6 Exemples de ressources : La filière Chanvre en France

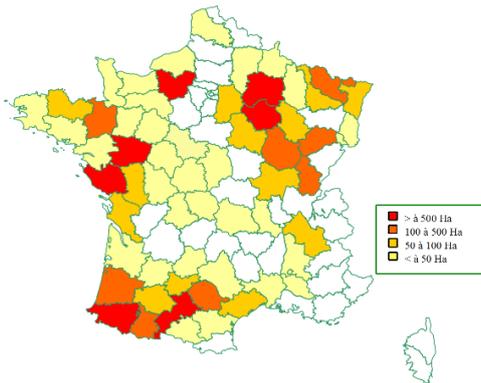


Figure 25 : Filière chanvre - France 2009 - Source : CenC M de Korff



Figure 27 : Culture de chanvre industriel pour les fibres et les graines BY Aleks - CC-BY-SA-3.0.

Principales caractéristiques	
Origine	Asie centrale
Production	Cultivé
Rendement	7 à 8 T de paille / ha et 500 kg à 1,5 T de graines / ha
Stockage de Carbone	15 tonnes CO ₂ consommées par ha 35 kgCO ₂ eq net stocké pour un mur de béton végétal de 1 m ² et 26 cm d'épaisseur
Service écosystémique rendu	Amélioration de la capacité en eau des sols par fractionnement, préservation de la biodiversité, source de nourriture et de litière du bétail



Figure 26: Chènevis - Hemp seeds BY Fluffymuppet CC BY-NC

Taille maximale : 4 m

Durée du cycle de culture : court – 100 jours

Particularité : Plante sexuée à fleurs mâles et femelles poussant sur des pieds séparés ou sur le même pied

Le chanvre est une plante annuelle herbacée oléagineuse de la famille des Cannabinacées dont la culture remonterait à plus de 5000 ans. La France en a longtemps été un important producteur pour l'industrie textile et reste le principal producteur européen avec environ 10 000 des 15 000 ha produits dans l'Union, dont 20% sont utilisés directement dans le secteur de la construction.

La culture du chanvre est réglementée par les autorités européennes : seules les variétés dont le taux de tétrahydrocannabinol (ou THC) de la feuille est inférieur à 0,2% sont autorisées.

Les plants sont semés entre mars et avril pour une récolte entre septembre et octobre. La plante présente trois parties valorisables :

- **La graine**, aussi appelée **chènevis**, essentiellement utilisée pour l'alimentation animale ou humaine (huile, yaourt, oisellerie, appâts, etc.) ;
- **La fibre** – issue de la périphérie de la tige -utilisée pour la fabrication de laine isolante. Elle représente 25 à 30% de la paille et est utilisée dans la papeterie, la plasturgie, ou l'isolation ;
- **Le bois**, aussi appelé **chênevotte**, utilisé pour des litières animales haut de gamme, du paillage horticole ou dans la construction comme granulats pour les bétons végétaux ou comme isolants.

La culture du chanvre présente différents atouts environnementaux : la plante ne nécessite pas d'utilisation de pesticides et consomme peu d'engrais en comparaison avec d'autres cultures, tout en résistant à la sécheresse. D'un point de vue agronomique, le chanvre peut être utilisé comme tête d'assolement (racines profondes permettant d'ameublir et d'aérer les sols, étouffement des adventices, etc.).

Malgré un réel potentiel, la filière chanvre n'occupe qu'une très petite surface (0,03% de la surface agricole utile) et ne connaît pas de développement significatif depuis plus de 20 ans. Dans la construction, les bétons de chanvre progressent lentement malgré des atouts technologiques avérés et les laines de chanvre ont du mal à s'imposer face aux isolants biosourcés tels que les fibres de bois ou la ouate de cellulose.

4.1.7 Exemples de ressources : Le bambou *Guadua*, « l'acier végétal »



Figure 28 : Forêt de bambou - Bamboo By Ted - CCBY-SA

Le bambou est une plante ligneuse, appartenant à la famille des graminées, au même titre que le blé, le maïs, ou les plantes herbacées. Il est constitué d'une tige souterraine, le rhizome et d'un chaume creux pouvant mesurer plusieurs mètres de long, aussi appelé canne. Plus de 90 genres et 2 300 espèces sont recensées à travers le monde. Parmi celles-ci, le *Guadua* est l'espèce de bambou la plus répandue en Amérique latine.

Le *Guadua* est considéré comme un des bambous les plus résistants au monde, d'où son nom « d'acier végétal ». Soumis à des tests physico-chimiques de compression, cisaillement, tension, il se révèle bien plus solide que le bois. Sa résistance est telle qu'il peut être utilisé en construction pour remplacer l'acier des fondations de bâtiments. Correctement mis en œuvre, il apporte des propriétés antisismiques et anti-ouragans aux bâtiments car il peut absorber les chocs sans se briser, contrairement à de nombreux matériaux conventionnels.

Principales caractéristiques	
Origine	Endémique à la Colombie
Production	Sauvage et cultivé
Rendement	500 à 1300 plants/ha/an
Stockage de Carbone	12 tonnes CO ₂ /an/ha (contre 3 pour les arbres)
Service écosystémique rendu	Limitation de l'érosion des sols, stockage de l'eau, assainissement (phyto-remédiation), source de nourriture



Figure 29 : Kerala - Bamboo BY ReflectedSerendipity CC-BY-SA

Taille maximale : 30 m
Diamètre maximal : 25 cm
Croissance maximale: 21 cm/jour

Le *Guadua* est aussi un substitut écologique aux matériaux de construction conventionnels. En effet, les forêts de *Guadua* produiraient 30% d'O₂ en plus que les forêts de feuillus ou de conifères et, du fait des latitudes de production, les cannes sont séchées directement à l'air libre, ce qui réduit les dépenses d'énergie et les émissions de GES liées au séchage du matériau.

Sa **balance énergétique** n'est que de **30 MJ/m³**, soit 50 fois plus faible que celle de l'acier, 8 fois plus faible que le ciment, et 2,5 fois plus faible que celle du bois.

De plus, les plants utilisés dans le secteur de la construction arrivent à maturité en seulement 4 ans (contre 30 à 50 ans pour les arbres), ce qui permet un rendement bien plus important que le bois.

<http://www.guaduabamboo.com/>

<http://guaduabamboo.blogspot.fr/2010/06/mission-de-lasso-et-intro-au-bambou.html>

http://mainguyen.nhaan.free.fr/wiki/index.php?view=bambou_2

4.1.8 Exemples de ressources : La Ouate de cellulose, économie circulaire biosourcée



Figure 30 : Ouate de cellulose BY Ivanko123 CC BY

La ouate de cellulose est un matériau de construction issu du recyclage de papiers, de journaux ou de cartons. Elle est obtenue à partir du défibrage de papiers lors de deux broyages successifs, auxquels peuvent être ajoutées des substances antifongiques, insecticides, ignifuges.

Au final, ce matériau d'origine végétale est composé de plus de **85% à 90% de papiers ou cartons recyclés** (invendus, coupes d'imprimerie, déclassés) et de **15% d'additifs**.

Ce produit est répandu en Amérique du Nord depuis le milieu du XX^e siècle et en Angleterre depuis près de 30 ans. 200 000 habitations sont isolées chaque année en Europe avec ce matériau. Le marché européen présente une croissance annuelle de 4%.

Principales caractéristiques	
Origine	Amérique du Nord
Production	Environ 15 000 tonnes/usine
Bilan Carbone	-10 teqC (contre 43 teqC pour la laine de roche) ⁵
Service rendu	Recyclage, Isolation thermique, Isolation acoustique, Régulation hygrométrique



Figure 31: Ouate de Cellulose - mise en œuvre BY Community Environmental Center CC BY-NC

La ouate de cellulose est un isolant qui conjugue **bio-économie, économie circulaire** et, souvent, **économie sociale et solidaire** :

- Elle est biosourcée, ce qui lui confère une capacité de stockage de carbone ;
- Sa fabrication provient du recyclage de produit papiers, (souvent eux-mêmes recyclés plusieurs fois), ce qui est intéressant du point de vue de la limitation de la production de déchets et de l'économie circulaire ;
- Dans de nombreux cas, le recyclage du papier et du carton fait appel à une main d'œuvre en cours de réinsertion.

Ainsi, pour sa production, elle est en général plus de 10 fois moins énergivore que les isolants classiques. Son énergie grise ne représente que 6 kWh/m³ (contre 850 kWh/m³ pour un matériau isolant issu de ressources non renouvelables comme le polystyrène). En revanche, sa capacité thermique en été est 6 fois supérieure aux isolants conventionnels.

⁵ Source : La Maison Ecologique N°49 <http://www.vegetal-e.com/fr/fiche/document-117/tableau-comparatif-des-isolants.html>

4.1.9 Exemples de ressources : Le palmier d'eau, une espèce multifonctionnelle



Figure 32 : Palmier d'eau BY Ria
Tan CC BY-NC-ND

Le palmier d'eau, aussi appelé *Nypa*, est une plante ligneuse Monocotylédone appartenant à la famille des *Arecaceae*. *Nypa fruticans* est la seule espèce composant le genre *Nypa*.

Le « faux tronc » de ce palmier, qui est en fait une tige appelée stipe, est enfouie sous terre, ce qui en fait un rhizome (tige souterraine). La partie aérienne est donc composée exclusivement des feuilles et des fleurs. La plante est monoïque, avec des fleurs mâles et femelles différenciées poussant sur un même pied mais sur des inflorescences différentes.

Ce palmier pousse dans les eaux saumâtres des mangroves, estuaires, côtes ou rivières de l'Océan Indien ou Pacifique. Il forme des peuplements denses, et peut parfois devenir envahissant. Ses fruits, une fois mûrs, tombent, flottent et sont disséminés par les courants d'eau, phénomène appelé hydrochorie. Le palmier peut lui-même être transporté par les eaux, par exemple à la suite de tempêtes, et est capable de reprendre sa pousse, colonisant ainsi de nouveaux espaces.



Figure 33 : Palme Courtesy © - Courtesy
© M Boyeux et L Lénée-Corrèze

Principales caractéristiques	
Origine	Asie du Sud-Est
Production	Sauvage. Commence à être cultivé
Rendement	2400- 4700 plants/ha
Stockage de Carbone	Estimations pour les mangroves naturelles : environ 1500 tonnes C/ha, dont plus de 900 tonnes C/ha dans les organes souterrains et 500 tonnes C/ha dans les organes aériens.
Services rendus	Limitation de l'érosion des sols, refuge pour la faune marine, source de nourriture, médecine

Cette plante présente de nombreuses utilisations : sa sève est récoltée pour être transformée en sucre, avec un rendement pouvant atteindre 3 000 kg/ha/an, ses fruits sont consommés et ses graines peuvent être utilisées en tant qu'ivoire végétal. Ses feuilles tressées sont utilisées dans l'artisanat local et la fine pellicule les recouvrant est séchée pour un usage en tant que papier à cigarette. De plus, les cendres issues de sa combustion comporteraient des vertus analgésiantes pour soigner les maux de tête et les douleurs dentaires.

Du point de vue énergétique, les pétioles, feuilles, tronc ou résidus de fruits peuvent être distillés en biocarburant, avec un rendement de 26 000 L/ha, soit 4 fois supérieur à celui de la canne à sucre. Enfin, les feuilles, une fois séchées, peuvent être utilisées en tant que matériaux de construction durables (panneaux de chaume pour les toitures, panneaux muraux, etc.).

Taille maximale : 10 m
Largeur maximale : Les folioles (fausses feuilles) peuvent avoir une envergure de plus de 1m de large
Croissance : Moyenne

Le Nypa est l'un des palmiers les plus anciens au monde, des fossiles ayant été datés de plus de 70 millions d'années (Crétacé supérieur).

4.1.10 Exemples de ressources : Le Typha, d'une plante nuisible à de nouvelles opportunités de valorisation



Figure 34: Typha – Bullrush
(Typha_orientalis) (9874533694) BY
Bernard DUPONT CC-BY-SA-2.0

Aussi connu sous le nom commun de Massette ou Quenouille, le Typha est une plante vivace Monocotylédone de la famille des Typhacées. La partie aérienne de la plante est constituée de longues feuilles étroites, souvent repliées sur elles-mêmes, qui entourent des tiges florifères différenciées (les fleurs mâles n'étant pas portées par les mêmes tiges que les fleurs femelles).

Le Typha est considéré du fait de sa vitesse de colonisation des milieux comme une plante invasive et nuisible. En effet, sa multiplication est rapide et se fait le plus souvent de manière asexuée par division du rhizome au printemps.

Divisé en une dizaine d'espèces, le Typha s'est répandu sur presque tous les continents. Plante commune des milieux humides, elle pousse généralement en colonies denses à proximité des eaux douces, calmes et peu profondes de marais, étangs, rivières, lacs ou encore fossés.

Principales caractéristiques	
Origine	Europe, Amérique du Nord, Afrique, etc.
Production	Sauvage
Rendement	120 à 150 tonnes / ha
Services rendus	Assainissement et phyto-épuration (hydrocarbures), fixation sédimentaire, niche écologique d'insectes, d'oiseaux et de petits mammifères, source de nourriture, médecine.

Du fait de sa prolifération intense, le Typha présente souvent des impacts négatifs sur les activités humaines et les écosystèmes : absorption de l'oxygène et anoxie, stagnation de l'eau, proliférations d'insectes (dont moustiques) et de potentielles maladies, limitation de la pêche ou de la pisciculture. Les populations locales, particulièrement en Afrique sont le plus souvent obligées de couper les plants chaque année et de les brûler pour éviter l'assèchement des zones humides, ce qui est couteux en temps et en énergie.

Aujourd'hui, de nombreuses utilisations alternatives sont en plein développement : combustibles (sous forme de charbon ou de paille), source de fourrage pour le bétail, ou encore utilisation dans le secteur de la construction (isolant, bétons végétaux, chaume, etc.). Elles permettraient à de nombreux pays émergents de transformer une menace en opportunités de développement.



Figure 35 : Bottes de typha Courtesy © Le Goff

Le Typha est une plante dépolluante très efficace souvent utilisée dans les techniques de lagunage. Elle est également efficace dans l'élimination des Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) et les composés chlorés.

**Taille maximale : 3,5 m
Diamètre maximal : 4 à 8 mm
pour les feuilles
Croissance : Mature en 6 mois**

4.2 LES POLITIQUES PUBLIQUES

Suite à la communication de 2012 de la Commission européenne, différents pays de l'UE se sont dotés de documents stratégiques en faveur du développement de la bio-économie. On peut notamment citer l'Allemagne, la Suède et la France. Ailleurs dans le monde, d'autres pays ont suivi des démarches assez similaires, comme par exemple : les États-Unis, le Canada, et le Japon, la Malaisie et l'Afrique du Sud. Si ces documents cadres permettent d'affirmer une volonté politique de soutenir le développement des marchés de la bio-économie, ils ne sont que rarement accompagnés de mesures opérationnelles de soutien au marché. En France, le déploiement d'une stratégie nationale a été annoncé au cours du congrès international dédié aux produits biosourcés, le *Plant Based Summit*, qui s'est tenu en avril 2015. Les travaux d'élaboration de la stratégie française sont actuellement en cours et devraient être dévoilés vers le milieu de l'année 2016.

Schématiquement, cinq grandes catégories d'instruments de politiques publiques peuvent être mobilisées pour favoriser le développement des filières chimie et matériaux biosourcés. Si plusieurs mesures spécifiques aux emballages (essentiellement sacs plastiques) ou à la filière bâtiment ont pu être recensées, il est à noter que la grande majorité des mesures identifiées ne sont pas spécifiques à un secteur d'activité. Par ailleurs, dans bien des cas, ces dernières ne portent pas sur les matériaux/produits chimiques biosourcés spécifiquement, mais sur des catégories de produits recoupant partiellement la notion de produit biosourcé (produits biodégradables, produits compostables, produits respectueux de l'environnement, etc.).

4.2.1 Les mesures réglementaires :

Ce sont des mesures institutionnelles visant à contraindre le comportement des acteurs sous peine de sanctions administratives ou judiciaires.

Aucune mesure spécifique concernant le secteur des matériaux de construction biosourcés n'a été recensée à

l'heure actuelle, les mesures réglementaires concernant aujourd'hui essentiellement les emballages plastiques. En France par exemple, l'usage des emballages plastiques non recyclables ou biodégradables est interdit à partir de 2016.

4.2.2 Les mesures fiscales et financières :

Il existe schématiquement deux types de mesures fiscales et financières : les aides telles que les subventions, les avances remboursables, etc. et les dispositifs fiscaux tels que les subventions ou les taxes. Nous nous attachons ici à ne décrire que les dispositifs utilisés dans les pays faisant partie du périmètre de l'étude.

4.2.2.1 Les aides financières

Aux **États-Unis**, le Programme d'aide au déploiement de pilotes industriels pour la chimie renouvelable et les produits biosourcés (*Biorefinery, Renewable Chemical, and Biobased Product Manufacturing Assistance Program*, anciennement *Biorefinery Assistance Program*) propose des subventions et des prêts pour la construction, l'aménagement et la modernisation de bioraffineries de taille industrielle. Cette mesure ne concerne pas directement les matériaux de construction biosourcés mais peut permettre de développer l'intégralité de la filière biosourcée.

Le ministère de l'agriculture (U.S Department of Agriculture – USDA) a aussi lancé en 2008 le *Biomass Crop Assistance Programme* (Programme d'assistance aux cultures biomasses – BCAP) avec comme objectifs d'encourager le développement des énergies renouvelables et l'élaboration de produits biosourcés.

Ce programme fournit des incitations financières aux exploitants agricoles ou forestiers sous deux formes :

- Une aide financière pour la récolte, la collecte, le stockage et le transport de la biomasse jusqu'aux unités de transformation (Biomass Conversion Facilities). Les « détenteurs de biomasse » peuvent recevoir un *matching payment*, c'est-à-dire un paiement en contrepartie de la livraison de biomasse éligible à des usines répertoriées dans le cadre du programme, à savoir des unités de production de chaleur, d'électricité, de matériaux biosourcés ou encore de biocarburants lignocellulosiques.
- Une aide financière annuelle peut être mise en place à destination de producteurs de biomasse ayant un contrat de production dans le cadre du projet BCAP afin notamment de mettre en place de nouvelles cultures et d'en atténuer les coûts. Le programme prévoit une aide pour limiter l'écart de revenus entre

les cultures de biomasse éligibles au BCAP et d'autres cultures plus rentables.

En **Allemagne**, le gouvernement a déployé entre 2003 et 2007 un système de subvention visant à favoriser l'introduction des isolants biosourcés sur le marché allemand. À destination des consommateurs finaux, ce dispositif proposait des subventions lors de l'achat d'isolants biosourcés, dont le montant dépendait du volume et du type de matériau acheté (chanvre, laine de mouton, céréales, lin, etc.).

En **France**, différents dispositifs de financement nationaux et européens permettent d'accompagner les éco-entreprises dans le développement de leurs activités. Il s'agit en particulier des grands programmes nationaux (Programme des investissements d'avenir), des aides proposées par la Banque publique d'investissement Bpifrance, de dispositifs proposés par les collectivités territoriales et par les programmes européens (H2020, Life+). Ces dispositifs ne permettent toutefois d'accompagner les entreprises que jusqu'aux dernières étapes avant l'industrialisation (le financement direct à l'investissement dans les unités industrielles étant fortement contraint par l'encadrement communautaire).

La France présente aussi de nombreux dispositifs de soutien aidant les particuliers à financer leurs travaux d'isolation et de rénovation, pour lesquels ils peuvent avoir recours à des matériaux biosourcés. Au niveau de l'État, plusieurs aides financières ont été mises en place dans la cadre du plan de rénovation énergétique de l'habitat (PREH)⁶ dont l'objectif est de rénover 500 000 logements par an à l'horizon 2017, dont 120 000 logements sociaux et 380 000 logements privés :

- Le crédit d'impôt transition énergétique⁷ (CITE) qui est dédié aux travaux d'économies d'énergie et aux équipements d'énergies renouvelables et propose des subventions à destination des particuliers. L'objectif est d'inciter les particuliers à effectuer des travaux d'amélioration énergétique de leurs logements tout en soutenant les technologies émergentes les plus efficaces en termes de développement durable.
- L'éco-prêt à taux zéro (éco-PTZ) qui permet de bénéficier d'un prêt à taux zéro de 30 000 euros maximum pour financer des travaux d'éco-rénovation. Il s'adresse aux propriétaires, qu'ils habitent le logement ou qu'ils le mettent en location. Il existe également un éco-PTZ existe collectif pour la rénovation des copropriétés.
- L'éco-prêt logement social (éco-PLS) est un dispositif, issu du Grenelle de l'environnement, permettant la rénovation énergétique des 800 000

logements sociaux les plus consommateurs en énergie d'ici à 2020.

Par ailleurs, plusieurs collectivités territoriales proposent des aides financières pour la réalisation de travaux de rénovation énergétique, qui sont bonifiées lors de l'emploi de matériaux biosourcés (éco-chèque logement en Aquitaine, chèque éco-énergie en Basse-Normandie, etc.).

À l'échelle européenne, deux institutions et programmes permettent aujourd'hui d'accompagner les entrepreneurs dans le déploiement d'unités industrielles :

- La Banque Européenne d'Investissement finance le déploiement d'unités industrielles dans les domaines des transports, de l'énergie, de l'industrie et de l'innovation et des ressources naturelles. Elle procède à une évaluation des projets au regard de leur viabilité environnementale, selon les « principes européens pour l'environnement » qui visent une cohérence des projets avec les directives européennes. Elle propose des prêts de moyens et longs termes, à des taux bas, pour des investissements de volumes importants ;
- Le partenariat public-privé Bio-based industries finance des démonstrateurs et des premiers déploiements industriels. L'enveloppe annoncée pour ce PPP est de 3,7 milliards d'euros, correspondant à un milliard d'euros de soutien de la Commission et 2,7 milliards d'euros d'investissements de la part des industriels.

Une fois de plus, ces dispositifs ne sont pas spécifiques aux matériaux de construction biosourcés, mais peuvent en favoriser la production.

4.2.2.2 Les dispositifs fiscaux

Aucun dispositif fiscal spécifique aux matériaux biosourcés n'a été recensé à l'heure actuelle. À titre d'exemple, nous détaillons le cas de mesures mises en place dans deux pays de l'étude pour d'autres produits biosourcés ou pour la filière biosourcée en général.

En **Allemagne**, les producteurs d'emballages plastiques biodégradables ont été exonérés, entre 2005 et 2012, de la prise en charge des coûts de collecte et de recyclage de ces déchets spécifiques. Le dispositif, ne s'appliquant qu'aux emballages biodégradables dont l'ensemble des composants ont été certifiés compostables, a toutefois été jugé trop restrictif par certains acteurs, tandis que la problématique de la gestion de ces déchets en fin de vie a été largement soulevée par les parties prenantes. En effet, les emballages plastiques biodégradables n'étant pas considérés comme des biodéchets selon la réglementation allemande, ils ont fréquemment été

⁶ <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Le-plan-de-renovation-energetique,34149.html>

⁷ Il s'agit de l'ancien crédit d'impôt développement durable (CIDD) renommé en CITE en janvier 2015.

collectés avec les déchets recyclables, perturbant les cycles de revalorisation correspondants.

Aux **États-Unis**, le projet de loi « crédit d'impôts pour les produits chimiques renouvelables » (*Qualifying Renewable Chemical Production Tax Credit Act*), présenté au Congrès en 2012, propose la mise en place

d'un crédit d'impôt à destination des industriels de la chimie « renouvelable ». La loi prévoit un crédit de 0,15 dollar par livre (0,45 kg) de « matière éligible » produite durant l'année fiscale, dans une limite de 25 millions de dollars par société contribuable et par année fiscale.

4.2.3 Les mesures d'information, de communication et de formation :

Il existe deux grands types de mesures d'information et de communication : les normes et les labels et les mesures de sensibilisation, d'implication des parties prenantes.

Les normes et les labels visent à mieux caractériser les produits, clarifier les terminologies, et évaluer leur durabilité. Ce type de mesure permet de rendre le marché des produits biosourcés plus lisible pour les consommateurs, mais aussi de guider les acteurs industriels.

4.2.3.1 Normes

La normalisation des produits biosourcés constitue aujourd'hui un véritable enjeu afin de mieux caractériser les produits, clarifier la terminologie et évaluer leur durabilité.

La norme en vigueur la plus répandue au niveau international relative aux produits biosourcés est la norme américaine ASTM D6866, qui définit les modalités de calcul du contenu des produits en carbone biosourcé, en se fondant sur la méthode au carbone 14. Plusieurs labels relatifs aux produits biosourcés reposent sur cette norme. En Europe, la Commission européenne a mandaté le Comité européen de normalisation (CEN) en 2011 pour mettre en œuvre des travaux de normalisation spécifiques aux produits biosourcés (CEN/TC 411). Plusieurs pays européens participent à ces travaux, dont la France, représentée par l'AFNOR (Commission de normalisation X85A).

D'autres travaux du CEN portent notamment sur les méthodes de détermination du contenu en biosourcé (FprEN 16785-1, prEN 16640) et sur les critères de durabilité des produits biosourcés (PrEN 16751).

4.2.3.2 Labels

Plusieurs labels portés par des structures publiques ou privées portent spécifiquement sur le contenu en matière biosourcée des produits (par exemple : labels « BioPreferred » de l'USDA, « OK Biobased » de Vinçotte). Une autre catégorie de labels repose sur un critère environnemental auquel de nombreux produits biosourcés peuvent répondre : le caractère dégradé/compostable (par exemple : label « Home compostable » de DIN CERTCO). Enfin, certains labels couvrent différents critères environnementaux, et ceux-

ci peuvent varier en fonction des catégories de produits. C'est par exemple le cas pour l'Écolabel européen.

En **France**, le label « bâtiment biosourcé » permet à tous les maîtres d'ouvrages dont les bâtiments intègrent un taux minimal de matériau biosourcé d'obtenir une certification.

4.2.3.3 Mesures de sensibilisation des parties prenantes et de formation

En **France**, plusieurs initiatives pilotées par différentes structures souhaitant améliorer ou compléter les enseignements ou formations spécifiques dans le domaine des produits biosourcés existent :

- Au niveau sectoriel – Exemple des actions réalisées dans le secteur des matériaux de construction dans le cadre du Plan « matériaux de construction biosourcés » II (supervisé par la DHUP) où un groupe de travail « formation » a été mis en place.
- Au niveau de chaires d'enseignement et de recherche – Plusieurs chaires sont positionnées sur le champ des produits biosourcés (Chaire européenne de chimie nouvelle pour un développement durable CHEMSUD Montpellier de l'ENSCM, Chaire Bioplastiques des Mines ParisTech et du CEMEF, etc.)
- Au niveau des pôles de compétitivité – Exemple du pôle Industries & Agro-Ressources (IAR) en Champagne-Ardenne qui a mis en place des formations pour différents niveaux.
- Au niveau des Instituts pour la Transition Énergétique (ITE) – Exemple de l'Institut Français des Matériaux AgroSourcés (IFMAS) ou de l'Institut Picardie Innovations Végétales, Enseignements et Recherches Technologiques (PIVERT) qui vont notamment proposer des cours en ligne sur les produits biosourcés.

4.2.4 Les politiques d'achat public préférentiel :

Aux **États-Unis**, le programme BioPreferred® a été lancé en 2002 par le ministère de l'Agriculture des États-Unis (*U.S. Department of Agriculture – USDA*) afin d'accroître la production, l'achat et l'utilisation des produits biosourcés. Le programme repose sur une obligation réglementaire pour les agences fédérales de privilégier l'achat de produits biosourcés. Les modalités d'achat des produits biosourcés sont fixées dans la section 9002 de la loi *Farm Security and Rural Investment Act*. Les agences doivent en effet s'assurer que 100 % de leurs nouveaux achats de biens et services (à l'exception de l'armement) sont de nature à respecter l'environnement, ceci incluant les produits biosourcés. Certains produits sont exclus pour des questions de performance, de prix ou de disponibilité. Le programme cible 97 catégories de produits, regroupés selon sept types d'usages : les ustensiles utilisés en restauration, les soins du corps, l'entretien des espaces verts, la construction, les fluides et lubrifiants industriels, les produits d'entretien, et autres types d'usages. La teneur en biosourcé pour chaque produit est mesurée selon la norme ASTM D6866 (cf. section 2.2.3). Les seuils sont définis par catégories de produits.

Aux niveaux **européen et français**, les travaux sur les achats publics préférentiels portent avant tout sur les achats « durables » de manière générale, la thématique des produits biosourcés n'ayant jusqu'à présent qu'assez peu été évoquée comme un sujet à part entière. Toutefois, ces derniers mois, la réflexion sur les produits biosourcés dans la commande publique s'est accélérée. Ainsi, le projet « Industrie du futur », présenté en mai 2015 par le Ministre de l'Économie et des Finances comporte un axe « nouvelles ressources » qui a notamment pour ambition de proposer des mesures pour le recours aux produits biosourcés dans le cadre des marchés publics. En phase avec cet ambition, l'article 144 de la loi de transition énergétique pour la croissance verte indique que « la commande publique tient compte notamment de la performance environnementale des produits, en particulier de leur caractère biosourcé ».

Par ailleurs, au **niveau Européen** le groupe d'expert « produits biosourcés » de la Commission européenne a lancé, *via* son groupe de travail « achat public », une étude visant à fournir des recommandations pour la mise en place d'un programme d'achat public de produits biosourcés.

4.2.5 Les mesures d'organisation de filière :

L'organisation de filières via des « clusters », partenariats ou pôle/réseaux d'acteurs permet :

- De renforcer la coopération entre les entreprises, les centres de recherche et le gouvernement ;
- De faciliter la mise sur le marché de produits biosourcés, en mutualisant les efforts de recherches, les réseaux, les connaissances, etc. ;
- De renforcer la visibilité d'un territoire et d'augmenter l'activité.

Les réseaux en **Allemagne** et aux Pays-Bas sont développés en nombre et sont performants.

Par exemple, en **Allemagne**, le cluster « Biopolymères / Bioproduits », sous la direction du BIOPRO Baden-Württemberg, regroupe des entreprises, des centres de recherches, des associations environnementales dans le land du Bade-Wurtemberg. Il travaille à faciliter la mise sur le marché de produits et polymères biosourcés, en impliquant les différents acteurs du cluster représentant les acteurs amont et aval de la filière. Le cluster intervient dans le lancement de projets, le financement, l'échange de technologie et de bonnes pratiques et la mise à disposition d'un réseau régional.

4.2.6 Exemples de politiques publiques / SENEGAL : « Transfert de Technologies : Production de Matériaux d'Isolation thermique à base de Typha au Sénégal »

ou comment bénéficier d'une abondance critique

Au Sénégal et, plus largement, en Afrique de l'Ouest le développement très rapide et invasif d'un roseau - le Typha Australis- dans toutes les zones humides pose de nombreux problèmes. Le Fleuve Sénégal dans sa partie aval entre la Mauritanie et le Sénégal est particulièrement touché : envahissement des canaux d'irrigation, en particulier des rizières, accès à l'eau des populations et des troupeaux, déplacements sur les voies d'eau, remise en cause de la biodiversité et des écosystèmes – dont hivernage des oiseaux migrateurs, santé publique (développement de parasites), approvisionnement en eau des agglomérations - dont Dakar, etc.

L'augmentation des surfaces envahies ne cesse de croître et concerne de plus en plus de zones géographiques. Mais, cette prolifération représente également une source considérable de matière première et au moins deux pistes de valorisation sont envisagées : la production d'énergie et la fabrication de matériaux de construction ; dans ce sens, le développement du typha doit être considéré comme une opportunité.

Le développement de l'utilisation du typha - et, éventuellement, d'autres ressources végétales – pour la production de matériaux de construction s'inscrit dans les démarches sur l'**Efficacité Énergétique portées par la sous-région**. Au-delà de l'aspect énergétique, ce développement permet également de participer aux réponses à de nombreux autres enjeux essentiels : la régulation du développement d'une plante dangereusement invasive, la préservation de la biodiversité et du patrimoine naturel, le confort des bâtiments, la croissance exponentielle du besoin en matériaux de construction, la pénurie de sable de construction, le développement économique des populations, etc. C'est donc un projet important et ambitieux avec des impacts potentiellement importants sur le réchauffement climatique.

Le programme « **Transfert de Technologie : Production de Matériaux d'Isolation thermique à base de Typha au Sénégal** », démarré en 2013, soutenu par le Fonds pour l'Environnement Mondial via le Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD/FEM) et coordonné par la Direction de l'Environnement et des Etablissements Classés (DEEC - Ministère de l'Environnement du Sénégal) simultanément au programme d'élaboration d'une réglementation thermique, met en place les éléments initiaux de la création d'une filière, depuis la récolte du typha jusqu'aux premières réalisations pilotes à caractère démonstratif.



Figure 36 : Typha Mauritanie
Courtesy © enhaut.org



Figure 37 : Grands Ateliers de l'Isle d'Abeau
Courtesy © CRATERRE



Figure 38 : Toiture chaume
Courtesy © Le Goff

Les 6 Composantes du projet :

1. Gestion durable du Typha
2. Transfert de la technologie de traitement de plantes brutes de typha
3. Développement de la production locale
4. Transfert des technologies de construction de bâtiments bioclimatiques et à efficacité énergétique
5. Démonstration de l'utilisation de matériaux de construction à base de Typha
6. Marketing et dissémination

Les 6 effets attendus :

1. Approvisionnement sécurisé en plants de typha de bonne qualité permettant d'assurer un investissement durable à grande échelle dans la production locale de matériaux de construction à base de typha
2. Le matériau d'isolation à base de Typha scientifiquement et commercialement certifié est largement utilisé dans les projets de construction au Sénégal
3. Création d'unités industrielles à petite échelle pour la production de matériaux de construction à base de typha
4. Les professionnels nationaux et régionaux sont compétents sur les technologies à utiliser dans les modèles de construction bioclimatiques et à efficacité énergétique
5. Les matériaux de construction à base de Typha sont largement utilisés dans la conception et la construction de bâtiments à efficacité énergétique
6. Approbation des matériaux de construction à base de Typha pour l'isolation thermique dans la construction de nouveaux bâtiments

4.2.7 Exemples de politiques publiques / Grande-Bretagne : Le Green Deal

une politique ambitieuse de rénovation des logements



Contexte

Le *Green Deal* est une mesure gouvernementale britannique intégrée dans la loi sur l'énergie (*Energy Act*) de 2011. Il vise à favoriser la rénovation énergétique des logements anglo-saxons, dont plus de 82% présentent un niveau de performance énergétique supérieur ou égal à la classe D (>150kWh_{ep}/m²/an).

Il a été officiellement lancé en janvier 2013.

Fonctionnement

La particularité de ce plan relève de son fonctionnement : les fonds empruntés pour la rénovation du logement sont **remboursés directement par les économies d'énergie engendrées sur les factures**.

Près de 25 types de travaux sont éligibles au *Green Deal*. Ils se décomposent en 5 catégories : chauffage, eau chaude, isolation, portes et fenêtres, micro-génération et énergies renouvelables.



Bilan

- Seulement 1600 plans Green Deal réalisés fin 2013 contre 130 000 annoncés par le gouvernement. En octobre 2015, ils s'élevaient à 14 000
- 2,6 mesures réalisées par plan en moyenne
- Principaux travaux réalisés : remplacement de chaudières (30% des cas), installation de panneaux photovoltaïques (20%) et isolation des murs par l'extérieur (15%)

Avantages

- Mécanisme de tiers-payant attractif pour lever la barrière de financement ;
- Taux de défaut de paiement très faible pour les factures d'énergie (< 2%) ;
- Le contrat est rattaché à la propriété par le compteur d'énergie, et non au locataire ou au propriétaire, ce qui facilite la continuité des remboursements en cas de vente ou de changement de locataire (Ancrage à la pierre) ;
- Les coûts supportés par le client ne peuvent pas dépasser les économies d'énergie attendues (Règle d'or).

Inconvénients

- Possible « effet rebond » : la baisse de la facture d'énergie peut entraîner une consommation supplémentaire ;
- Méconnaissance du public britannique et système jugé trop complexe et peu incitatif ;
- Taux d'intérêts élevés, supérieurs à 8% ;
- Transfert de créance si changement d'opérateur énergétique encore mal défini ;
- Ne valorise que de petites opérations et non des rénovations à haut niveau de performance, souvent plus chères (en respect de la Règle d'or).
- Annonce de la GDFC de l'arrêt des financements supplémentaires en juillet 2015

4.2.8 Exemples de politiques publiques / France : Le label bâtiment biosourcé,

un outil au service de la maîtrise d'ouvrage publique



Contexte

Depuis avril 2012 en France, les maîtres d'ouvrages intéressés peuvent demander la certification de tous « bâtiments nouveaux qui intégreraient un taux minimal de matériaux biosourcés et répondant aux caractéristiques associées à ces matériaux ». Ce label s'adresse à tout maître d'ouvrage de bâtiment neuf (ou partie neuve), privé ou public, résidentiel ou non.

Fonctionnement

L'attribution du label est d'abord soumise à la justification de la qualité environnementale du bâtiment par une certification **NF HQE** (Haute Qualité Environnementale) ou **NF HPE** (Haute Performance Énergétique). Les conditions d'attribution du label sont définies précisément dans l'arrêté ministériel du 19 décembre 2012 détaillant :

- Les matériaux éligibles avec notamment la définition d'une « famille de matériaux de construction biosourcés » et les critères à remplir par ces matériaux (aptitude à l'usage, étiquetage A ou A+ pour les polluants volatils, gestion durable des forêts, respect des directives européennes, réalisation d'une fiche de déclaration environnementale et sanitaire, etc.) ;
- Le taux d'incorporation de matière biosourcée à respecter pour être labellisé. Ainsi, 3 niveaux de label sont accessibles selon l'usage, la quantité et le nombre de matières biosourcées utilisées dans le bâtiment (2 produits au moins pour le 1^{er} niveau, 2 « familles » au moins pour les niveaux 2 et 3).

Type d'usage principal	Taux d'incorporation de matière biosourcée du label « Bâtiment biosourcé » (en kg/m ² de surface de plancher (SP))		
	1 ^{er} niveau	2 ^e niveau	3 ^e niveau
Maison individuelle	42	63	84
Industrie/Stockage/Service de transport	9	12	18
Autres usages *	18	24	36

Bilan

Les 3 organismes certificateurs **Certivéa** (bâtiments non résidentiels), **Cerqual** (logements collectifs) et **Céquam** (maisons individuelles) ont dénombré fin 2014, soit plus de 2 ans après la mise en place du dispositif :

- **Seulement 115 demandes de certifications** (113 dans l'habitat et dans le secteur non résidentiel) ;
- Aucune délivrance du label bâtiment biosourcé.

Avantages

- Mise en avant du recours aux matériaux biosourcés pour la construction d'un bâtiment ;
- Facilitation des démarches des maîtres d'ouvrages peu familiarisés mais souhaitant utiliser ces matériaux sans forcément entrer dans une démarche de label (types de matériaux disponibles, caractéristiques techniques, spécificités de mise en œuvre) ;
- Favorise la structuration et le développement des filières.

Inconvénients

- Méconnaissance du label et manque de certifications ;
- Contraintes financières pour les maîtres d'ouvrages pour l'obtention du label et des certifications de performances (HQE, HPE) ;
- Nombre de matériaux éligibles peu élevé du fait des contraintes réglementaires et financières de reconnaissance des qualités techniques et environnementales des matériaux.

4.2.9 Exemples de politiques publiques / Colombie : La modification du code de l'urbanisme

et la prise en compte du bambou comme matériau de construction

Contexte

En Colombie, le bambou souffre d'une vision très négative de la part de la population, les constructions en bambou étant considérées comme un signe de pauvreté et de précarité pour des foyers ne pouvant pas s'offrir de maisons conventionnelles « en dur ».

Cette dépréciation du matériau a atteint une telle ampleur dans le pays qu'il a été un temps évoqué la possibilité d'interdire son utilisation dans la construction et de l'inscrire dans le code de l'urbanisme.

Mais grâce aux travaux et au mouvement de plusieurs architectes reconnus, dont Simon Vélez, l'architecte ayant fait de la Guadua son matériau phare, le bambou n'a, non seulement pas été interdit, mais a pu être inclus dans un chapitre spécifique du code de la construction du pays. Simon Vélez a lui-même été mandaté par le président colombien, Alvaro Uribe, pour réaliser la rédaction du chapitre dédié au bambou du nouveau code de la construction de 2010.



La Colombie est ainsi devenue le premier pays au monde disposant d'un chapitre dédié au bambou dans son code de la construction.

Contenu du chapitre réservé au bambou Guadua

Le chapitre est divisé en 12 parties explicitées ci-dessous :

- G.12.1 — Alcance (Champ d'action)
- G.12.2 — Términos y definiciones (Termes et définitions)
- G.12.3 — Materiales (Matériaux)
- G.12.4 — Obtención y comercialización (Obtention et commercialisation)
- G.12.5 — Materiales complementarios (Matériaux complémentaires)
- G.12.6 — Bases para el diseño estructural (Bases pour la conception structurelle)
- G.12.7 — Método de diseño estructural (Méthodes de conception structurelle)
- G.12.8 — Diseño de elemento sometidos a flexión (Conception d'éléments soumis à flexion)
- G.12.9 — Diseño de elementos solicitados por fuerza axial (Conception d'éléments soumis à une force axiale)
- G.12.10 — Diseño de elementos solicitados por flexión y carga axial (Conception d'éléments soumis à flexion et à force axiale)
- G.12.11 — Uniones (Assemblage)
- G.12.12 — Preparación, fabricación, construcción, montaje y mantenimiento (Préparation, fabrication, construction, montage et entretien)

Normes en vigueur concernant le bambou

Les normes colombiennes viennent renforcer les normes internationales concernant l'utilisation du bambou pour la construction.

Normes internationales

- ISO 22156 (2004a) : Bamboo, Structural design ;
- ISO 22157-1 (2004b) : Bamboo, Determination of physical and mechanical properties – part 1 : Requirement ;
- ISO 22157-2 (2004c) : Bamboo, Determination of physical and mechanical properties – part 2 : Laboratory manual.

Normes Colombiennes

- NSR10 : Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente ;
- NTC 5407 : Uniones de Estructuras Guadua angustifolia Kunth ;
- NTC 5525 : Métodos de Ensayo para determinar las propiedades Físicas y mecánicas de la Guadua angustifolia Kunth.

4.3 L'INNOVATION

L'ingénierie des pores au service de la performance

L'utilisation des ressources issues de la biomasse constitue une opportunité remarquable pour innover dans le domaine de la construction. Pour s'en convaincre, il suffit d'observer le nombre d'articles internationaux publiés, répertoriés dans Science Direct entre 2012 et 2015. Le dynamisme actuel de la recherche au niveau international autour des matériaux de construction biosourcés se concrétise dans la mise au point de nouveaux matériaux biosourcés, la diversification des matières premières ou encore par l'optimisation de leurs performances aussi bien dans les domaines mécanique, thermique, ou acoustique.

4.3.1 Diversité des sources et des objectifs

Les travaux de recherche conduits sont extrêmement variés, ils portent sur les caractéristiques des matières premières et leurs différentes transformations. L'origine des matières biosourcées est en effet très diverse. Les produits, issus de l'agriculture, de la sylviculture, de l'aquaculture, des écosystèmes naturels ou encore du recyclage, ont des caractéristiques différentes. Et cette diversité est accrue par les origines géographiques, les systèmes de productions ou encore les types de transformations ou les conditions de stockage.

De nombreuses plantes ont aujourd'hui donné lieu à des travaux afin de valoriser ce potentiel comme matériaux de construction : chanvre, lin, miscanthus, colza, épines de pin, algues, ...

Par ailleurs, ces matières premières trouvent des valorisations dans le domaine de la construction sous différentes formes (mortiers, bétons, enduits, peinture, adjuvants, ...) pour des usages très différents (isolation,

renfort, remplissage, ...) exigeant des caractéristiques spécifiques et des travaux de recherche adaptés (chimie du bâtiment...).

Il est important de remarquer qu'aujourd'hui le travail porte à la fois sur la diversification des composés végétaux mais également sur les autres composantes afin d'optimiser les performances des matériaux : liants et adjuvants pour les mortiers, mélanges entre matières végétales pour les laines notamment.

Globalement, la recherche s'articule selon deux axes : d'une part, les matériaux transformés mécaniquement - fournissant principalement des fibres pour les isolants et des granulats pour les mortiers et bétons ; d'autre part, les transformations à l'échelle moléculaire répondant aux besoins de la chimie du bâtiment : additifs, peinture, mousses isolantes, composites...

4.3.2 L'ingénierie du « vide »

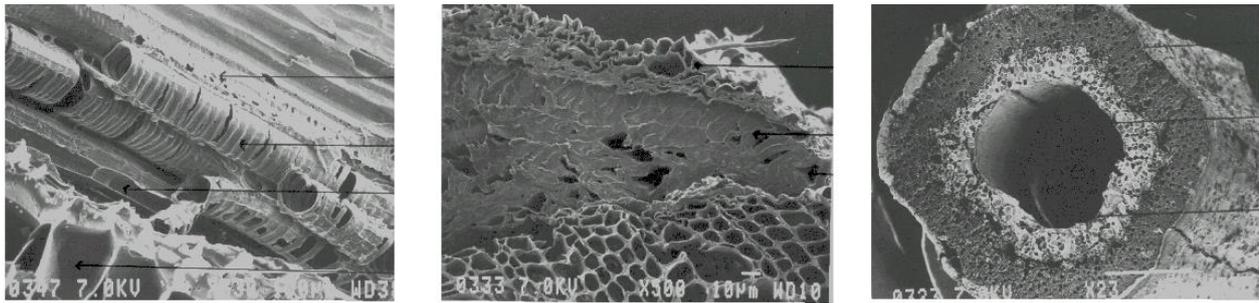


Figure 39 : Structures microscopiques des tiges de chanvre et de roseaux - Source : CERMAV

Toutefois, une caractéristique essentielle est prise en compte dans pratiquement tous les programmes : la porosité. Elle résulte en partie de la micro porosité de la matière végétale. Cette microstructure très variable d'une matière à l'autre dépend fortement des diverses transformations qu'elle subit. Les matériaux composites considérés sont constitués d'un assemblage imparfait d'éléments (fibres, particules...) qui définit alors un réseau complexe de pores, de plus grandes tailles, appelés macro-pores.

Ce réseau poreux influence directement les performances et le fonctionnement de la majeure partie des matériaux issus de la biomasse.

D'un point de vue mécanique, la structure poreuse du matériau composite conduit à des matériaux avec de faibles masses volumiques, ayant généralement une moindre résistance en compression mais capables de se déformer avec peu ou pas de dégradation.

Sur le plan phonique, la porosité ouverte permet l'absorption des ondes sonores par effet visqueux et, selon les typologies de matériaux, apporte de l'isolation phonique et de la correction acoustique. La diversité des tailles de pores et la « complexité » ou tortuosité de ce réseau complexe constituent un paramètre majeur du dimensionnement des performances acoustiques de ces matériaux.

Enfin, au niveau thermique, la présence d'air faiblement mobile, au sein des pores, améliore sensiblement la résistance thermique. Mais surtout, les pores du matériau, s'ils sont connectés entre eux, permettent, en

fonction des conditions de température et d'humidité relative, la circulation et le changement de phase d'eau et vapeur d'eau contenues dans le matériau. Ces transferts sont à l'origine d'un fonctionnement dit hygrothermique dynamique et jouent un rôle de régulateur particulièrement performant. Ces phénomènes ont fait, en particulier, l'objet de travaux importants pour les bétons végétaux et s'ouvrent aujourd'hui à beaucoup d'autres matériaux poreux. Ces propriétés sont directement liées aux mouvements de l'eau et de l'air au sein du réseau poreux. Elles dépendent de phénomènes physiques complexes au sein de la matière : perméabilité, diffusion, sorption / désorption, capillarité, changements de phase...

La diversité et la complexité des phénomènes physiques en jeu expliquent qu'ils soient pour le moment encore mal modélisés et en conséquence, que partiellement pris en compte. Ainsi les performances de ces matériaux sont sous-estimées à l'heure actuelle. Il s'agit, à n'en pas douter, de l'un des défis majeurs pour une valorisation bien plus large de ces matériaux.

Les programmes de recherche ont fait et ils contribuent à faire progresser la compréhension de tous ces phénomènes complexes. Aujourd'hui, un nouveau défi se présente : maîtriser ou designer astucieusement les caractéristiques des pores (dimensions, connectivité, organisation, propriétés de surface...) afin d'optimiser les performances des matériaux, en fonction des usages visés.



Figure 40 : Béton de chanvre ©HA Segalen

Bétons végétaux : une rupture technologique

La substitution des granulats minéraux par des granulats végétaux confère aux bétons un ensemble de caractéristiques qui n'a pas échappé aux chercheurs et, par conséquent, aux fabricants de chaux et de ciment. Au-delà des qualités environnementales – en particulier une amélioration sensible du bilan carbone et de la renouvelabilité – les bétons végétaux bénéficient d'une faible masse volumique, d'une grande plasticité et d'une résistance thermique améliorée. Mais surtout, les travaux scientifiques ont montré que leur porosité très élevée – pouvant dépasser 80% du volume total – permet un fonctionnement hygrothermique qui en fait des matériaux à changement de phases « naturel » et qui implique de modifier l'approche thermique des bâtiments.

Désormais, l'enjeu est, d'une part, de piloter ces fonctionnements grâce à des formulations contrôlées et, d'autre part, d'être en mesure de calculer les impacts sur la performance énergétique des bâtiments pour qu'ils puissent enfin s'intégrer dans les calculs utilisés par les réglementations thermiques.

4.3.3 Approche multi-physique et transdisciplinaire



Figure 41 : Eprouvettes bétons végétaux - © HA Segalen

Les différentes performances – mécanique, acoustique et thermique - réunies dans un même matériau ont permis aux chercheurs d'avoir une approche multiphysique et d'aborder les problématiques des matériaux de construction sous un angle innovant.

Contrairement à une tendance forte incitant à développer des produits spécifiques pour répondre aux besoins de chaque fonction - structure, isolation thermique, correction acoustique, etc. - de nombreux travaux sur les matériaux biosourcés cherchent à répondre simultanément à plusieurs fonctions.

Enfin, les matériaux biosourcés n'échappent pas aux exigences communes à tous les matériaux de construction : la durabilité qui vise à assurer une stabilité de toutes les performances au cours du temps. Ce volet n'est que très peu traité actuellement et pourtant de nombreuses questions se posent tant les évolutions de la matière végétale avec l'eau sont marquées. Il s'agit des interactions physico-chimiques entre constituants ou encore entre le matériau et son environnement.

Une part importante de la recherche concerne donc la durabilité de ces nouveaux matériaux dans le temps, les causes et conséquences de dégradations possibles, les aspects sanitaires et la qualité de l'air intérieur qui s'y rattache ou encore l'analyse de leur cycle de vie.

4.3.4 Valorisation des bioressources dans la construction



Figure 42 : Matériaux de construction biosourcés : bois, chanvre, bambou, roseaux, céréales – Droits réservés

4.3.4.1 Fibres de bois

En dehors des OSB, MDF, contreplaqué, aggloméré, etc. largement utilisés dans la construction, les panneaux isolants en fibres de bois se sont développés principalement en Europe où la filière est sans doute la plus mature parmi celles des matériaux de construction biosourcés. Les processus de fabrication sont aboutis, les circuits de distribution, d'évaluation technique et de certification sont actifs, les gammes de produits sont larges et multifonctionnelles (thermiques, acoustiques, étanchéité, etc.). Et, évolution récente, presque tous les fabricants proposent des solutions d'isolation thermique par l'extérieur (ITE).

4.3.4.2 Chanvre, lin et autres plantes à fibres

Les fibres issues des plantes telles que le lin et le chanvre ou encore le jute, le kenaf, l'alpha ou le sisal sont utilisables pour la fabrication de laines isolantes. Pourtant, les producteurs se sont peu investis dans le marché du bâtiment et, en dehors des laines de chanvre, très peu de produits sont disponibles.

Les coproduits issus du défilage – tels que les anas de lin ou la chènevotte du chanvre – sont utilisés pour la fabrication de granulats pour bétons. La filière chanvre française s'est positionnée depuis plusieurs années en leader du développement de ces bétons et son expertise s'est exportée dans différents pays. Cette position est toutefois fragilisée par la dimension et la structuration de la filière et par l'arrivée inévitable d'autres granulats végétaux concurrents.

4.3.4.3 Matériaux issus du recyclage

Le papier recyclé (ouate de cellulose) est utilisé comme isolant depuis le milieu du XX^e siècle et représente une part importante du volume d'isolants biosourcés utilisés mondialement. Largement employé dans nombre de pays (USA, Canada, Europe du Nord, Allemagne, Grande-

Bretagne) le papier recyclé a connu ces dernières années un développement rapide en France et, malgré quelques aléas, la filière a atteint une maturité qui la positionne en concurrence des autres isolants. La récupération des textiles procure également des matières qui ont fait leur apparition dans le monde de l'isolation depuis quelques années.

4.3.4.4 Bambou

Multi-usage, complet, universel, le bambou est inhérent à la construction traditionnelle, surtout en Amérique Latine et en Asie. Ses qualités – caractéristiques techniques, rapidité de croissance, diversité des transformations et des utilisations, etc. – en font un matériau moderne aux possibilités innovantes : structures, planchers, parquet, revêtement souple, isolant. Plusieurs architectes de renom ont développé des systèmes permettant d'exploiter ses potentiels. D'ailleurs, il apparaît dans nombre de pavillons de l'Exposition Universelle de Milan (Vietnam, Chine, Japon, Italie, etc.).

4.3.4.5 Roseau

Le roseau pousse activement dans toutes les parties du monde, représentant une source très importante de matière pour la construction vernaculaire, et trouve un regain d'intérêt dans certaines constructions actuelles. Des architectes néerlandais, suédois ou français réutilisent le chaume pour des réalisations contemporaines innovantes. Pourtant l'industrie des matériaux de construction ne s'est, jusqu'à présent, que peu intéressée à cette matière.

4.3.4.6 Paille de céréale et autres cultures.

La paille est un coproduit très abondant dans toutes les zones agricoles – bien que la concurrence entre les usages puisse être un sujet sensible dans certaines zones d'élevage. Mise en œuvre aux États-Unis dès la fin du XIX^e siècle, la construction en ballots de paille s'est

exportée bien plus tard en Europe ou en Australie. La filière française est aujourd'hui particulièrement active. Mais la paille trouve de nombreuses autres utilisations, en recourant à plus ou moins de transformation : panneaux isolants, panneaux rigides, mélanges terre-paille, bétons végétaux.

4.3.4.7 Fibres animales

Les fibres animales ont été employées de façon traditionnelle dans l'habitat nomade (tente bédouine,

yourte, tipi). Ce type d'habit est bien sûr en forte régression même si à Oulan-Bator plus d'un million de personnes vivent dans des yourtes et si l'ethno-tourisme s'en délecte. Sous l'aspect de produits industriels, la laine animale (laine de mouton surtout) est utilisée pour fabriquer des isolants fibreux. Peu rémunératrice, cette production reste confidentielle malgré son exploitation dans les pays comme la Nouvelle Zélande, l'Australie, le Royaume-Uni ou le Chili.



Figure 43: Ouate de carton NOVIDEM -
Courtesy IDEM © Citron Givré

Ouate de carton : qualité technique, environnementale et sociale

A Chalon-sur-Saône, IDEM innove avec la première chaîne de fabrication d'isolant à base de carton recyclé. Ce programme s'appuie sur un approvisionnement local, un centre de tri dédié, un process de fabrication spécifique et une culture d'entreprise éprouvée.

Il faut ajouter à tout cela, l'exigence d'une qualité irréprochable - par exemple le centre de tri élimine toutes les matières non conformes : encres, plastiques, etc. La qualité est contrôlée en continu par un laboratoire interne et elle sera, à terme, garantie par deux certifications en cours de validation (ACERMI et AQMB).

Matériaux biosourcés, économie circulaire, économie sociale et solidaire, qualité des produits : un concentré de critères « durables ».

4.3.5 Exemples de démarches d'innovation

4.3.5.1 Programme PNEEB/Typha, Matériaux à faible impact environnemental

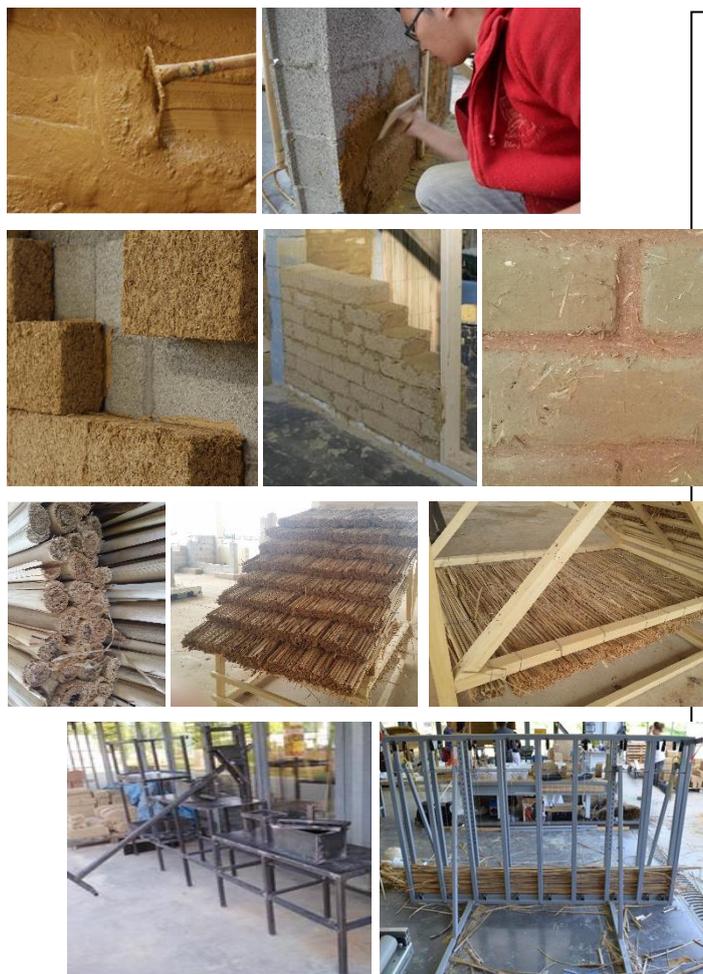
Contexte

CRAterre, association et laboratoire de recherche de l'Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Grenoble, travaille depuis plus de 35 ans à la reconnaissance et au développement de l'utilisation de la terre crue dans la construction. Impliqué dans la lutte contre la pauvreté, la défense de l'environnement et le soutien de la diversité culturelle, CRAterre apporte son expertise dans de nombreuses parties du monde. C'est l'un des partenaires du programme PNEEB/Typha visant à transformer le typha, une ressource « nuisible », en ressource durable. (voir Fiche PNEEB/Typha)

Objectifs et descriptions du programme

CRAterre est chargé de mettre au point des matériaux de construction utilisant la terre et le typha, puis de commencer à les diffuser. La mission de CRAterre comprend quatre volets :

- identification du contexte sénégalais et un état de l'art sur l'utilisation des fibres végétales dans la construction,
- expérimentations guidées par les résultats de l'identification avec plusieurs séminaires de restitution des résultats,
- démonstration, comprenant la formation de futurs producteurs de matériaux et qui prévoit aussi la construction d'un éco-pavillon, qui servira de support de démonstration aux différents matériaux Terre-Typha développés,
- application prévoyant la mise en place de différentes actions pour une plus large diffusion des résultats.



Résultats à fin 2015

Au-delà de l'identification des disponibilités en argile et des techniques locales, le programme a permis le développement des produits :

- **Les mélanges terre-typha.** Ces mélanges sont à la base des différentes solutions terre-typha. Ils sont ensuite valorisables par des utilisations en « mélange-chantier » (par exemple pour des enduits isolants) soit pour confectionner des éléments de construction ;
- **Les éléments en terre-typha.** Utilisant différents types de mélanges et différentes techniques de réalisation, ces éléments prennent des formes (briques ou panneaux) adaptées à diverses fonctions : remplissage ou doublage de murs (avec plus ou moins de capacité d'isolation ou d'inertie), réalisation de cloison, de hourdis pour plancher, etc.
- **Les panneaux de typha.** Confectionnés à partir de tiges de typha assemblées par des fils de fer galvanisé, ces panneaux peuvent être utilisés en doublage isolant (toiture et mur), en support d'enduit isolant ou encore en couverture (chaume) ;
- **Les outils de fabrication.** Pour permettre la confection des matériaux, deux outils susceptibles d'être fabriqués localement sont développés : une presse manuelle pour le mélanges terre-typha et un gabarit d'assemblage pour les panneaux.

Figure 44 : Présentation des produits terre-typha aux Grands Ateliers de l'Isle d'Abeau – Courtesy © CRATERRE

4.3.5.2 Bâti ancien : les incontournables solutions biosourcées.

La Maison Diocésaine Odette Prévost, à Châlons-en-Champagne



Figure 45: Maison Diocésaine Odette Prévost - Courtesy M'Cub © Luc Boegly

Contrairement au bâti moderne qui tente de s'isoler de l'eau, le bâti ancien – à savoir antérieur à 1948 pour la législation française – cherche à gérer l'humidité contenue dans ses composants. Le système s'appuie largement sur le fonctionnement hygrothermique des matériaux. Celui-ci ne doit pas être contrarié s'il l'on veut conserver les qualités de ce bâti et éviter des dégradations qui peuvent être irréversibles. Les techniques de rénovation – et en particulier de rénovation thermique – doivent impérativement respecter cette exigence en employant des matériaux poreux tels que les matériaux biosourcés dont c'est une caractéristique avérée.

Dans le cas de la rénovation de la Maison Diocésaine Odette Prévost de Châlons-en-Champagne en 2004, les architectes (Méandre) ont eu recours à un enduit de chanvre de 5 à 8 cm. Dix ans après, ce bâtiment de 1500m² de bureaux affiche une consommation de chauffage de 61 kWh/m²/an et les utilisateurs vantent le confort du bâtiment.

4.4 LE BATI VERNACULAIRE

4.4.1 Historique et définition

Le mot vernaculaire provient du latin *vernaculus* qui signifie « indigène, domestique », et *verna* fait plus particulièrement référence aux « esclaves nés dans la maison ». Le mot vernaculaire est donc employé pour qualifier quelque chose de propre à un pays et/ou à une population.

L'expression « architecture vernaculaire » est utilisée depuis les années 1980 en France, sous l'influence de l'anglais « *vernacular architecture* ». Cette expression désigne un type d'architecture propre à une aire géographique, un terroir et à ses habitants. Il s'agit d'architecture fortement influencée par le contexte local, les traits culturels et l'impact des milieux physiques. Au carrefour de la nature et de la culture, le bâti vernaculaire est étonnamment divers puisque qu'il naît du sol et des ressources de la région où il se

développe, tout en s'adaptant à l'ensemble de ses contraintes.

L'architecture vernaculaire est une invitation à repenser, en partie, **le rapport entre le « contenant », la ville, le « contenu », la communauté** et les flux qui les animent et régissent leur interaction avec leurs périphéries. Le bâti vernaculaire doit être re-contextualisé à travers de « nouvelles philosophies urbaines » porteuses de valeurs qui engagent, au-delà des villes elles-mêmes, les politiques publiques (accès aux services essentiels), les outils d'aménagement (plans d'urbanisme, réglementations) et les acteurs qui participent à leur développement (y compris les partenaires extérieurs au territoire engagés dans des processus d'aide et de coopération).

4.4.2 Les notions associées au concept « vernaculaire »

Aujourd'hui, c'est principalement la réhabilitation de « savoir-faire » traditionnels locaux présentant des éléments de réponses adaptés aux défis contemporains du développement urbain durable qui est recherchée... Toutes les techniques indigènes et ancestrales ne présentent pas, en effet, le même intérêt au regard des enjeux actuels en matière d'environnement, de renforcement du lien social ou de développement économique : d'un certain point de vue, le bâti vernaculaire est en perpétuel renouvellement, les modes de vie évoluent, la destination, les usages des constructions également et des progrès techniques majeurs viennent compenser l'utilité que pouvaient avoir dans le passé certaines techniques de construction traditionnelles. Il ne faudrait donc pas les idéaliser et reconnaître que la modernité leur est souvent préférée parce qu'elle apporte un réel confort de vie au quotidien.

D'un autre point de vue, beaucoup de ces savoir-faire et techniques ont été développés, perfectionnés, optimisés au cours des siècles grâce à une compréhension fine des territoires, de leurs ressources, de leurs contraintes et de besoins humains vitaux. De fait, c'est plutôt l'état d'esprit et le cheminement de pensée qui ont permis la mise au point et le transfert de ces savoir-faire qu'il faut retrouver, et non les techniques elles-mêmes, aussi ingénieuses soient-elles.

L'architecture vernaculaire ne s'arrête pas au matériau utilisé, ou au bâtiment, mais s'intègre dans l'écosystème du territoire auquel elle appartient. Elle comprend ainsi une dimension sociale essentielle, souvent établie sur les bases d'une auto construction, permettant une réelle

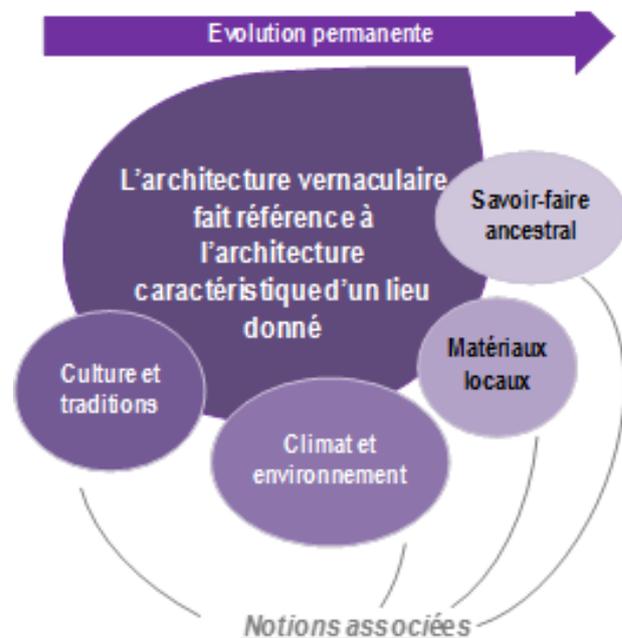


Figure 46 : Les notions associées au concept de bâti vernaculaire – Source Nomadéis

prise en compte de la qualité et le respect de l'environnement direct des habitants.

Plusieurs échelles d'analyse sont donc nécessaires pour comprendre toute la richesse de l'architecture vernaculaire :

- L'échelle du matériau local adapté à son environnement économique, culturel et environnemental ;
- L'échelle du bâtiment isolé adapté à son environnement physique (naturel) et économique, via la construction avec des techniques traditionnelles, et le recours à la main d'œuvre locale ;
- L'échelle du quartier adapté à son environnement physique et social via la conception d'espaces habités privés, semi-privés et publics.

- L'échelle temporelle, c'est-à-dire la prise en compte de la vie des bâtiments et de leurs usagers au cours du temps. Ainsi, l'analyse de l'ensemble du cycle de vie des bâtiments (et non sa seule construction), de manière à appréhender les problématiques des transports, de disponibilité des matériaux, est primordiale ainsi que son impact sur les modes de vies urbains, etc.

4.4.3 Le bâti vernaculaire, un catalyseur du développement urbain durable entre tradition et innovation continue

4.4.3.1 Le recours aux matières premières disponibles localement

Le bâti vernaculaire est le résultat d'une **adaptation progressive à un contexte local**. En effet, il se fonde sur l'utilisation et l'**optimisation de matériaux disponibles** à proximité des sites de construction : bois, végétaux, terre, pierre, ardoises, lauzes, sable, bambou. L'avantage du temps long réside dans l'exploration de possibilités offertes par ces différentes ressources locales. Ainsi, au-delà des matériaux que l'on trouve en grande quantité sur l'ensemble de la planète, l'approche vernaculaire a permis aussi la valorisation très spécifique de ressources ultra locales comme par exemple, l'utilisation du typha au Sénégal ou celle du palmier d'eau au Vietnam.

Alors que dans les pays du Sud, ces matériaux laissent de plus en plus la place à l'utilisation massive des parpaings et du béton du fait de l'explosion démographique des populations, dans des pays en croissance économique, et du besoin de loger rapidement une population urbaine de plus en plus importante, on redécouvre au Nord, avec le développement des inquiétudes environnementales, l'intérêt des matériaux biosourcés. Le cas du bambou *Guadua* en Colombie en est une illustration intéressante : délaissé par les populations locales et considéré comme un signe de pauvreté extrême, il a été remis au goût du jour grâce à quelques architectes célèbres et est aujourd'hui particulièrement « en vogue » dans les pays du Nord du fait de ses caractéristiques physiques et mécaniques exceptionnelles.

Au-delà de la simple utilisation d'un matériau, le bâti vernaculaire s'établit également sur la mise en place de **cercles vertueux pour le territoire**, et notamment dans la complémentarité entre les espaces et les activités qui le structurent. Les matériaux utilisés dans la construction vernaculaire sont ainsi souvent intégrés à des chaînes de valorisation d'une ressource (co-produits, réutilisation de matériaux, etc.). Bien que parfois la surexploitation de

certaines ressources dont celle du bois à la base de nombreuses architectures traditionnelles, puisse accélérer des phénomènes de déforestation, le bâti vernaculaire demeure par essence un mode de construction particulièrement écologique. L'utilisation privilégiée de ressources locales s'accompagne d'une **limitation du transport de matériaux et de main d'œuvre**, ce qui a pour conséquence la diminution du coût carbone des chantiers. Les architectures traditionnelles et leurs qualités bioclimatiques permettent aussi souvent d'éviter le recours à des techniques artificielles de climatisation ou de chauffage, réduisant ainsi les émissions de CO₂ des logements, ce qui est le cas des habitations traditionnelles du Yunnan (Chine) et du Karnataka (Inde).

La mise à profit des matériaux locaux n'est cependant intéressante qu'à travers leur utilisation par **des techniques appropriées**. De véritables **intelligences constructives locales** se sont ainsi développées à travers le temps.

4.4.3.2 Une résilience accrue aux risques naturels, des techniques reprises lors de projets de post-urgence.

Les techniques vernaculaires connaissent aussi des évolutions significatives sous l'effet des aléas naturels. En effet, au fil du temps, **les populations des zones à risques ont été contraintes d'adapter leur habitat aux catastrophes successives**, générant ainsi une connaissance constructive intelligente et appropriée dont les qualités sont progressivement redécouvertes.

Le bambou est ainsi très apprécié en construction durable du fait de sa rapidité de pousse, de son besoin quasi-inexistant en intrants chimiques, mais surtout de sa résistance exceptionnelle. Le bambou *Guadua*, est considéré aujourd'hui comme de « l'acier végétal », mais dispose aussi de propriétés mécaniques très intéressantes dans la construction antisismique car il « plie mais ne rompt » pas.

4.4.4 Une logique en apparence incompatible avec la densité et les modes de vie urbains modernes

Le bâti vernaculaire se perpétue principalement **dans les espaces ruraux, berceaux de sa conception**. Avec le développement des villes, l'équilibre de cette approche systémique et respectueuse du territoire est souvent rompu. Les espaces urbains ont donné naissance à des modes de construction standardisés, qui sont devenus la norme. Pourtant une partie significative de la croissance urbaine provient d'un exode rural dont on pourrait attendre qu'il nourrisse un transfert des savoir-faire vernaculaires vers la ville. De fait, il semble que ce phénomène soit finalement très marginal. **Au contraire, ces savoir-faire précieux sont progressivement déconsidérés, oubliés et perdus.**

Dans les grandes villes, **la non-disponibilité des matières premières** pose un réel problème. Dans la plupart des cas, les matériaux associés aux modes de construction vernaculaires s'avèrent soit rares, soit chers, et souvent les deux (le bois, la terre et la pierre sont souvent des produits de luxe dans la construction conventionnelle). Les nouveaux bétons biosourcés pourront avoir un grand rôle à jouer dans le développement urbain soutenable.

Mais malgré tout, le bâti vernaculaire perce par endroits le tissu urbain. Si le transfert de savoir-faire constructif des campagnes vers les villes est limité et partiel, il existe néanmoins. D'abord, il existe un bâti vernaculaire

typiquement urbain que l'on retrouve dans les **centres historiques des villes** où ils ont pu être conservés. Ils sont souvent adaptés aux contraintes bioclimatiques (chaleur, humidité, etc.), et redeviennent aujourd'hui une source d'inspiration. La future ville de Masdar aux Emirats Arabes Unis s'inspire de la disposition architecturale typique des médinas permettant de se protéger de la chaleur.

Ensuite, l'exemplarité de ces constructions trouve généralement une source de motivation soit dans leur valeur démonstrative, soit dans le potentiel touristique qu'elles présentent. Fondés sur l'association du dépaysement, de la découverte d'une culture locale et du respect de l'environnement, de nombreux projets d'écotourisme ont permis la redécouverte ou la mise en scène d'habitats typiques, présentés volontairement sur leur compatibilité avec les principes du développement durable.

Aujourd'hui, l'architecture vernaculaire est remise au goût du jour grâce à la multiplication de projets nationaux et internationaux comme le programme CRATerre au Sénégal, et à l'utilisation ingénieuse de ces matériaux par des architectes de talent.

4.4.5 Omniprésence des matériaux biosourcés dans la construction vernaculaire

4.4.5.1 Retour aux logiques locales

Les matériaux biosourcés sont omniprésents dans le bâti vernaculaire de presque toutes les régions du monde. Ils ont, en revanche, pratiquement été oubliés par la construction moderne. Les raisons en sont sans doute multiples ; l'industrialisation de la production des matériaux de construction et la nécessité d'une standardisation peu favorables aux filières locales, les réponses aux exigences d'une urbanisation galopante ou la modification des structures sociales n'en sont sans doute que les parties les plus visibles. Relégués au rang de solution du passé, les matériaux biosourcés

traditionnels ont, pendant une longue période, été ignorés par la recherche et par la formation, amplifiant une image low-tech et dévalorisante. Mais nombre de paramètres qui ont porté l'architecture et la construction modernes changent pour faire face aux exigences du développement durable. La notion du « penser global, agir local », en particulier, donne un nouvel éclairage sur les filières locales. L'adaptation aux spécificités des territoires – en termes de ressources, de conditions climatiques, d'organisation sociale et de culture – plaide en faveur d'une revalorisation des matériaux locaux et des savoir-faire vernaculaires. Cette revalorisation trouve ses sources dans la tradition mais n'en est pas moins un terrain d'innovation sur tous les

plans. D'un point de vue économique, elle s'appuie sur le triangle ressources en biomasse-industrie de transformation-construction. Elle est un vecteur de revitalisation des économies locales et s'inscrit dans les approches d'écologie industrielle et territoriale et d'économie circulaire. De son côté, le monde de la recherche et de l'innovation technique fait preuve d'un intérêt croissant pour les matériaux de construction

biosourcés. Les travaux intègrent couramment les spécifiés des productions locales pour prendre en compte la diversité de la ressource et ses variations mais aussi les savoir-faire et les potentiels de fabrication. Enfin, conscient de la pertinence technique et de la portée culturelle des solutions vernaculaires, les architectes puisent de plus en plus dans cet immense potentiel des savoirs et de matériaux locaux.

4.4.6 Les freins et les leviers d'une massification

Il n'en reste pas moins que la massification de ces solutions est freinée par un ensemble de difficultés.

L'image dévalorisante de matériaux du passé, réservés aux populations les plus défavorisés et les moins développées, est bien présente mais s'estompe de plus en plus. Les dimensions technico-scientifiques apportées par l'innovation, l'exemplarité de bâtiments conçus par des architectes prestigieux, la construction d'hôtels et centres touristiques affichant volontairement ces matériaux, contrebalancent cette vision négative.

Dans de nombreuses régions, la « modernité » s'exprime couramment par la « maison de ciment », avec son inévitable toit de tôle, dont l'inadaptation aux conditions locales n'échappe pas aux utilisateurs, tout à fait conscients du confort perdu. Bien souvent, le recours aux techniques « modernes » est plus lié à la disparition des structures sociales qui permettaient de construire et d'entretenir des maisons traditionnelles qu'à la recherche d'une image de la réussite.

Cette problématique est très largement accrue par l'urbanisation galopante à l'échelle de la planète. Les

structures sociales sont encore plus perturbées en milieu urbain qu'en milieu rural ; d'autre part, les filières de production sont rompues et l'approvisionnement en matériaux devient impossible. Dans les régions plus industrialisées, où ces structures sociales ont disparu depuis longtemps, l'utilisation des techniques vernaculaires se heurte aux exigences de réglementations et de normalisation établies à l'échelle nationale ou internationale pour faciliter la circulation des produits. Par nature et par facilité, ces règles et normes incitent à une standardisation et une uniformisation antinomique avec les spécificités locales, d'autant que les acteurs de ces filières participent rarement à l'élaboration des textes, terrain de chasse privilégié des lobbies. Les matériaux vernaculaires issus de la biomasse sont donc une opportunité pour la construction et l'urbanisation durable. Mais leur massification passe largement par l'innovation, visant autant la réorganisation des filières que l'élaboration de matériaux et techniques adaptés aux exigences contemporaines ainsi qu'à l'ouverture à la diversité des réglementations et normalisations.

4.4.7 Techniques vernaculaires pour constructions innovantes

4.4.7.1 The Modern Seaweed House, Læsø, Danemark



Figure 47: Maison revêtement algues, Danemark - © Helen Hoyer Mikkelsen

Architectes : Studio Vandkunsten (utilisation d'une technique vernaculaire pour des constructions actuelles)

Située à l'est de la péninsule du Jutland dans le détroit de Kattergart, l'île de Læsø est une des plus septentrionales du Danemark. Jadis plusieurs centaines, une vingtaine de maisons au toit en algues sont aujourd'hui classées au patrimoine danois. Après avoir rénové en 2012 la plus ancienne – la Kaline's house (1865) – le développeur Realdania Byg initia le projet d'une version contemporaine, éthique et préfabriquée de cet habitat vernaculaire.

Confiée au cabinet Tegnestuen Vandkunsten de Copenhague, la Modern Seaweed House – son prototype d'environ 100 m² – fut livrée, l'année suivante, à proximité de son aînée. L'algue zostère concernée jouit de multiples qualités : disponible en quantité à proximité directe, durable, imputrescible – y compris à la vermine – et, qui plus est, très performante thermiquement et acoustiquement. Si sa toiture est bien constituée, comme le

veut la tradition, de longs "traversins" d'algues (contenues dans et par un filet tressé en laine brune autochtone) posés sur un feutre, les architectes ont ici étendu son emploi à l'isolation de son habitacle. Le plancher résulte de l'assemblage de caissons bois remplis d'algues recouverts d'une dalle de béton fibré puis parqueté de pin lessivé au savon blanc. Les panneaux de façades enchâssent dans leur ossature de mélèze des coussins d'algues – plus petits et plus denses – laissés apparents à l'extérieur. Les rampants sous toiture sont isolés par des "cassettes" en MDF rembourrées d'algues avant d'être habillées d'une toile de finition en lin écreu.

Le prix de ce prototype à énergie positive (menuiseries bois à triple vitrage, pompe à chaleur ...) est encore élevé, mais la croissance de la demande devrait bientôt le faire baisser !

- Maître d'ouvrage : **Readania Byg**. Architecte : **Tegnestuen Vandkunsten**. BET : **Moe SA**
- Analyse du cycle de vie (ACV): **Jan Schipull Kauchen**, architecte de Copenhague0
- Contract ant principal: **Greenhouse**. Charpentier: Aktiv Service, Île Moen
- Coussins : **Helle Raknes Thatching**. Algues: **Ib Ungerland, Île Bogø**. Garnissage: **Liebeck Industrial Upholstering**, Tapissier : **Frederikshavn**.
- Surface : **100 m²**. Chantier : **2012/2013**. Coût : **268000 €**

Source : Dossier « Matériaux de construction : retour aux (bio)ressources » - revue d'architecture CREE, réalisé dans le cadre de Bio World Benchmark. Texte Lionel Blaisse

4.4.7.2 Observatoire ornithologique du lac Täkern à Östergötland, Suède



Figure 48: Observatoire ornithologique Täkern, Suède © èke Eson Lindman

Architectes : Wingårdhs (utilisation du chaume pour une architecture contemporaine)

S'étendant sur 45 km² et profond d'à peine 1 m, le lac Täkern constitue la plus vaste roselière d'Europe (12 km²) ce qui lui vaut d'être un fantastique sanctuaire pour oiseaux consacré en réserve naturelle dès 1975. En 2012, le comté d'Östergötland y a ouvert au public un étrange observatoire ornithologique en osmose avec le paysage et respectueux de l'écosystème, conçu par Gert Wingardh.

Dans une clairière affleurant le rivage marécageux, une tour d'observation trapue à ossature bois est chapeautée d'un heaume de chaume aux allures de palombière mais à vocation bien plus pacifique. Arborant les mêmes matériaux vernaculaires généreusement approvisionnés par la profusion de roseaux et de forêts à proximité immédiate, les deux nouvelles constructions qui la complètent désormais prônent une architecture toute aussi résolument contemporaine, comme

des balles de paille sculpturalement taillées à la tronçonneuse. Élément majeur de la composition, le centre des visiteurs se referme en U pour mettre ses hôtes à l'abri des fréquentes rafales de vents soufflant du large. En lévitation au-dessus du biotope pour mieux le préserver grâce à de courts pilotis, son épaisse enveloppe (25 à 28 cm de chaume doublé de 20 cm d'isolant) est judicieusement entaillée d'inserts de verre tant en façades qu'en toiture. Afin de garantir la longévité de leur matière première (environ 50 ans), l'architecte n'a pas hésité à recourir à des versants pentus ni à substituer à leur habituel faitage végétal – point faible de ce type de couverture – un prisme verrier qui connecte au bleu du ciel les espaces d'exposition.

Œuvrer avec les "moyens du bord" – rustiques et ancestraux – n'a privé l'architecte d'aucune de ses prérogatives créatives légitimes ni la Nature de son droit à l'exception !

- Superficie : 750 m²
- Chantier : 2009/2012
- Propriétaire : Natürvardsverket
- Maître d'ouvrage : Comté d'Östergötland
- BET : Cowi (structure), Bengt Dahlgren AB (HVAC), Akustikforum AB (acoustique)
- Constructeur : Håkan Ströms Byggnads AB (tour), Svanska Sverige AB

Source : Dossier « Matériaux de construction : retour aux (bio)ressources » - revue d'architecture CREE, réalisé dans le cadre de Bio World Benchmark. Texte Lionel Blaisse

4.4.7.3 Ecole maternelle bioclimatique, Aknaibich, Maroc



Figure 49: Ecole maternelle Aknaibich, Maroc © Franck Stabe

Architecte : MAMOTH + BC architects & studies

Présidée par Yann-Arthus Bertrand, la fondation parisienne *GoodPlanet* développe le programme "Ecoles bioclimatiques" visant à réhabiliter des écoles insalubres ou à en créer de nouvelles, pensées durables, écologiques, économiques et sociales. De faible empreinte carbone, elles utilisent le soleil pour se chauffer et le vent pour se rafraîchir.

Au Maroc, leurs maçonneries sont construites en terre crue et leur toiture en bois de petites sections et en fibres tressées, leurs enduits d'argile sont épais, gras et légèrement fibrés. Compacts et hermétiques, les bâtiments s'orientent nord/sud, délaissant le soleil chaud du couchant.

Aknaibich est un douar de la commune de Drarga implanté sur les rives de l'oued Souss à 30 km d'Agadir. 50 garçons et 26 filles de moins de 6 ans n'y étaient pas scolarisés. La fondation a donc porté le projet d'une classe maternelle d'environ 50 m² confié

aux architectes du collectif français M.A.M.O.T.H. et de l'association belge BC architects & studies. Avec l'aide de 3 associations locales, des enseignants, des élèves et leurs parents, un contremaître, 5 *mahlems* (maîtres artisans), 15 ouvriers et 5 jeunes architectes volontaires européens, ils ont produit en auto-construction une architecture du quotidien humble, simple, utile et confortable. « Le climat spécifique, les codes sociaux, la beauté intrinsèque des matériaux locaux ont dicté nos choix. Nous avons travaillé tous ensemble, usant d'une intelligence collective et déhiérarchisée (...) pour promouvoir le savoir-faire et le faire pour savoir ! »

- Béton armé grossier réservé au chaînage antisismique.
- Ouvrages non porteurs (clôture) en *talouat* (pisé en berbère), porteurs en *mekdar* (adobe) dont pignon.
- Enduits extérieurs en *tadelass* (mélange de terre argileuse, sable et paille), intérieurs en *nouss-nouss* (moitié-moitié de terre argileuse tamisée et de plâtre).
- Soubassements en roches calcaires posées au mortier de terre et de chaux.
- Murs de 40 à 50 cm d'épaisseur avec couverture en roseaux et terre. Bois d'œuvre en eucalyptus et palmiers.
- Toiture plate en roseaux tissés, 10 cm de liège en isolation et terre crue.

Source : Dossier « Matériaux de construction : retour aux (bio)ressources » - revue d'architecture CREE, réalisé dans le cadre de Bio World Benchmark. Texte Lionel Blaisse

4.4.7.4 Centre Beautour sur la biodiversité, La Roche-sur-Yon, France



Figure 50: Centre de la Biodiversité, Beautour, France - © Willy Berré

Architecte : Agence Guinée-Potin

Le centre Beautour repose sur la mise en valeur du domaine et de la demeure du juriste et naturaliste vendéen Georges Durand (1886-1964) et d'une infime partie de l'importante collection (4500 plantes, 4000 oiseaux et 150000 insectes) qu'il y a constituée pendant près de 70 ans. Il légua le tout à sa mort au Museum national d'histoire naturelle qui revendit en 2007 le domaine à la Ville de la Roche-sur-Yon, voisine, qui à son tour le loua en 2009 pour 99 ans à la Région des Pays de Loire. 4 ans plus tard, le château rénové, son extension et son parc de 8ha accueillent un centre de découverte, de culture scientifique et de recherche sur l'environnement et la biodiversité.

La prise en compte de cette dernière, de la topographie et de la qualité des lieux y a dicté un parcours conduisant – sous le prétexte de l'intérêt scientifique – le visiteur vers la prairie et le fond du vallon, là où la nature sauvage rejoint celle du parc d'agrément historique. Dans ce contexte à forte narration

paysagère, l'extension réinterprète la technique traditionnelle du chaume. Ses architectes Anne-Flore Guinée et Hervé Potin ont imaginé un épiderme de chaume (en roseaux de Camargue) – innovant et contemporain – unifiant parois (25 cm d'épaisseur) et toiture (35 cm). S'étirant sur une centaine de mètres pour mieux épouser l'existant sans le brusquer, « ce morceau de paysage construit, cette nouvelle géographie » de forme organique, presque animale, repose sur des pilotis en troncs massifs de châtaignier afin de respecter le biotope qui l'héberge.

Privilégiant la filière sèche, la structure, la charpente et les planchers bois ont été préfabriqués en atelier. Bien que largement ouverte sur le paysage, la façade sud est protégée du soleil estival par le débord prononcé et "sculpté" du chaume en couverture.

- Maître d'ouvrage : Région des Pays de la Loire. MO délégué : Agence régionale Pays de la Loire Territoires d'Innovation
- Architectes : Anne-Flore Guinée et Hervé Potin architectes. Chef de projet : Solen Nico. Paysagiste : Guillaume Sevin Paysages. Scénographie BLOCK Architectes.
- Surface : 8 ha (domaine), 2057 m² (Shon) dont extension 1400 m²
- Chaume : 1800m² en couverture, 1100m² en bardage soit 35000 bottes de roseaux (10 tonnes).
- Coût des travaux (rénovation château, muséo et aménagements paysagers compris) : 5,74 M € TTC
- Gros-œuvre : BGCV. Charpente bois : Cruard. Couvreur-chaumier : Le Goff.

Source : Dossier « Matériaux de construction : retour aux (bio)ressources » - revue d'architecture CREE, réalisé dans le cadre de Bio World Benchmark : Texte Lionel Blaisse

4.4.7.5 Programme de développement territorial Ayacucho – Argentine



Figure 51 : Programme Terre paille, Ayacucho, Argentine - ©M Boyeux et L Lénée-Corrèze

Revalorisation de techniques terre-paille

À Ayacucho, commune rurale de la pampa argentine (3000 hab.), le conseil municipal a voté en 2012 un décret autorisant et encourageant la construction de logements en mélange de terre et de paille qui n'est pas sans rappeler la technique des *ranchos de chorizo*, l'habitation traditionnelle des gauchos.

Alors que ces techniques échappent totalement aux règles de construction nationale, la municipalité a affirmé sa volonté en accompagnant ce décret d'un ensemble de mesures : chantiers pilotes, assistance technique, fourniture de matériaux, équipe municipale spécialisée, etc.

De plus, le programme encourage la rénovation des *ranchos* traditionnels ainsi que l'auto-construction de logement et l'organisation de *mingas*, journées de travail collectif.

Les qualités techniques adaptées aux conditions locales, la performance économique – jusqu'à 50% d'économie par rapport aux constructions conventionnelles –, l'acharnement de quelques pionniers et, sans aucun doute, l'identité positive du gaucho et de son *rancho de chorizo* ont fait le reste.

Construction et rénovation de logements, réinsertion et formation professionnelles, organisation de filière et de structures sociales : trois ans après le décret le programme apporte un ensemble de solutions efficaces à une commune lourdement frappée par une croissance démographique galopante et de nombreuses difficultés sociales. Le modèle pourrait bien faire école.

Source : Dossier « Matériaux de construction : retour aux (bio)ressources » - revue d'architecture CREE, réalisé dans le cadre de Bio World Benchmark – Texte : Marie Boyeux et Léo Lénée-Corrèze

4.4.7.6 Patrick et Michèle Le Goff : l'expertise vernaculaire tournée vers l'avenir



Figure 53 : Chaumière, France Courtesy-LE GOFF © Jean-Jacques BERNIER



Figure 52: Formation chaume Sénégal © LE GOFF

Le savoir-faire de l'entreprise Le Goff est ancré dans la tradition et dans un territoire, celui du Marais de Grande Brière Mottière qui concentre la plus grande quantité de couvertures végétales de France.

Mais cet ancrage n'empêche pas l'entreprise d'être ouverte à d'autres horizons. La réalisation du Centre Beautour sur la biodiversité (La Roche sur Yon) est une démonstration de l'utilisation des techniques vernaculaires au service d'une architecture innovante.

Bien au-delà de la Brière, l'association TypHAS - Typha-Herbignac-Action-Sénégal, présidée par Michèle Le Goff

- forme des chaumiers dans la région du fleuve Sénégal et apporte sa part de réponse à une vaste problématique qui touche une grande partie de l'Afrique de l'Ouest.

Le label Entreprise du Patrimoine Vivant, dont est dotée l'entreprise Le Goff, trouve ici tout son sens.

Source : Dossier « Matériaux de construction : retour aux (bio)ressources » - revue d'architecture CREE, réalisé dans le cadre de Bio World Benchmark

4.5 ARCHITECTURE INNOVANTE

4.5.1 GRANDE-BRETAGNE : Marks & Spencer Cheshire Oaks

HYPERMARCHÉ A HAUTE PERFORMANCE ENVIRONNEMENTALE / ARCHITECTES : AUKETT FITZROY ROBINSON



Classé « Excellent » par la certification environnementale BREEM, le Marks & Spencer Cheshire Oaks est le plus grand magasin (20.000 m²) construit mondialement par le distributeur qui a voulu en faire le plus « green » et le plus innovant de ses magasins, en particulier par le choix de matériaux durables.

Si les impacts sur la biodiversité ont particulièrement été optimisés (végétalisation, plan d'eau, murs en gabion, etc.) les aspects sociaux ont aussi été pris en compte.

Par ailleurs, grâce à la conception (orientation, puits canadiens, etc.) mais aussi grâce à des murs de 40 cm de béton de chanvre, l'efficacité énergétique est améliorée de 42% par rapport à la consommation de référence de BREEM pour ce type de bâtiment.

Les murs en bétons de chanvre et la structure en bois lamellé-collé permettent également de stocker une quantité importante de carbone et participent largement à une performance carbone optimisée de 40% - toujours par rapport aux références de la certification BREEM.

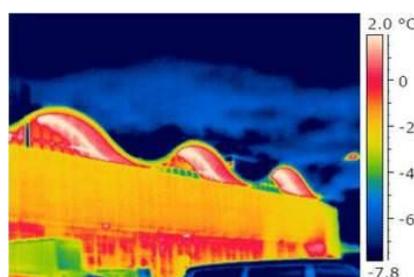


Figure 54 : Marks & Spencer Cheshire Oaks – Sources : sites de référence

Données techniques :

Matériaux biosourcés : béton de chanvre, bois lamellé-collé

Pays / Région : Angleterre

Année de construction : 2012

Type de construction : Neuve

Utilisation : Commerce, hypermarché

Surface construite/utile : 19 500 m²

Efficacité énergétique : -42% / référence BREEM

Efficacité carbone : -40% / référence BREEM



Figure 55 : : Marks & Spencer Cheshire Oaks Courtesy Yan Prichett

Préfabrication béton de chanvre/armature bois

Pour faire face aux exigences de ce type de construction – en particulier le temps de mise en œuvre – les murs en béton de chanvre ont totalement été fabriqués en usine et transportés sur le site pour le montage. Le système de préfabrication utilise une structure en bois très proche de celle utilisée pour les constructions dont le béton de chanvre est mis en œuvre sur chantier.

Sources :

- <http://corporate.marksandspencer.com/blog/stories/mands-cheshire-oaks-store>
- <http://www.breeam.com/index.jsp?id=655>
- <http://www.e-architect.co.uk/manchester/m-s-cheshire-oaks>
- <http://www.building.co.uk/sustainable-supermarket-mss-new-cheshire-oaks-store/5031183.article>

4.5.2 COLOMBIE : CARDER, Corporación Autónoma Regional de Risaralda,

CENTRE DEPARTEMENTAL DE L'ENVIRONNEMENT ET DES RESSOURCES NATURELLES RENOUVELABLES / ARCHITECTES : SIMÓN VELEZ



Destiné à abriter les services de CARDER, qui a la mission de défendre les politiques publiques en matière d'environnement, de développement durable et de gestion des ressources naturelles renouvelables dans le département de Risaralda, la conception du bâtiment a été confiée à Simón Vélez, architecte colombien mondialement connu pour ses solutions de valorisation du bambou, mais aussi pour son engagement en faveur de l'utilisation des ressources locales.

Entouré de pièces d'eau et d'une galerie couverte en étage, le bâtiment symbolise une modernité ancrée dans la tradition et la philosophie de l'institution en ce qui concerne la conservation des ressources naturelles et l'utilisation des potentiels environnementaux et forestiers du département de Risaralda.

CARDER, situé dans la ville de Pereira, est considérée comme l'une des structures les plus représentatives de la construction en bambou en Amérique latine.



Figure 56 : CARDER, Corporación Autónoma Regional de Risaralda, Photos Droits réservés

Données techniques :

Matériaux biosourcés : bambou, bois de palétuviers, macana

Type de construction : Neuve

Utilisation : Bureaux

Surface construite/utile : 6.544 m²

Année d'achèvement : 2004



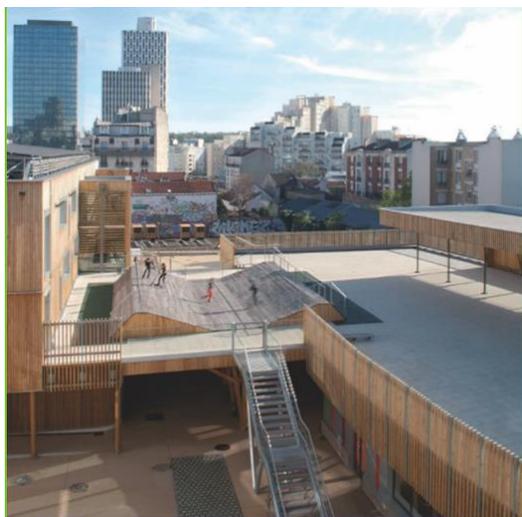
Figure 57 : Simon Velez, la technologie du bambou – BY BBC World Service CC BY-NC Courtesy Simon Velez

La technologie du bambou selon Simón Vélez

« Partant du constat que l'industrie de la construction est la plus grande consommatrice de ressources naturelles, l'architecte préconise un retour « à un régime plus équilibré, plus végétarien ». Précision et savoir-faire, main-d'œuvre importante, qualifiée et valorisée, usage réfléchi des ressources, technique et outillage simples orchestrent ses chantiers et les rendent exemplaires dans leurs empreintes sociales et environnementales. La démarche de Simón Vélez peut avoir valeur de modèle : elle préconise une architecture qui assume son enracinement dans les matériaux indigènes, tirés de la nature et peu transformés, et induit le respect du travail et de celui qui l'accomplit en valorisant l'échange des savoirs et la circulation des compétences. » *Source : <http://acm.epfl.ch/simonvelez>*

4.5.3 France : Groupe Scolaire Stéphane Hessel / Les Zéfirottes

"UNE ECOLE DANS UN JARDIN... » / ARCHITECTE : M'CUB



À la rentrée 2014, la ville de Montreuil ouvrait en plein cœur de ville dense un nouveau groupe scolaire pour 650 élèves comprenant une école maternelle de 9 classes, une élémentaire de 15 classes, un centre de loisirs et de restauration. Au lancement du concours en 2011, le maître d'ouvrage aspire à la réalisation d'un « équipement dans un jardin » aux bâtiments « Zéro Énergie, Zéro Carbone, Zéro Déchets Nucléaires Induits ».

Fortement investi dans les démarches de qualité environnementale et soucieux de la « performance carbone » de ses projets, l'atelier d'architecture montreuillois M'Cub (ex Méandre) qui s'est depuis longtemps impliqué dans la recherche sur les matériaux biosourcés (paille et chanvre), en a assuré la maîtrise d'œuvre en allant au-delà du cahier des charges.

L'objectif visant à une réalisation exemplaire en termes de développement durable est largement atteint. Le recours aux matériaux biosourcés y participe largement.

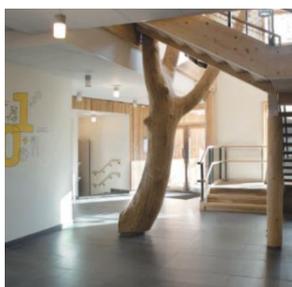


Figure 58 : Groupe Scolaire Stéphane Hessel / Les Zéfirottes - Courtesy M'Cub © Luc Boegly

Données techniques :

Matériaux biosourcés : ballot de paille

Pays / Région : France (Ile de France)

Type de construction : Neuve

Utilisation : Tertiaire / enseignement, 650 élèves

Surface construite/utile : 6 200 m²

Année de fin de travaux : 2014

Energie grise : 734kWh/m²

Bilan carbone : 1,4 kgCO₂/m²/an

Bilan énergétique : -14,3 kWh/m²/an



Le choix des matériaux biosourcés

L'utilisation de la paille et du bois a permis de construire un bâtiment à énergie positive en utilisant très peu d'énergie grise et un bilan carbone proche de zéro alors que la recherche de performances énergétiques entraîne couramment une augmentation des impacts sur le climat.

Préfabrication

Les éléments ont été préfabriqués en usine pour répondre aux exigences de rapidité de mise en œuvre et pour garantir le contrôle de qualité.



Figure 59 : Groupe Scolaire Stéphane Hessel - Les Zéfirottes, Construction – Courtesy M'Cub © Izabel Da Silva

4.5.4 SENEGAL : THREAD, résidence d'artistes & centre culturel

UN PROGRAMME COLLABORATIF VALORISANT MATERIAUX ET SAVOIRS LOCAUX / ARCHITECTE : TOSHIKO MORI ARCHITECT - TMA



Le Thread est un lieu de vie et un espace de travail pour les artistes du monde entier situé à Sinthian, un village de campagne de Tambacounda, la région du sud du Sénégal. Ce lieu abritera deux logements d'artistes, ainsi que de nombreux espaces de studio intérieurs et extérieurs.

En plus des résidences d'artistes, le Thread fournit une place de marché ainsi qu'un lieu de formation en agriculture, langue, et santé pour les villageois ; et un espace pour les spectacles et réunions de village.

Le concept et la construction ont été lancés par le chef et médecin local de Sinthian, le docteur Magueye Ba. Un expert en développement durable de l'environnement sénégalais, Moussa Sene, est le directeur général du site.

Les performances de la brique de terre crue, du bambou ou chaume ont été mises au service d'une conception architecturale innovante pour ce projet aux multiples ambitions,



Matériaux et savoirs locaux

Le projet de construction est entièrement collaboratif. À titre d'exemple, les murs de briques perforées intègrent une technologie locale pour la circulation de l'air.

Des maçons locaux et des villageois ont fourni leur connaissance sophistiquée du travail du bambou, de la brique, et du chaume. Simultanément, Toshiko Mori Architect a innové en appliquant ces matériaux à une nouvelle géométrie, créant ainsi une structure qui est capable de récupérer et de fournir 40% des besoins en eau du village.



Données techniques :

Matériaux biosourcés : Bambou et chaume

Pays / Région : Sénégal

Type de construction : Neuve

Utilisation : Tertiaire

Surface construite/utile : 1 048 m²

Année de fin de travaux : 2015

Figure 60 : THREAD, résidence d'artistes & centre culturel, Courtesy © Toshiko Mori

4.5.5 VIETNAM : S House

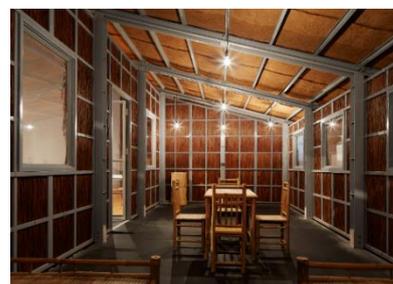
PALMES ET BAMBOU POUR MAISON LOW-COST CONFORTABLE / ARCHITECTES : VO TRONG NGHIA, MASAOKI IWAMOTO, KOSUKE NISHIJIMA



Après plusieurs années de développement et trois prototype (S House 1, 2 et 3) l'équipe de Vo Trong Nghia a présenté à la Biennale d'Architecture de Chicago (3.10.2015 au 3.01.2016) une version aboutie destinée à une production de masse devant atteindre un coût de construction inférieur à 1 000 \$US pour une maison d'une seule pièce de 30 m².

Les éléments qui constituent la structure sont – après des tentatives en bois et en béton – en acier galvanisé. Conformément à la stratégie de S House, cette structure permet de garantir la stabilité de la construction à des coûts très maîtrisés ; elle est, d'après l'architecte, capable de résister aux conditions climatiques les plus sévères, ouragans et typhons compris. D'autre part, tous les éléments ont été dimensionnés pour faciliter le transport et l'assemblage : aucun ne pèse plus de 60 kg.

Le projet doit maintenant passer en phase de production industrielle avec l'ambition affirmée de sortir des frontières du Vietnam et de se déployer en particulier en Afrique, en Amérique Latine et en Asie



Données techniques :

Matériaux biosourcés : bambou, palme, coco, chaume tous matériaux existants localement

Pays / Région : Vietnam mais avec une ambition internationale

Type de construction : Neuve

Utilisation : Habitat mais adaptable à de nombreux autres usages

Surface construite/utile : modules de 31,6 m²



Utiliser les bioressources locales

Vo Trong Nghia est particulièrement connu pour être l'un des spécialistes mondiaux du bambou et, plus largement, pour être « l'architecte du végétal ». Si la construction présentée à la Biennale d'Architecture de Chicago avait une structure en acier, elle était recouverte de chaume et de fibres de coco. Les prototypes précédents ont également fait appel à des matériaux biosourcés : bambou, palme, etc. Mais surtout, le projet prévoit de s'adapter à chaque territoire et de recourir aux matériaux disponibles localement, qu'ils soient traditionnels ou industriels – mais de préférences biosourcés.

Figure 61 : S House, Vo Trong Nghia Architects - Courtesy Vo Trong Nghia Architects © Hiroyuki Oki 30 / Droits réservés

4.5.6 Architectes du biosourcés, portaits

4.5.6.1 Vo Trong Nghia

Les architectures “po-éthiques” de Vo Trong Nghia



Figure 62 : Bamboo Wings Courtesy Vo Trong Nghia Architects © Hiroyuki Oki 20.jpg

Dès son retour du Japon en 2006 où il a étudié l'architecture à l'Institut de technologie de Nagoya puis à l'Université de Tokyo, Vo Trong Nghia ouvre, à tout juste 30 ans, sa première agence à Ho Chi Minh City. Neuf ans plus tard, il est reconnu dans le monde entier comme l'apôtre de la conception bioclimatique et le maître es-bambou du Sud-Est asiatique.

Il diffère de ses confrères du végétal par la dimension de ses réalisations réalisées désormais, à force d'opiniâtreté technologique, sans renforts structurels ni pièces métalliques. Ses vertus statiques et sa grande résistance entre autres face aux séismes et typhons, lui font d'ailleurs qualifier la plante de béton du XXI^e siècle !

Dès 2009, le café Bamboo Wings déployait, à Vinh Phue, deux ailes entièrement charpentées en bambou de 12 m de portée de part et d'autre de son ancrage central. Le recours à ce matériau se justifie par son origine indigène et biosourcée et par là même par ses très faibles coût (1€ la pièce) et impact écologique. En effet, le bois est une matière première rare et coûteuse au Vietnam, bien que situé en zone tropicale. Ses principales villes dénombrent d'ailleurs le plus faible taux d'espaces verts par habitant d'Asie : à peine 0,5 m² à Ho Chi Minh City contre 130 m² à Hong Kong. Cela explique le nouveau combat de l'architecte : construire des bâtiments pour les hommes mais aussi pour les végétaux. Le confort des premiers peut être grandement amélioré grâce aux seconds : pollution de l'air et sonore, protection solaire et contention de l'eau, ventilation naturelle. Résolument contemporaine, la nouvelle architecture tropicale “grandeur Nature” de Vo Trong Nghia aspire à réconcilier l'homme avec les forces élémentaires du soleil, du vent et de l'eau.

Dès 2009, le café Bamboo Wings déployait, à Vinh Phue, deux ailes entièrement charpentées en bambou de 12 m de portée de part et d'autre de son ancrage central. Le recours à ce matériau se justifie par son origine indigène et biosourcée et par là même par ses très

Source : Dossier « Matériaux de construction : retour aux (bio)ressources » - revue d'architecture CREE, réalisé dans le cadre de Bio World Benchmark. Texte Lionel Blaisse

4.5.6.2 CoBe

Peaux-éthiques françaises



Figure 63 : Paluel - Courtesy CoBe © Luc Boegly

Il est bien révolu le temps où l'écologie s'exilait au Larzac. Crises énergétiques aidant, le bâtiment redécouvrit les bienfaits de la construction bioclimatique que nos anciens pratiquaient depuis longtemps comme Monsieur Jourdain prosait ! Très vite, certains architectes y virent une opportunité conceptuelle... et professionnelle. Nombre de quadras de l'architecture hexagonale occupent aujourd'hui le créneau avec talent.

Il en est ainsi du chaume qui s'applique désormais à presque tous types de programmes. Nous l'avons vu précédemment pour les programmes culturels à vocation environnementale comme le Musée de la Biodiversité de Guinée-Potinière à la Roche-sur-Yon.

L'agence parisienne CoBe s'était fait remarquer dès 2007 avec sa chaumière contemporaine bâtie à Bourg-Achard. Elle a récidivé en 2014 en livrant un “lotissement bio” à Paluel – à quelques centaines de mètres de la... centrale nucléaire – plusieurs fois primé

depuis. Regroupées à l'ouest du parc public paysagé, 18 maisons, 3 résidences d'artistes, deux ateliers partagés (rempotage, serre) et une maison commune recourent au chaume pour leur versant de toiture septentrionale.



Plus inattendue est la nouvelle Maison de l'Habitat érigée pour le Conseil Départemental de Loire Atlantique sur les quais de l'île de Nantes. A proximité immédiate de la Place de la République et de la cheminée de l'usine Béghin Say, son architecture assume sa vocation (a priori contradictoire) de signal, de repère et de continuité urbaine. L'immeuble d'angle concentre sur 5 étages – au-dessus d'un socle vitré – bureaux et salles de réunion. Ses façades, isolées par l'extérieur et équipées d'un unique modèle de châssis de fenêtre à allège vitrée (2,70 x 1,07 m) disposés aléatoirement, sont revêtues d'un bardage de chaume – préfabriqué en Brière (par Mr Leray) sous la forme de panneaux de 100 mm d'épaisseur en roseaux de Camargue compressés. On retrouve ces derniers en parement du second bâtiment – plus bas (R+1) et "profilé" pour ménager l'ensoleillement de la parcelle voisine. Les architectes de l'agence nantaise Forma6 qualifient ce matériau de « choix » – inhabituel pour des bureaux – « écologique, sain, isolant et local ».

Figure 64 : Maison de l'habitat à Nantes © Patrick Miara

Source : Dossier « Matériaux de construction : retour aux (bio)ressources » - revue d'architecture CREE, réalisé dans le cadre de Bio World Benchmark. Texte Lionel Blaisse

4.5.6.3 Marco Casagrande,

Acupuncteur militant



Figure 65: Bug Dome - Courtesy Marco Casagrande © Nikita Wu

D'origine finno-italienne, Marco Casagrande a d'abord grandi en Laponie. Après être allé combattre comme volontaire, en 1993 (à 22 ans), aux côtés des Croates en Bosnie, il reprend ses études d'architecte à Helsinki. Associé à son jeune camarade d'école Sami Rintala, il figure, en 1999 – deux ans avant son diplôme – parmi les finalistes des architectures émergentes du magazine anglais *AR* ce qui leur vaudra de participer l'année suivante à la Biennale de Venise. Sa conscience et son engagement écologiques – dépassant largement la seule sphère architecturale, allant de l'urbanisme à l'art environnemental en passant par le cirque – y transparaissent déjà dans son installation *60 Minutes Man* : une barge remplie des déchets produits durant une heure par Venise puis, une fois compostés, plantés d'une chânaie.

Il mettra dès lors en œuvre des méthodes de « manipulation ponctuelle des flux énergétiques urbains afin de guider la ville vers le développement durable et écologique et d'atteindre l'idéal de la ville de 3^e génération ». Martelant « qu'il n'y a pas d'autres réalités que la nature », son « acupuncture urbaine » consiste en « une manipulation architecturale de l'intellectuel collectif sensuel de la ville ».

Lors de la biennale de Shenzhen et d'Hongkong de 2009, il souhaite au travers de son installation *Bug Dome WEAK !*, inspirée d'une architecture d'insectes, « offrir un club social non officiel pour les travailleurs illégaux ». À la triennale d'Art Contemporain de Beaufort de 2012, *Sandworm* (ver de sable) – une cathédrale en branches de saule tressées coquille de 45 x 10 m – constituait un surprenant abri de fortune, appelé à retourner à l'état de nature, pour les promeneurs fréquentant les dunes flamandes de la côte Wenduine.

Source : Dossier « Matériaux de construction : retour aux (bio)ressources » - revue d'architecture CREE, réalisé dans le cadre de Bio World Benchmark. Texte Lionel Blaisse

4.5.6.4 Simón Vélez,

Une architecture végétarienne



Figure 66: Simón Vélez – Photos © Deidi von Schaewen (5)

Le naturaliste allemand Alexander von Humbolt aussi bien que le géographe français Elysée Reclus ont foulé le sol des régions de l'actuelle Colombie dont ils ont rapporté des descriptions saisissantes et pour le premier, des spécimens végétaux nombreux et inconnus en Europe. Le pays est soumis à ce que Francis Hallé désigne comme « la condition tropicale » qui règne sur toute chose, lui impose l'équivalence perpétuelle du jour et de la nuit, la faible variation de l'incidence du soleil sur la terre et permet le foisonnement extraordinaire de la biodiversité. L'absence de « saisons », ou plutôt l'étagement spatial de toutes selon l'altitude où l'on se trouve et qui fait qu'on peut se lever le matin dans la fraîcheur tonique de Bogotá pour finir la journée dans un archétype de climat tropical chaud et humide à 300 km de là. C'est à cette condition que participe Simón Vélez, architecte, fils d'architecte, petit fils d'un éleveur, chercheur d'or et gentleman constructeur.

L'architecture de Simón Vélez se caractérise par un geste essentiel, directement inspiré des techniques vernaculaires et de la nature. Reprenant la topologie des assemblages traditionnels des tiges de Bambou Guadua, il lui implante une infime modification, à peine visible : des bouchons de mortiers de ciment dans les alvéoles terminales des tiges, dans lesquels il noie des tiges filetées en acier. L'assemblage ainsi modifié est alors capable de travailler aussi bien en traction qu'en compression et les structures issues de cette hybridation de construction vernaculaire et d'ingéniosité low tech se développent alors sous son crayon comme un système, sans cesse amélioré et qui se déploie dans l'ensemble de son œuvre.

Source : Dossier « Matériaux de construction : retour aux (bio)ressources » - revue d'architecture CREE, réalisé dans le cadre de Bio World Benchmark. Texte Pierre Frey (Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne)

4.5.7 Constructions biosourcées innovantes

4.5.7.1 Dai Lai Hall

Charpente en bambous moisés

Hall de conférences du Flamingo Dai Lai Resort, Vinh Puhc, Vietnam

Architecte, Vo Trong Nghia



*Figure 67 : Dai Lai Hall Vo Trong Nghia -
Courtesy Vo Trong Nghia Architects ©
Hiroyuki Oki 5*

Situé à 60 km de Hanoi au pied du massif Tam Dao, le parc national éponyme est un lieu de villégiature idéal pour faire oublier aux habitants de la capitale leur exigüité urbaine. Le Flamingo Dai Lai Resort les y accueille le temps d'un week-end mais aussi pour des conférences et réceptions.

Pour ce faire, Vo Trong Nghia en a imaginé le centre les hébergeant. À l'entrée du resort, l'édifice s'abrite à l'arrière d'un épais mur cintré en pierres appareillées dont une verdoyante butée vient atténuer l'impact tout en théâtralisant l'accès des visiteurs au foyer traité en tunnel. Adossées à cette vaste enceinte partielle minérale (80 m linéaire x 8 m de haut x 1 m d'épaisseur) doublée d'un parement intérieur de briques grises posées en claustra (pour mieux ventiler), deux salles de 250 et 50 places se développent sous une charpente hors normes et complexe (rives – l'une rectiligne, l'autre incurvée – avec faitage courbe). Toutes différentes et asymétriques, les fermes à écharpes (sans entrain ni poinçon) de cet ouvrage sont réalisées à partir de bambous Luong moisés. L'exploit est d'autant plus remarquable que cette

variété spécifique au nord du Vietnam est beaucoup plus grossière et moins flexible que celle du sud (Tam Vong). La couverture la parachevant fait appel à un chaume de roseaux aux allures de duvet végétal.

Commanditaire : Flamingo Dailai Resort

Architectes chefs de projet : Vo Trong Nghia + Takashi Niwa.

Surface : 730 m². Livraison : août 2012.

Entreprises : Hong Hac Dai Lai JSC + Wind and Water House JSC.

Source : Dossier « Matériaux de construction : retour aux (bio)ressources » - revue d'architecture CREE, réalisé dans le cadre de Bio World Benchmark. Texte Lionel Blaisse

4.5.7.2 Pavillon Chine de Milan



Pavillon de la Chine à l'Expo Milano 2015, Milan, Italie

Architectes, Tsinghua University + Studio Link-Arc

Les expositions universelles exacerbent – autour de leurs thématiques – les savoir-faire des nations présentes, à commencer au travers de leur architecture. Le pavillon de la Chine à l'Expo Milano 2015 interroge – comme tous ses voisins – sur les réponses à apporter pour nourrir demain notre planète.

« Le sujet de l'Harmonie entre l'homme et la nature est au cœur du design, commentait Wang Jinzhen, le commissaire général du pavillon. D'un côté, la structure du pavillon évoque les toits de la ville, symbole de l'homme, et, de l'autre, la forme du bâtiment rappellera aux visiteurs un paysage naturel vallonné. Mêlant tradition et modernité, le pavillon revisite des éléments clés de l'architecture chinoise, tels que le toit à pignon et à croupe pour créer un toit en bambou qui fera entrer la lumière naturelle dans le pavillon, et réduire ainsi la consommation d'énergie. Autour du pavillon, un jardin cultivé de 1000 m² symbolisera la "terre de l'espoir." »

La charpente ondulée en bois lamellé-collé est doublée d'une poutre secondaire métallique supportant toute une série de panneaux en lames de bambous tressés (à la façon des paniers vapeur chinois) dont la superposition en écailles filtre subtilement les rayons solaires. La vaste prairie de blé qu'abrite cette couverture Low-Tech se mue à son tour en un champ de brindilles LED.

Commanditaire : China Council for the Promotion of International Trade

Architectes, Tsinghua University + Beijing Qingshang Environmental & Architectural Design Institute Co. Ltd + Studio Link-Arc. Architecte en chef : Yichen Lu. Chefs de projet : Kenneth Namkung et Qinwen Cai. Archi intérieur : Jiansong Wang.

BET : Simpson Gumpertz & Heger + F&M Ingegneria (structure), Elite Facade Consultants + ATLV (Enveloppe).

Entreprise générale : China Arts Construction and Decoration Company + Unique Europe + Bodino Engineering.

Source : Dossier « Matériaux de construction : retour aux (bio)ressources » - revue d'architecture CREE, réalisé dans le cadre de Bio World Benchmark. Texte Lionel Blaisse

4.5.7.3 Maison des Arts, Montbonnot Saint-Martin, France

Architectes, **Atelier Donjerkovic** associé à **Aktis architecture**

Construit au XII^e siècle dans la vallée du Grésivaudan au pied du massif de la Chartreuse et face à celui de Belledonne, le Prieuré de Saint-Martin de Miséré était, en ce début de millénaire, bien mal en point. Seuls tenaient encore debout le prieuré et deux corps de ferme des XVI^e et XVII^e siècles. Aux portes de Grenoble, la commune de Montbonnot Saint-Martin les a récemment investis à des fins culturelles et associatives. En effet, l'édifice le plus ancien renaîtra d'ici 2018 en médiathèque tandis que les deux autres viennent de se voir rénovés et agrandis pour constituer la Maison des Arts et des Associations (70 environ).



L'agence grenobloise Atkis associée à l'architecte du patrimoine marseillais Philippe Donjerkovic ont souhaité certes valoriser l'existant sans en nier aucune des époques de sa construction mais aussi faire en sorte que l'extension (accueillant entre autres une salle polyvalente d'environ 300 m²) résolument contemporaine relie – architecturalement, historiquement et programmatiquement – les deux bâtiments agricoles. Ils ont ainsi fait le choix de « créer une plateforme, une sorte d'acropole face aux montagnes et de poser sur cet espace une extension en bois de mélèze, forêt de poteaux, qui se développe et glisse sous le couvert existant de la ferme la plus récente. Circulant et serpentant dans le projet, cet élément unit les deux parties par une passerelle. »

Connus pour leurs vertus thermiques et acoustiques, béton et enduit de chanvre ont été « imposés pour des raisons patrimoniales afin de préserver les traces archéologiques du bâti ancien, d'éviter l'aspect raide des doublages en conservant les déformations existantes et d'assurer un lien avec les parties en pierre de taille dans les passages de portes et encadrements de fenêtres. »

Maitre d'ouvrage : **Commune de Montbonnot Saint-Martin**

Surface : **1070 m² (rénovation) + 720 m² (extension)**. Coût HT : **3,3 M €**.
Planning : **concours 2011, conception 14 mois, chantier 18 mois, livraison octobre 2014.**

Projection chanvre : **AKTA**

Figure 69: Maison des Arts de Montbonnot - Courtesy Atelier Donjerkovic © Philippe Donjerkovic

Source : Dossier « Matériaux de construction : retour aux (bio)ressources » - revue d'architecture CREE, réalisé dans le cadre de Bio World Benchmark. Texte Lionel Blaisse

4.5.7.4 Dortoirs temporaires de la CDC School, Mae Sot, Thaïlande

Solidarité éthique

Architectes, **a.gor.a**



Figure 70 : Bamboo Temporary Dormitories refugees Thailand - Courtesy © Argora Architects

Persécutée depuis 1948 par la junte birmane, la minorité karen compte plus de 140.000 réfugiés de l'autre côté thaï de la frontière. À quelques kilomètres de celle-ci, sur la commune de Mae Sot plusieurs écoles et orphelinats ont été construits pour accueillir les plus jeunes. Sous tutelle de la Mae Tao Clinic, le Children Development Center y dénombre 800 élèves. Pour garantir leur hébergement, des dortoirs s'imposaient avec urgence. En 2012, l'ambassade du Luxembourg à Bangkok décida d'en financer quatre. Le projet fut mis en œuvre par une a.gor.a architects, une structure humanitaire fondée par l'Allemand Jan Glasmeier et le Catalan Albert Company Olmo.

Hébergeant 25 enfants ou adolescents, ces dortoirs d'urgence de 72 m² ont été conçus avec une structure en bois – surtout du teck, très présent localement – recyclant des pièces récupérées à moindre coût sur les chantiers de démolition des environs. Parois, cloisons, planchers et charpentes secondaires font appel au bambou tandis que la couverture est constituée d'une sorte de

chaume obtenu à partir de feuilles d'arbres séchées. Cette toiture particulièrement économique nécessite une réfection complète tous les 18 à 24 mois. Les montage, maintenance, réfection, démontage et remontage de ces constructions peuvent être effectués par une main d'œuvre locale peu qualifiée.

Commanditaire : **Mae Tao Clinic**. Financement : **ambassade du Luxembourg à Bangkok**.

Architectes : **Jan Glasmeier et Albert Company Olmo (a.gor.a architects)**. Entreprise : **Gyaw Gyaw**. Surface dortoir : **72 m²**. Coût unitaire dortoir : **1700 €**. Calendrier : **avril/décembre 2012**.

Source : Dossier « Matériaux de construction : retour aux (bio)ressources » - revue d'architecture CREE, réalisé dans le cadre de Bio World Benchmark. Texte Lionel Blaisse

4.5.7.5 Un frig sarhaoui sur le parvis de l'IMA



Figure 71: Pavillon éphémère de l'IMA - Courtesy Oualalou+Choi © Luc Boegly

Pavillon éphémère à l'Institut du Monde Arabe, Paris, France

Architectes, **Oualalou+Choi**

Dans le cadre de l'exposition Le Maroc Contemporain de l'automne 2014, le parvis de l'IMA a hébergé un pavillon temporaire bien surprenant, tout à la fois typique et atypique. Inspirée de l'habitat nomade sarhaoui traditionnel, son architecture contemporaine mélangait technologie d'aujourd'hui (structure, étanchéité) et couverture séculaire via 650 m² de flij, bandes de laine noire tissée à partir de poils de chèvres et de dromadaires. L'agence franco-marocaine Oualalou+Choi silhouettait ainsi un frig (village de tentes du Maroc saharien) se détachant comme en ombre chinoise devant la façade high-tech de Jean Nouvel et d'Architecture Studio.

Source : Dossier « Matériaux de construction : retour aux (bio)ressources » - revue d'architecture CREE, réalisé dans le cadre de Bio World Benchmark. Texte Lionel Blaisse

5 Approche par pays

Voir chapitre 3.3.1 Etablissement du panel de pays de l'étude (page 16)

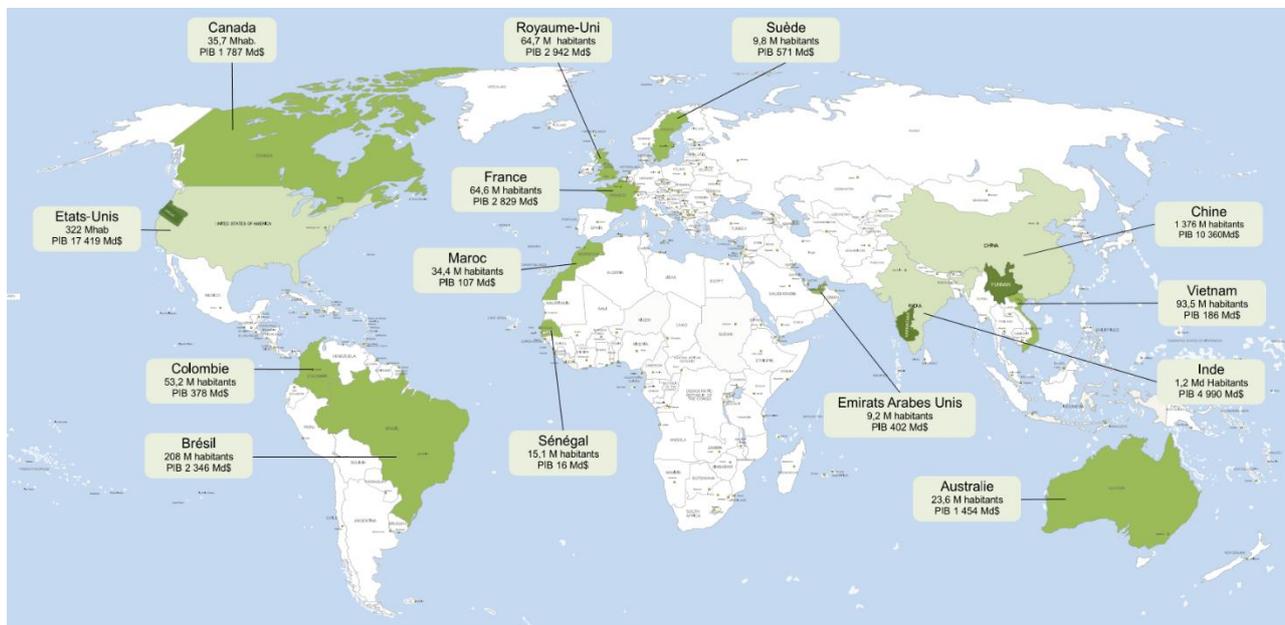


Figure 72 : Panorama des 14 pays sélectionnés dans le cadre de l'étude

5.1 Maroc



Figure 73 : Carte du Maroc – Données cartographiques ©2016 Google, Inst. Geogr. Nacional

- Superficie : 446 550 Km²
- 34,4 M d'habitants
- Prévisions 2100 : 40,9 MHab
- Urbanisation : 60%
- PIB : 107 Md\$
- PIB/hab : 3 111\$
- Emission GEZ : 56 538 kT.eq.CO₂
- Emission GEZ/Hab : 1,8 T.eq.CO₂



Crédits Photographiques en bas de page⁸

5.1.1 Introduction

5.1.1.1 Énergie :

- 95% de l'énergie consommée est importée (essentiellement du pétrole) et les besoins sont croissants (+47% pour le secteur résidentiel entre 2004 et 2011)
- Le secteur du bâtiment consomme 31% de l'énergie,
- Face à ses besoins, le Maroc met en place une politique de production d'énergie renouvelable et d'économie d'énergie, notamment dans le secteur de la construction.

5.1.1.2 Construction :

- Pour faire face à des besoins extrêmement importants (urbanisation rapide, développement du tourisme, construction de villes nouvelles) le secteur de la construction reste important malgré la crise qui sévit actuellement
- 90% des matériaux de construction sont produits au Maroc. Cependant la production d'isolant qui devrait croître rapidement reste très limitée (essentiellement Polystyrène). Par ailleurs, la carence de granulats pose d'importants problèmes (quantitatifs et qualitatifs)
- La réglementation thermique qui se met en place devrait impacter sensiblement les performances énergétiques des bâtiments – et les besoins en matériaux isolants

5.1.1.3 Environnement :

- 93% du territoire est concerné par les problèmes de désertification
- L'agriculture consomme 80% des ressources en eau qui sont en net diminution
- Le Plan National de lutte contre le Réchauffement Climatique (PNRC) a été adopté en 2009

⁸ Crédits photographiques : Vigne_(Meknès) BY Raoul Rives - CC BY-SA-4.0 / Going South BY Antonio Cinotti - CC BY-NC-ND / Kasbah des oudayas, Rabat BY Antonio Cinotti - CC BY-NC-ND

5.1.1.4 Agriculture et autres ressources biosourcées

- Bien que la SAU⁹ n'occupe que 12% du territoire l'agriculture occupe 20% de la population active et assure les revenus de 40% de la population
- Le Plan Maroc Vert (PMV, 2008) a pour objectif de faire du secteur agricole un levier prioritaire du développement socioéconomique au Maroc
- La priorité est d'assurer l'autosuffisance alimentaire mais différents coproduits pourraient trouver des valorisations dans les filières de la bio-économie (fibres végétales, laine, grignon d'olives, etc.)

5.1.2 Chronologie des politiques publiques et de la réglementation



5.1.3 Les filières de matériaux de construction biosourcés

Malgré un climat majoritairement aride et semi-aride le Maroc dispose de différentes sources de matériaux biosourcés susceptibles d'être utilisés dans la construction. Pourtant ces utilisations restent encore confidentielles malgré un intérêt croissant.

5.1.3.1 Productions :

Si l'on retrouve de nombreuses utilisations traditionnelles de roseaux, de palmes ou de rotin, le liège semble être le seul matériau de construction biosourcés « moderne » produit au Maroc et la production reste confidentielle.

- Liège : Superficie : 350 000ha, 4^e subéraie mondiale mais 188 000 ha aménagés / Production : 15 000 T/an, 80 kg/ha/an mais 95% d'exportation / Construction : très peu d'utilisation dans la construction,
- Chanvre : malgré les validations techniques (production agricole et construction) et la prescription pour des chantiers importants par des majors, la production n'est pas autorisée.

5.1.3.2 Importations :

- Chanvre : l'importation a permis de réaliser des chantiers tests de qualité¹⁰
- Ouate de cellulose : quelques « traces d'importation »

⁹ SAU : Surface Agricole Utile

¹⁰ Par exemple, isolation en béton de chanvre de quelques-unes des villas destinées aux chercheurs de l'Université Mohammed VI Polytechnique de la « ville durable » de Ben Guérir

5.1.3.3 Potentiels

En dehors du chanvre qui a fait l'objet d'un programme de développement avec des résultats encourageants, il y a très peu de projet de développement de filières. Vu les productions et les ressources existantes, différentes pistes pourraient être explorées :

- Girons d'olive : 100 000 T en 2012, potentiel de 170 000 T /an, utilisation croissante biomasse énergie,
- Laine de mouton : 17 Millions de têtes, 40 000 T de production. Importation de laine de qualité,
- Alpha : 3.2 Millions ha, sous-exploités depuis plusieurs décennies fautes d'usage, potentiel « écologiquement exploitable » estimé à plus d'1 M de Tonnes,
- Palmes : 4,8 millions de palmiers, potentiel de 75 000 T de matière végétale/an dont une grande partie n'est pas/peu exploitée,
- Roseaux : présence dans toutes les zones humides, utilisations traditionnelles dans la construction.

5.1.4 Focus architecture

1.1.1.2 Architecture traditionnelle

Si le matériau dominant de l'architecture traditionnelle marocaine est la terre crue, l'utilisation des végétaux est bien présente y compris dans le sud aride où les terrasses sont construites à l'aide de roseaux, de rotin et de palmes.

La kaïma (tente bédouine en laine de dromadaire, moutons ou de chèvre) fait également partie de l'habitat traditionnel et trouve un renouveau dans certaines formes de tourisme.



1.1.1.1 Architecture innovante

Ecole d'Aknaibich : utilisation du rotin pour la construction des terrasses et un mélange terre-paille isolant pour les enduits extérieurs.

Benguérir, « première ville verte en Afrique » : utilisation d'enduit en mortier de chanvre dans une partie des villas destinées aux chercheurs de l'Université Polytechnique Mohammed VI

Pavillon éphémère de l'Institut du Monde Arabe (Paris 2014) en laine de dromadaires et de chèvres



Figure 74 : Maroc Architecture vernaculaire et architecture innovante – Crédits photographique en bas de page

11

5.1.5 Acteurs clés

- **Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime (MAPM):** Avenue Mohamed V, Quartier administratif Place Abdellah Chefchaoui, B.P. 607, Rabat / Tél. : 0537 66 54 95 / <http://www.agriculture.gov.ma/>
- **ADERRE (Agence nationale pour le développement des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique):** Espace les Patios 1er Etage, Angle Av Anakhil et Av Ben Barka Hay Riad – Rabat / Tél : 05 37 28 73 53 / <http://www.aderee.ma/index.php/fr/>
- **Haut Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification :** B.P : 605 Rabat-Chellah / Tél : 05 37 76 00 38 – 41 / <http://www.eauxetforets.gov.ma/fr/index.aspx>
- **INRA** Avenue Ennasr BP 415 RP Rabat, Maroc : <http://www.inra.org.ma>

¹¹ **Crédits photographiques :** Toiture en roseaux vue de l'intérieur, village d'Hassy Lbyed ©ML Gélard Droits réservés / Construction d'une terrasse. Village de Taqucht ©ML Gélard Droits réservés / Berber camp in Merzouga, Sahara, Maroc BY Antonio Cinotti - CC BY-NC-ND / AknaibichProces Courtesy MAMOTH + BC architects & studios ©ThomasJoos / Aknaibich Courtesy MAMOTH + BC architects & studios © Franck Stabel / Pavillon éphémère de l'IMA Paris Courtesy Oualalou+Choi © Luc Boegly -020

5.1.6 Bibliographie et webographie

- Informations générales : <http://www.planet-expert.com/fr/pays/maroc/chiffres-cles>
- Bioressources ;
- Olives : <http://www.lavieeco.com/news/economie/grignon-d-olive-un-combustible-a-pouvoir-calorifique-eleve-peu-exploite-24954.html>
- Roseaux : <http://tc.revues.org/2742#bodyftn8>
- Les politiques publiques et réglementations ;
- Plan Vert Maroc : <http://www.finances.gov.ma/fr/Pages/Strat%C3%A9gies/Strat%C3%A9gie-de-d%C3%A9veloppement-agricole--le-Plan-Maroc-Vert.aspx?m=Investisseur&m2=Investissement>
- Réglementation thermique : <http://www.aderee.ma/index.php/fr/expertise/efficacite-energetique/batiment>
- Changement climatique : <http://www.climasouth.eu/drupal/fr/node/168>

Les produits et l'innovation ;

- Chanvre : <http://www.aderee.ma/index.php/fr/expertise/efficacite-energetique/batiment?showall=&start=2>
- Alpha : <http://toubkal.imist.ma/handle/123456789/7095>
- Palme : <http://www.ocpgroup.ma/fr/media/corporate-news/la-%C2%AB-caravane-ocp-palmiers-dattiers-2014-%C2%BB-une-contribution-la-promotion-de-la->
- Les impacts environnementaux et sociaux.
- Statistiques http://faostat.fao.org/CountryProfiles/Country_Profile/Direct.aspx?lang=fr&area=143

5.1.7 Atouts / Faiblesses / Opportunités / Risques

<p>ATOUTS</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Politiques publiques (Plan vert) et implication dans les stratégies de lutte contre le réchauffement climatique ▪ Dynamisme de la construction et de l'industrie des matériaux de construction ▪ Disponibilité de matières premières et potentiel d'amélioration 	<p>FAIBLESSES</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Besoins en eau ▪ Orientations prioritaires des productions agricoles vers les besoins alimentaires ▪ Manque de productivité des filières (liège, laine de moutons) ▪ Absence d'organisation de filière
<p>OPPORTUNITES</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Besoins en matériaux d'isolation liés à la mise en place de la RT ▪ Politique internationale contre le réchauffement climatique ▪ Intérêt des organismes publics (ADERRE, INRA) et des majors (Al Omrane, OCP, SGTM) 	<p>RISQUES</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Réchauffement climatique / Désertification ▪ Persistance de la crise immobilière ▪ Pas d'autorisation de produire pour le chanvre

5.1.8 Radars Synthèses

Critères de notation : voir Radars synthèse des pays : Critères de notation page 162

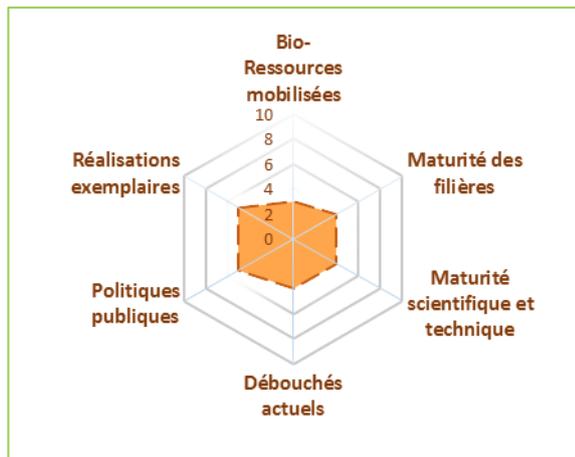


Figure 76 : Maroc - Synthèse situation actuelle

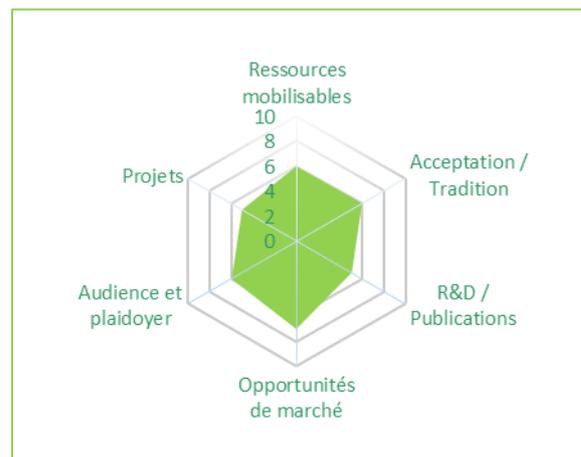


Figure 75 : Maroc - Synthèse perspectives

5.1.9 Perspectives

La désertification et les aggravations prévisibles liées au réchauffement climatique sont sans doute les éléments les plus restrictifs quant aux perspectives de développement de la bio-économie au Maroc.

Toutefois les possibilités d'optimisation des productions – adaptées aux milieux arides (alfa, chêne liège, olivier,) ou nouvelles (chanvre) –, les politiques agricoles volontaristes, le dynamisme économique et les besoins en matériaux d'isolation permettent d'envisager des développements significatifs.

La prise en compte de ce potentiel dans les différents plans de développement serait un levier important.

5.2 Sénégal

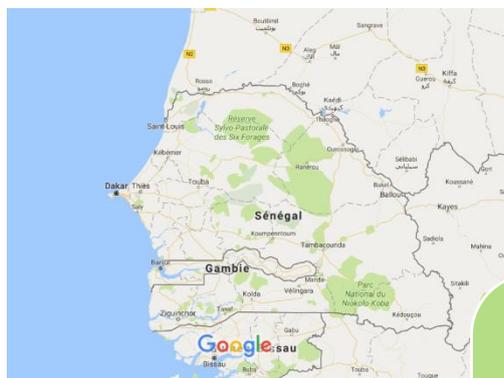


Figure 77: Carte Sénégal - Données cartographiques ©2016 Google



- Superficie : 192 530 Km²
- Population : 15.1 M d'habitants
- Prévisions 2100 : 75,1 M Hab
- Urbanisation : 43%
- PIB : 16 Md\$
- PIB/hab : 1 032\$
- Emission GEZ : 7 858kT.eq.CO₂
- Emission GEZ/Hab : 0,6 T.eq.CO₂

Crédits Photographiques en bas de page¹²

5.2.1 Introduction

5.2.1.1 Ressources et bio-économie :

- L'agriculture emploie 50% de la population active et contribue à 17,5% du PIB. C'est l'un des 6 secteurs productifs du Plan Sénégal Emergent avec des objectifs ambitieux - en particulier pour le riz et les arachides – et des perspectives de productions de coproduits,
- Les ressources en biomasse (hors bois) sont importantes mais elles devront assurer une part significative de la production d'énergie pour compenser la crise que connaît la production de bois combustible,
- En dehors de projets sur la valorisation du typha, les filières de valorisation de la biomasse sont essentiellement tournées vers les industries agro-alimentaires

5.2.1.2 Enjeux environnementaux :

- La ressource énergétique est basée sur l'importation (91% hors biomasse traditionnelle) et sur l'usage traditionnel de la biomasse (85% de l'énergie des ménages),
- La désertification a des conséquences lourdes sur l'agriculture, et par conséquent l'économie : baisse des rendements, migration des populations, accélération de la déforestation, etc.
- La déforestation, conséquence de plusieurs facteurs, impacte les ressources en énergie et biodiversité,
- Le développement invasif du typha entraîne de nombreux problèmes environnementaux et socio-économiques,
- Le Plan Climat Territorial Intégré (PCTI) réalisé sur la région de Dakar permet une connaissance approfondie des paramètres

¹² Crédits photographiques : Dakar - do you see it BY Jeff Attaway -CC BY / Typha - Not in a zoo BY Ilesvanrompaey - CC BY / Arid drylands landscape near Niassante, Senegal ILRI CC BY-NC-SA / Lac Rose 03 Toit en Typha©BBoyeux

5.2.1.3 Secteur de construction :

- L'habitat social fait partie des 6 secteurs productifs du Plan Sénégal Émergent avec un objectif de 10 000 unités/an,
- La mise en place d'une réglementation thermique est prévue pour 2016,
- La construction informelle et l'autoconstruction assurent une part importante du secteur (plus de 80% dans la région de Dakar) qui échappe à la réglementation et est relativement mal connue.

5.2.1.4 Matériaux de construction

- La production de ciment est importante et alimente une partie de l'Afrique de l'Ouest,
- La pénurie de sable est à l'origine de difficultés importantes : érosion côtière, qualité de bétons, etc.
- L'emploi d'isolants est limité par l'absence de production locale et cette carence risque de contrarier le projet de réglementation thermique. Une réponse pourrait être apportée par le programme « Production de Matériaux d'Isolation thermique à base de Typha ».

5.2.2 Les filières de matériaux de construction biosourcés

Si les végétaux font partie des matériaux de construction traditionnels (toitures) qui retrouvent des utilisations remarquables (par exemple pour l'accueil des touristes) il n'y a pas de filières en mesure de répondre aux exigences de la construction urbaine.

Plusieurs ressources sont en mesure de produire en quantité une biomasse valorisable dans le secteur de la construction et répondant aux besoins de matériaux de construction (dont isolation) :

- **Roseaux/Typha** : le projet « Production de Matériaux d'Isolation thermique à base de Typha au Sénégal » (DEEC) pourrait permettre à terme l'émergence d'une filière s'appuyant sur une ressource abondante,
- **Bambou** : plusieurs programmes (Océnum, PNUD) visent à favoriser la réintroduction du bambou dont les surfaces de production sont décroissantes. Les utilisations dans la construction pourraient être une des réponses à la pénurie de bois,
- **Arachides** : la production et les ambitions sont élevées (1 MT), entraînant la disponibilité très importante de coques. Actuellement il ne semble pas y avoir de projet de développement pour des utilisations dans la construction. Des essais ont permis de valider leur utilisation comme granulats dans des bétons,
- **Riz** : comme pour l'arachide les quantités de sous-produits sont importantes (0,2 MT de balles de riz) mais ne font pas l'objet de projet de développement dans la construction,
- **Végétation des savanes (graminées)** : la matière première qui pourrait être issue des 5 Mha de savane est mal connue mais sans doute importante. Une exploitation raisonnée pourrait avoir différents intérêts : production de biomasse, diminution des feux de forêt, valorisation des zones de savanes, etc.

5.2.3 Innovation Technologique

- Programme : Transfert de Technologie, Production de Matériaux d'Isolation thermique à base de Typha au Sénégal (Pilotage DEEC avec le soutien financier du PNUD)
- Plusieurs programmes scientifiques et thèses en cours sur le sujet.

5.2.4 Normes, Règlementations, Certifications

- Le Centre Expérimental de Recherche et d'Étude pour l'Équipement (CEREC) offre des services pour tester les matériaux de construction. Il agit comme laboratoire de référence nationale,
- L'Association Sénégalaise de Normalisation assure l'élaboration de normes nationales,
- Réglementation thermique : en cours de rédaction, mise en place prévue après 2016.

5.2.5 Focus architecture

1.1.1.4 Architecture traditionnelle

La construction « traditionnelle » sénégalaise (qui précède les périodes « coloniale » et « moderne ») fait un appel systématique aux ressources biosourcées au moins pour les toitures (feuilles de palmiers et de rôniers, chaume, paille, etc.).

Dans de nombreux cas (cases peulh, sérère...) les végétaux sont aussi largement utilisés pour la réalisation des murs en restant apparents ou mélangés avec de la terre crue.



Figure 79 : Sénégal, cases traditionnelles

1.1.1.3 Architecture innovante

On retrouve l'utilisation de végétaux pour la réalisation des toitures dans certaines constructions récentes. C'est le cas d'hébergements hôteliers, de centres touristiques et de certaines villas.

C'est également le cas pour le centre de formation de Village Pilote et surtout du centre culturel Thread à Sinthia



Figure 78 : Sénégal, architecture innovante et hébergements touristiques

Crédits Photographiques en bas de page^{13 14}

¹³ Crédits photographiques Figure 79 : Sénégal, cases traditionnelles : Bedik Houses and large clay pots, Iwol, Southeast Sénégal + The Diallo compound in Ibel, Senegal (near Kedougou) + Houses, Ibel, southeast Sénégal (west Africa) BY John Atherton - CC BY-SA

¹⁴ Crédits photographiques Figure 78 : Sénégal, architecture innovante et hébergements touristiques : THREAD, résidence d'artistes & centre culturel, Courtesy © Toshiko Mori / Village Pilote ©BBoyeux / Lac Rose ©BBoyeux

5.2.6 Acteurs clés

- **DEEC (Direction de l'environnement et des établissements classés)** Ministère de l'Environnement et du Développement durable (MEDD). Adresse. 106, rue Carnot - BP 6557 - Dakar.
- **PCTI** : ARENE Île-de-France - 92 avenue du Général Leclerc - 93500 Pantin - Tél. : 01 83 65 37 50 - www.arenidf.org

5.2.7 Bibliographie et webographie

- Plan Sénégal Emergent : http://www.ambasseneparis.com/tl_files/actualite/senegal_emergent_18_projets_phares.pdf
- FAO : <http://www.fao.org/senegal/la-fao-au-senegal/le-pays-en-un-coup-doeil/fr/>
- Banque Mondiale (Statistiques) : <http://donnees.banquemondiale.org/indicateur/>
- Au Sénégal : <http://www.au-senegal.com/l-agriculture-senegalaise,359.html>
- PCTI : <http://www.pctidakar.org/>
- Thread: Artist residency & Cultural Center: <http://www.thread-senegal.org/welcome#about>
- Océanium : <http://www.oceaniumdakar.org/Nos-constats,76.html?lang=fr>
- Matériaux locaux Et éco architecture au Sénégal : http://www.lavoutenubienne.org/sites/default/files/stock/documents/production_terrain/13-03_rapport_potentiel_vert_eco_construction_au_senegal_-_bit_2013.pdf
- Le secteur informel : http://www.commerce.gouv.sn/article.php?id_article=204
- PopuProfil construction Sénégal : http://www.bk-conseil.com/espaceinformation/documentation/btp/Profil_Sectoriel_Senegal.pdf

5.2.8 Atouts / Faiblesses / Opportunités / Risques

<p>ATOUTS</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Ressources importantes, variées, réparties sur l'ensemble du territoire, ▪ Programmes concertés « Typha » et réglementation thermique ▪ Utilisations traditionnelles potentiellement « revalorisables » 	<p>FAIBLESSES</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Peu de programmes de développement de filières en dehors du Typha ▪ Difficultés à impacter la construction informelle et l'autoconstruction ▪ Orientations des développements agricoles vers les besoins alimentaires
<p>OPPORTUNITES</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Besoins en matériaux d'isolation liés à la mise en place de la RT ▪ PCTI de la région de Dakar, leviers et démonstrateurs ▪ Politique internationale contre le réchauffement climatique 	<p>RISQUES</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Réchauffement climatique / Désertification entraînant une concurrence des usages ▪ Manque de massification rapide de l'utilisation du typha ▪ Non implication des industriels de la construction

5.2.9 Radars Synthèses

Critères de notation : voir Radars synthèse des pays : Critères de notation page 162

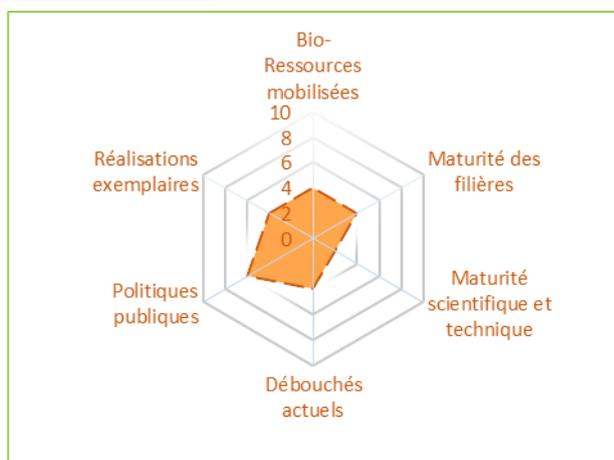


Figure 81 : Sénégal Synthèse situation actuelle

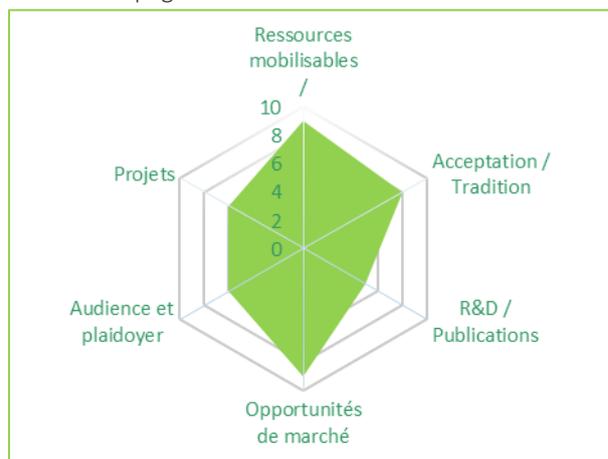


Figure 80 : Sénégal - Synthèse perspectives

5.2.10 Perspectives

Les ressources en biomasse susceptibles d'être utilisées pour la production de matériaux de construction sont importantes, sans concurrencer la recherche de la sécurité alimentaire. Cette situation est parfaitement illustrée par le « programme Typha » qui peut devenir un exemple pour d'autres filières détenant des volumes importants.

Les utilisations traditionnelles peuvent être un paramètre facilitateur à condition de lever les freins culturels mais surtout technologiques afin de garantir la durabilité.

Les potentiels de développement des matériaux biosourcés sont donc importants. Ils sont largement dépendants de l'appropriation des nombreuses solutions techniques par les acteurs artisanaux mais aussi industriels et de la capacité à pénétrer le secteur de la construction informelle.

5.3 Emirats Arabes Unis

Une filière inexistante dans un pays riche désireux de s'engager dans le développement durable



Figure 82 : Carte Emirats Arabes Unis - Données cartographiques ©2016 Google



- Superficie : 83600 Km²
- Population : 9.2 M d'habitants
- Prévisions 2100 : 13 MHab
- Urbanisation : 85 %
- PIB : 402 Md\$
- PIB/hab : 43657 \$
- Emission GEZ : 178484 kT.eq.CO₂
- Emission GEZ/Hab : 20.0 T.eq.CO₂

[Crédits Photographiques en bas de page¹⁵

5.3.1 Introduction

Les Emirats Arabes Unis comptent 9,2 millions d'habitants (dont seulement 11,5% d'émiriens) pour un PIB de 402 milliards de dollars. Le pays est une fédération de 7 monarchies : Abou Dhabi, Ajman, Charjah, Dubaï, Fujairah, Ras el Khaïmah et Oumm al Qaiwain. Parmi elles, la capitale fédérale, Abu Dhabi et la capitale commerciale, Dubaï regroupent à elles seules 86% du PIB.

5.3.1.1 Ressources et bio-économie :

- Du fait des contraintes climatiques du pays et de son climat aride, la surface agricole ne représente que 5% du territoire et la surface forestière, encore plus réduite, 4% du territoire ;
- L'Emirat d'Abu Dhabi possède 94% des réserves totales pétrolières du pays, estimées à 92,2 milliards de barils, suivi par Dubaï (4 milliards de barils), Sharjah (1,5 milliards) et Ras al-Kaimah (100 millions) ;
- Le pays se classe au 5^e rang mondial concernant ses ressources en gaz naturel : Abu Dhabi en concentre la majeure partie, avec 5,5 billions de m³, suivi de Sharjah (302 milliards de m³), Dubaï (116 milliards) et Ras al-Khaimah (34 milliards) ;
- Avec plus de 40 millions de palmiers répartis sur l'ensemble du territoire, les EAU sont un des premiers producteurs de dattes au monde avec 250 000 tonnes de dattes/an ;
- Les revenus du pétrole et du gaz sont réinvestis pour diversifier l'économie du pays et préparer son entrée dans l'ère post-pétrole. Dubaï est par exemple un pôle international de commerce, une destination touristique et dispose d'un marché de l'immobilier dynamique. Le pays estime par ailleurs passer à une économie totalement verte d'ici quelques décennies.

¹⁵ On the way to Liwa BY Matthew Reyes - CC BY-NC-ND / Dubai Marina BY Teseum-CC BY-NC / Barasti hut BY Adam Houlston - CC BY

5.3.1.2 Enjeux environnementaux :

- Le pays présente un taux d'émission de GES par habitant parmi les plus élevés au monde, devant les Etats-Unis, l'Australie et le Canada et se montant à 20 tonnes équivalent CO₂ en 2012 (en France la consommation est de 5,2 TeqCO₂/hab) ;
- De même, la production de déchets par tête est une des plus élevée au monde ;
- Le secteur de l'énergie représente 66,8% des émissions de GES du pays, incluant la production d'électricité combinée à la désalinisation de l'eau, l'extraction de pétrole et de gaz et le raffinage du pétrole ;
- Les EAU ont déclaré 14 zones protégées, 6 terrestres et 8 marines, d'une surface totale de 4 406 km². Ces zones sont le siège d'une importante diversité biologique et sont souvent des aires d'accueil d'espèces migratrices ;
- Les 5 priorités de l'émirat d'Abu Dhabi à l'horizon 2030 sont la lutte contre le changement climatique et la pollution de l'air, la gestion de l'eau, la biodiversité, et la gestion des déchets ;
- Dubaï a annoncé sa volonté de devenir à l'horizon 2020 l'une des villes les plus durables de la planète, la durabilité étant un des thèmes principaux de l'Exposition Universelle qui s'y déroulera en 2020 ;
- Le passage à une économie verte permettrait aux EAU de réduire de 7 à 10% la consommation de pétrole, de 7 à 20% celle de gaz naturel et de 11 à 15% celle d'électricité par an, à l'horizon 2030.

5.3.1.3 Secteur de la construction :

- Le secteur de la construction représentait en 2013 8,7% du PIB du pays et 44% du marché du *Gulf Cooperation Council* (Arabie Saoudite, Emirats Arabes Unis, Koweït, Qatar, Bahreïn) ;
- Les secteurs de l'industrie manufacturière et de la construction représentaient 7% des émissions en 2012 ;
- La production de ciment n'était responsable que de 2% des émissions de GES du pays en 2012 ;
- L'une des pistes d'action du pays pour réduire d'environ 20% les émissions du secteur seraient d'adopter un code de la construction encourageant l'efficacité énergétique des bâtiments et l'utilisation de techniques et de matériaux nouveaux ;
- Le secteur des Green Buildings est l'un des 6 axes de développement de l'*UAE Green Growth Strategy* de 2012.

5.3.1.4 Matériaux de construction :

- Avec la croissance de la population et l'augmentation de son pouvoir d'achat grâce aux exportations d'hydrocarbures, plusieurs secteurs présentent aujourd'hui des opportunités d'investissement élevées. Parmi ces secteurs, celui de la fourniture de biens pour les grands projets d'aménagement : machines, équipements mais aussi matériaux de construction.

5.3.2 Chronologie des politiques publiques et de la réglementation

5.3.2.1 – à l'échelle du pays



5.3.2.2 – à l'échelle de chaque émirat



5.3.3 Les filières de matériaux de construction biosourcés

À ce jour le pays ne dispose pas d'une filière de matériaux de construction biosourcés à proprement parler mais se dirige plutôt vers la réduction des émissions de GES au sein de la filière des matériaux conventionnels.

5.3.3.1 Écomatériaux :

L'intégration d'objectifs environnementaux dans le secteur de la construction passe par le recours à des « écomatériaux » dont il est difficile de connaître la nature et les méthodes d'évaluation. L'accent est mis sur le recours à des matériaux dont l'ACV (analyse du cycle de vie) fait ressortir de moindres impacts environnementaux, principalement les émissions carbone (utilisation de bétons verts à base de scories ou de fumées de hauts-fourneaux). Il n'y a pas encore de réflexions vraiment abouties sur l'origine naturelle de ces matériaux. L'aspect renouvelable des matériaux, biosourcés ou de matières recyclées est donc une piste à développer pour le pays.

5.3.3.2 Bois : les palmiers

Du bois de palmier cocotier est utilisé pour les aménagements extérieurs (menuiseries extérieures, portes, etc.) de la ville durable de Masdar. Le bois, provenant de plantations de cocotiers dont les arbres ne portent plus de fruit, est un substitut durable au bois dur traditionnel importé par le pays. Lorsque celui-ci entre tout de même dans la composition de bâtiments, sa provenance (bois issu d'une plantation durable) est rigoureusement vérifiée. Le bois et les feuilles de palmier entrent aussi dans la composition de logements plus traditionnels comme les barastis des tribus nomades, mais sont peu utilisés dans les grandes villes.

5.3.4 Potentiels de développement de la filière aux Emirats Arabes Unis

5.3.4.1 Matériaux recyclés :

L'objectif de Dubaï est d'héberger en 2020 l'une des Expositions Universelles les plus écologiques de l'histoire. Un de ses axes d'actions est notamment l'utilisation d'au moins 30% de matériaux de construction recyclés (incluant les métaux, acier, etc.) pour les infrastructures du site.

5.3.4.2 UAE Green Buildings Guidelines :

Ce programme, développé par le Conseil Exécutif de Dubaï et le Ministère des Affaires Publiques pour les nouveaux projets de construction portés par le Ministère, se focalise sur 6 champs d'actions concernant les bâtiments durables : efficacité de l'enveloppe du bâtiment, efficacité énergétique, qualité environnementale intérieure, systèmes de refroidissement, efficacité d'utilisation de l'eau, îlot thermique du site. Les trois premiers axes de ce programme peuvent donc présenter des débouchés intéressants pour la filière des matériaux de construction biosourcés.

5.3.4.3 Les projets de villes durables :

Le **projet Masdar**, lancé en 2008 par l'émirat d'Abu Dhabi, vise à construire une ville entièrement durable, à quelques kilomètres d'Abu Dhabi. La ville devra combiner architecture vernaculaire et anciennes techniques, comme l'utilisation de terre pour les murs, et le recours à des technologies modernes. Elle accueille aujourd'hui déjà le campus du *Masdar Intitute*

of *Science and Technology* ainsi qu'un quartier résidentiel de 500 habitations et devrait être un espace d'accueil de nombreuses entreprises internationales. Dans la même optique, Dubaï développe le projet *Dubaï Sustainable City*, un complexe de 500 villas à Dubaïland, dans le sud de Dubaï qui devrait être la première ville des émirats « zero energy ». Plus récemment, le projet de construction d'un nouveau quartier durable pour émiratis, auto-suffisant en termes de ressources, de transport et d'énergie, le *Dubai Smart Sustainable City*, a été approuvé en 2014.

Le développement et l'engouement du pays pour les villes intelligentes et durables et pour les *Green Buildings* créent des potentialités pour la mise en place d'une filière de matériaux de construction biosourcés dynamique dans le pays.

5.3.5 Innovation Technologique

- Le *Masdar Institute of Science and Technology* est un centre de recherche et d'enseignement en partenariat avec le MIT situé dans la future ville durable de Masdar. Les recherches et l'enseignement seront axés sur l'ingénierie de l'environnement. En particulier, un des programmes concernera les biomatériaux ;
- *The Future Build* est une plateforme web recensant les matériaux de construction écologiques à destination de la construction de bâtiments durables. La plateforme s'adresse à des architectes, ingénieurs ou constructeurs souhaitant identifier les différents produits présents sur le marché. Elle a été lancée par la ville de Masdar qui utilise le même d'outil, en interne, pour sa construction ;
- Dubaï a hébergé en mars 2014 la première *Global Conference on PAGE (Partnership for Action on Green Economy)* à laquelle plus de 66 pays différents ont participé. Il est dès à présent prévu que la 4^e *Global Conference* en 2020 se tienne à nouveau à Dubaï, afin de profiter des idées innovantes et des solutions proposées par l'Exposition Universelle qui se tiendra simultanément.

5.3.6 Normes, Règlements, Certifications

- Aucune réflexion réelle sur les matériaux de construction biosourcés ne ressort des politiques publiques actuelles ;
- Le *Estidama Pearl Rating System* est un système de notation introduit en 2010 par le *Abu Dhabi's Urban Planning Council*. Il vise à s'assurer que tout nouveau projet de développement à Abu Dhabi est réalisé de manière durable. Chaque nouvel immeuble doit obtenir au moins une perle tandis que toute nouvelle construction destinée au gouvernement doit en obtenir au minimum 2 à titre d'exemple ;
- Le *Dubai Chamber Corporate Social Responsibility (CSR) Label* est un outil permettant de reconnaître les stratégies RSE des entreprises. Le label propose un diagnostic gratuit et un accompagnement des entreprises afin d'améliorer leur stratégie RSE. Les entreprises les plus proactives sont récompensées au travers du label ;
- Le pays utilise aussi le système de certification *LEED* mis en place par le *US Green Building Council*. En Avril 2014, les Emirats Arabes Unis se positionnait en 9^e position mondiale en termes de projets ayant obtenus cette certification.

5.3.7 Focus architecture

1.1.1.6 La future ville durable de Masdar

La ville de Masdar, aujourd'hui en construction (finalisation du projet autour de 2020) est l'un des projets de villes nouvelles les plus innovants et ambitieux à l'échelle mondiale. Conçue par le cabinet d'architecture Foster and Partners, elle adopte une approche bioclimatique et vise un objectif « zéro carbone et zéro déchets ». Des technologies de pointe sont mobilisées dans les domaines du transport, des énergies nouvelles ou encore de la conception et la construction des bâtiments, inspirée de l'architecture vernaculaire. Masdar est ainsi amenée à devenir un laboratoire des technologies propres et une vitrine mondiale de la ville durable par excellence et héberge déjà le Masdar Institute of Science and Technology, en partenariat avec le MIT.



Figure 84 : Masdar, Emirats Arabes Unis

Crédits s Photographiques en bas de page^{16 17}

1.1.1.5 Les « barastis »



Les barastis sont des habitations typiques de la culture nomade. Les Bédouins, vivant dans des tentes en peaux d'animaux pendant l'hiver, construisent durant l'été des abris appelés barastis ou al-arish. Ces abris sont réalisés à partir de matériaux de constructions disponibles à proximité des oasis, essentiellement du bois et des feuilles de palmier. Le bois, issu de mangroves ou de troncs de palmiers, est utilisé pour créer la structure de l'abri, tandis que les feuilles de palmier sont tressées entre elles pour réaliser des paravents, des murs, ou le toit (celui-ci pouvant aussi être réalisé à partir de feuilles de palmier non tressées et simplement apposées les unes sur les autres). Cette technique ancestrale est aujourd'hui remise au goût du jour par plusieurs architectes locaux et par le tourisme

Figure 83 : Barasti, Emirats Arabes Unis

5.3.8 Acteurs clés

- Ministry of Environment and Water (MoEW)
- Ministry of Foreign Affairs
- Ministry of Energy
- Emirates Green Building Council (EGBC)
- Environment Agency – Abu Dhabi (EAD)
- Global Green Growth Institute Abu Dhabi (GGGI Abu Dhabi)
- Abu Dhabi's Urban Planning Council
- Dubaï Chamber of Commerce and Industry
- Masdar Institute of Science and Technology

¹⁶ Crédits photographiques **Figure Erreur ! Document principal seulement.** : Masdar, Emirats Arabes Unis : Norman Foster - Masdar City rendering 04 BY Forgemind ArchiMedia - CC BY / Shams 1 Parabolic Trough in Abu Dhabi BY Masdar Official - CC BY-SA / Masdar City of the future BY BASF - CC BY-NC-ND / DSC9657-Masdar City-UAE BY arwcheek - CC BY-NC / DSC9668-Masdar City-UAE BY arwcheek - CC BY-NC

¹⁷ Crédits photographiques **Figure Erreur ! Document principal seulement.** : Barasti, Emirats Arabes Unis : Wind Tower Dubai BY Denis Chan - CC BY-SA-2.0 / - Recreation of a tradition house, from 'olden times' BY Gordontour CC BY-NC-ND / Abu Dhabi Al arish 852 BY Janos Korom Dr. - CC BY-SA

5.3.9 Bibliographie et webographie

- [United Arab Emirates profile - Overview, BBC News, 2015](#)
- [United Arab Emirates, Nations Encyclopedia, 2015](#)
- [Emirates Green Building Council, 2015](#)
- [Présentation des Emirats Arabes Unis, France Diplomatie, 2015](#)
- [10 things to know about sustainability the UAE, Norton Rose Fulbright, 2015](#)
- [The Dubai Chamber CSR Label - About the Label, Dubai Chamber of Commerce & Industry, 2015](#)
- [About Masdar, Masdar a Mubadala Company, 2015](#)
- [Dictionary of Islamic Architecture, Andrew Petersen, 1996](#)
- [Green concrete to extend life of buildings, Gul News Environment, 2015](#)
- PMO : une zone complexe...mais dynamique, Ubi France – François Sporrer, 2014
- A global perspective on the state of the bioeconomy and key emerging issues – a concept in the making, Sten Nilsson, 2013
- Agriculture and Food – United Arab Emirates, EarthTrends Country Profiles, 2003
- The United Arab Emirates, Initial National Communication to the United Nations Framework Convention on Climate Change, Ministry of Energy United Arab Emirates, 2006
- UAE State of Green Economy – Report 2014, United Arab Emirates Ministry of Environment and Water, 2014
- Environmental Development and Protection in the UAE, Simon Aspinall, 2001
- Federal Law No. (24) of 1999 for the Protection and Development of the Environment, Zayed Bin Sultan Nahyan – President of the United Arab Emirates, 1999
- United Arab Emirates – a new perspective, Ibrahim Al Abed & Peter Hellyer, 2001
- Environment Vision 2030, Environment Agency Abu Dhabi
- Climate Change Impacts, Vulnerability & Adaptation, Environment Agency Abu Dhabi, 2009
- Greenhouse Gas Inventory for Abu Dhabi Emirate, Environment Agency Abu Dhabi, 2012
- Analyse d'un panel de trois villes avant-gardistes en termes de développement durable, Nomadéis, 2013
- Masdar Institute of Science and Technology, Masdar Institute of Science and Technology, 2011
- Using Eco-Friendly Cementitious Materials for Sustainable Concrete, Dubai Municipality Building Department – Fadel S. AbuShaban, 2015

5.3.10 Atouts / Faiblesses / Opportunités / Risques

<p>ATOUS</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Richesse du pays ▪ Volonté du pays de passer à une économie verte ▪ Nombreux plans d'action mis en place récemment (nationaux, régionaux, locaux) ▪ Outils de certification des bâtiments durables 	<p>FAIBLESSES</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Peu de ressources ▪ Inexistence d'une filière des matériaux de construction biosourcés ▪ Réglementation incitative à l'utilisation d'éco matériaux mais pas spécifiquement à celle des matériaux biosourcés
<p>OPPORTUNITES</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Essor du secteur des Green Building et des villes durables (Masdar, Dubaï Sustainable City) ▪ Importation possible des savoirs-faire concernant les matériaux de construction biosourcés ▪ Problématique de recyclage des déchets 	<p>RISQUES</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Faible diversification des matériaux biosourcés ▪ Concurrence avec des matériaux conventionnels plus « propres » (bétons verts) mais non biosourcés ▪ Importation de solution « clés en main » (émission de GES dues au transport)

5.3.11 Radars Synthèses

Critères de notation : voir Radars synthèse des pays : Critères de notation page 162

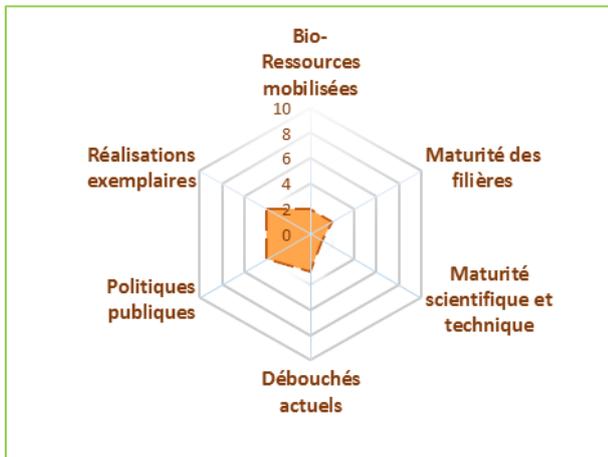


Figure 85: Emirats Arabes Unis - Synthèse situation actuelle

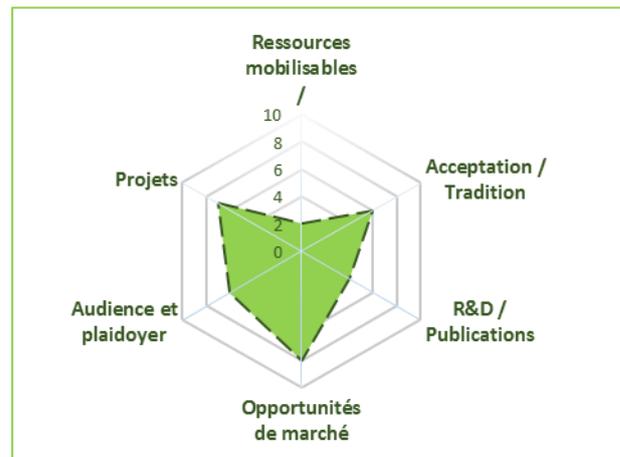


Figure 86 : Emirats Arabes Unis - Synthèse perspectives

5.3.12 Perspectives

Le pays des Emirats Arabes Unis, mondialement connu pour ses exportations de pétrole et de gaz, se prépare depuis quelques années déjà au passage à l'ère post pétrole en tentant de développer une économie verte et une filière des villes durables. En effet, de nombreuses politiques publiques, nationales ou locales, sont favorables au développement d'une bio-économie et de la filière des Green Buildings. Le pays souhaite d'ailleurs devenir un leader en matière de développement durable, comme le démontre la volonté de Dubaï de devenir la ville la plus durable de la planète à l'horizon 2020.

L'hébergement de l'Exposition Universelle de 2020 ne peut que favoriser le développement de solutions par le pays qui pourra y présenter ses dernières avancées et ses innovations en termes de construction durable.

Les opportunités de développement d'une filière des matériaux de construction biosourcés existent donc aux Emirats, mais la structuration de la filière n'est pas encore à l'ordre du jour. En effet, les politiques publiques du pays, qui prônent le développement d'une croissance verte et d'une construction durable, s'attardent sur le recours aux écomatériaux, mais ne précisent pas la nécessité de leur origine biosourcée. Ce désintéressement vis-à-vis de la filière peut provenir, d'une part, du peu de ressources animales ou végétales mobilisables dont dispose ce pays majoritairement désertique, mais aussi de la volonté de « verdir » des filières déjà existantes et développées, comme celle du béton qui développe des procédés moins émetteurs de GES, mais non biosourcés.

Malgré tout, le développement de la filière des biosourcés, bien que tardif en comparaison avec d'autres pays comme la France, est quasiment inévitable aux vues des directions de développement engagées par le pays. Il devient ainsi une source prometteuse d'exportation des savoirs-faire, et une vitrine mondiale du fait de la mise en place de ses grands projets de villes durables (Masdar, Dubaï Sustainable City, etc.).

5.4 Chine, Yunnan

Une utilisation des matériaux biosourcés pour la construction locale, mais une filière industrielle très peu différée



Figure 87: Carte Yunnan (Chine) - Données cartographiques ©2016 Google

- Superficie : 9388211 Km²
- Population : 1376 M d'habitants
- Prévisions 2100 : 1004 MHab
- Urbanisation : 54 %
- PIB : 10360 Md\$
- PIB/hab : 7529 \$
- Emission GEZ : 9019518 kT.eq.CO₂
- Emission GEZ/Hab : 6.7 T.eq.CO₂

Crédits Photographiques en bas de page¹⁸

5.4.1 Introduction

La Chine compte 1,4 milliard d'habitants pour un PIB de 10,36 milliards de dollars. La Province du Yunnan s'étend sur un territoire de 394 100 km², soit 4% du territoire chinois, et regroupe 43 millions d'habitants. La capitale, Kunming, hébergeant 3 millions d'habitants, est la seule métropole de la province, le reste de la région étant essentiellement agricole et présentant une faible densité de population.

5.4.1.1 Ressources et bio-économie :

- La surface forestière de la Chine représente 23% du territoire, et la surface agricole 55% du territoire ;
- La région du Yunnan est une des plus boisées du pays, la forêt s'étendant sur 25% du territoire. 18% des forêts naturelles sont placées sous protection, et 19% correspondent à des plantations exploitées ;
- Le pays est le premier producteur de coton au monde, avec 32% de la production mondiale ;

¹⁸ Crédits photographiques : Shangai BY Gonzalo RA - CC BY-NC-ND / Echafaudages en bambou 2 BY kaskitewatim -CC BY-NC-ND

- Les autorités provinciales du Yunnan ont identifié lors du *Ninth Five Year Plan* 4 domaines économiques potentiellement porteurs pour la région : le tourisme, la production de tabac, les activités minières, mais aussi la production biosourcée (incluant les industries agro-alimentaires, l'horticulture et la production forestière) ;
- Malgré son rôle dans les industries biosourcées, la production forestière n'est pas considérée comme un grand axe de développement économique. Elle ne représente que 3% de la valeur totale produite par les industries du Yunnan ;
- L'industrie du café est aussi un secteur de développement économique de la province, le Yunnan étant le plus gros producteur de café Arabica de toute la Chine ;
- Plus de la moitié des espèces végétales recensées dans l'ensemble du pays peuvent se trouver dans la région du Yunnan. Parmi elles, de nombreuses espèces sont reconnues pour leurs vertus médicinales.

5.4.1.2 Enjeux environnementaux :

- La Chine est l'un des pays les plus émetteurs de GES au monde. Ses émissions se montaient à plus de 9 000 milliards de teqCO_2 en 2012. Le pays prévoit de réduire de 40 à 45% ses émissions par rapport à 2005 d'ici 2020 ;
- Depuis 2005, la Chine est le pays qui produit le plus de déchets industriels ou municipaux avec 300 millions de tonnes par an, moins d'un cinquième des déchets des villes étant traités d'une manière écologiquement durable ;
- La production énergétique chinoise est fortement dominée par les ressources fossiles, en particulier le charbon dont la Chine dispose d'importantes ressources ;
- Les pratiques culturales intensives, notamment sur la monoculture du bambou, ont engendré des réductions notables de la biodiversité des forêts.

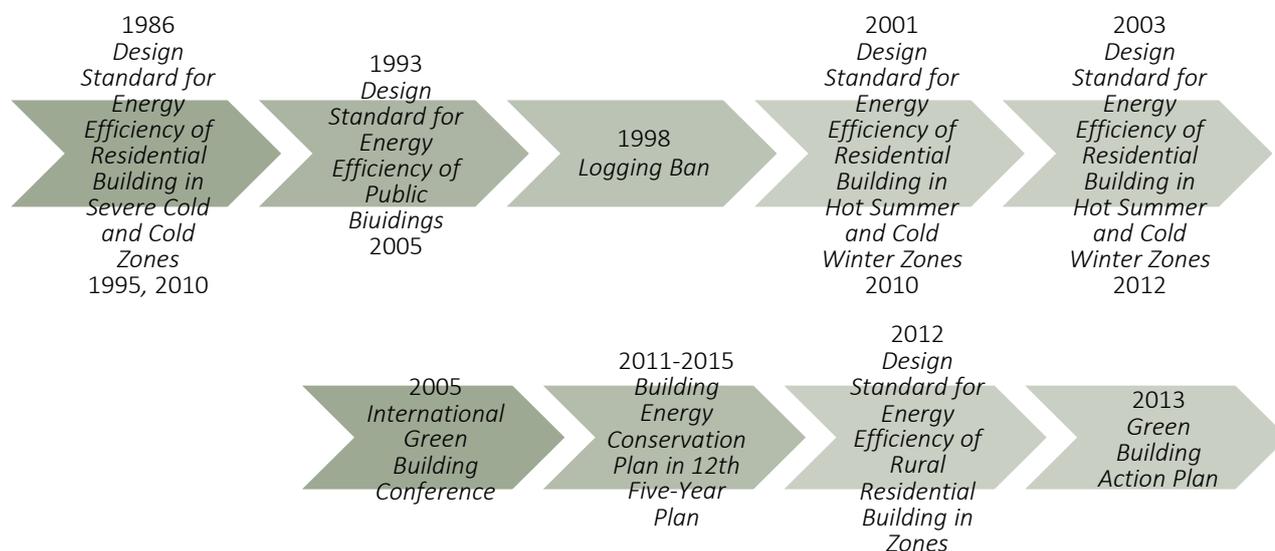
5.4.1.3 Secteur de la construction :

- La consommation d'énergie du secteur du bâtiment a augmenté de 40% ces 20 dernières années et représentait 28 % de l'énergie consommée en 2009, plaçant la Chine à la 2^e place des pays les plus consommateurs, derrière les Etats-Unis. La consommation devrait encore augmenter de 40% entre 2009 et 2030 ;
- La construction chinoise se monte à deux milliards de m^2 par an, soit environ 50 % de la construction mondiale, ce qui représente le plus important marché de la construction neuve au monde. En revanche, les performances énergétiques moyennes des constructions pèsent lourd en termes d'émissions de GES ;
- Le Ministère du développement Urbain et Rural a fixé en 2012 l'objectif de construction de 30% de *Green Buildings* parmi les constructions neuves d'ici 2020 ;
- Le gouvernement prévoit dans son *Green Building Action Plan* de développer 1 million de m^2 pour les bâtiments durables labellisés une à trois étoiles et de rénover, entre autres, 120 millions de m^2 de bâtiments publics d'ici la fin de l'année 2015 ;
- Des mesures incitatives au développement des *Green Buildings* ont été prises par certaines grandes villes du pays. A Kunming (région du Yunnan), un remboursement de 20% des coûts de construction alloué.

5.4.1.4 Matériaux de construction :

- Plus de 17% de l'énergie consommée par le pays l'est pour la production de matériaux de construction,
- 10 millions de m^3 de bois sont produits dans la province du Yunnan, à destination du secteur de la construction,
- Le polystyrène extrudé (XPS) et le polystyrène expansé (EPS) représentent 80% des isolations extérieures, d'autres matériaux synthétiques comme le polyuréthane 15%, et les laines minérales 5%,
- La Chine a utilisé des ciments biosourcés à base de chanvre pour la construction des installations destinées aux Jeux Olympiques de 2008.

5.4.2 Chronologie des politiques publiques et de la réglementation



5.4.3 Les filières de matériaux de construction biosourcés

5.4.3.1 Bois :

Plus de 4 000 entreprises sont spécialisées dans le secteur du bois au Yunnan. La capacité de production varie selon les types de produits et se porte à 420 000m³/an pour le bois de scierie, 80 000 m³/an pour les panneaux contreplaqués, 50 000m³/an pour les panneaux de particules, 100 000 m³/an pour les MDF et 50 000m³/an pour les autres panneaux de fibres. Les volumes réels de production ne sont pas rendus publics par le gouvernement, mais la croissance économique de ces dernières années laisse à penser qu'ils doivent être proches de la capacité totale de production. La majeure partie du bois produit est exportée vers d'autres provinces chinoises, les provinces de Hubai et Henan du centre de la Chine étant les principales. L'essentiel du bois produit est utilisé dans le secteur résidentiel, 50% comme bois de chauffage et 30% pour la construction.

5.4.3.2 Bambou :

En 2006, la ressource en bambou de la Chine a été estimée à 5,74 millions d'hectares par la FAO. La majorité serait issue de plantations spécialisées. Le Yunnan ne fait pas partie des principales provinces productrices de bambou. La principale espèce cultivée en Chine est le bambou *Moso* qui représente plus de 80% des surfaces de bambou cultivées. Du fait de sa croissance rapide, le cycle de récolte des cultures intensives est de 3 à 6 ans (8 ans pour les forêts de bambou naturelles), contre 80 à 100 ans pour des bois traditionnels de forêts tempérées (érable, chêne...). Les rendements peuvent atteindre 3,5 à 5 fois ceux des forêts d'érables. En revanche, des pesticides et des engrais sont souvent appliqués pour augmenter les rendements des cultures de bambou, contrairement aux forêts de « bois dur ».

Plus de 20 types de panneaux de bambou différents utilisés dans le secteur de la construction sont présents en Chine, dont des panneaux de particules, des panneaux de fibres à densité moyenne ou encore des planchers en bambous, parfois constitués de combinaisons de bambous et de bois.

5.4.3.3 Eucalyptus :

Le bois d'eucalyptus peut être utilisé en Chine dans le secteur de la construction comme matière première pour la production de certains parquets. Les rendements sont comparables à ceux du bambou, voire bien au-dessus pour certaines espèces qui peuvent atteindre plus de 11 fois les rendements d'une forêt d'érable. De même que pour les cultures intensives de bambou, engrais et pesticides sont souvent utilisés dans les forêts d'eucalyptus, pour en optimiser les rendements.

5.4.3.4 Chanvre :

La Chine veut diminuer le nombre de ses plantations de coton pour favoriser les plantations alimentaires. Elle envisage ainsi de substituer une partie des cultures de coton par du chanvre, qui peut pousser sur des sols relativement peu fertiles et ne nécessite pas d'irrigation. La production de chanvre, qui n'est que de 20 000 ha pourrait atteindre dans quelques années 1,3 million d'ha, ce qui ouvre la porte à d'autres formes de valorisation des fibres que le textile, et pourrait être un marché prometteur pour le développement d'une filière chanvre de matériaux de construction biosourcés.

5.4.4 Innovation Technologique

- Le *LBNL's (Lawrence Berkeley National Laboratory) China Energy Group* travaille conjointement avec le gouvernement chinois pour l'amélioration de l'efficacité énergétique du bâti, notamment en aidant le *Ministry of Housing and Urban-Rural Development* à élaborer des normes de certifications pour les bâtiments ;
- *The National Laboratory for New Materials of the University of Qingdao* a lancé un programme de recherche visant à valoriser les algues qui prolifèrent en Chine et qui posent des questions sanitaires et environnementales, comme une source naturelle de fibres ;

5.4.5 Normes, Règlementations, Certifications

- Aucune réflexion réelle sur les matériaux de construction biosourcés ne ressort des politiques publiques actuelles, les efforts se concentrant essentiellement sur l'efficacité énergétique des matériaux, mais peu sur leur origine biosourcée ;
- Le *Three Star System* est la certification chinoise développée en 2006 par le *Ministry of Urban and Rural Development (MOHURD)* dans le secteur des *Green Buildings* ;
- Le MOHURD et le *Ministry of Finance (MOF)* ont développé des avantages fiscaux pour les bâtiments certifiés *Two-Star* ou *Three-Star* se montant entre 7 et 13\$/m² ;
- La Chine est le 3^e plus gros marché mondial au niveau du développement de la certification américaine LEED (mise en place par le *US Green Building Council*) avec plus de 1500 projets certifiés, pour un total de 67 millions de m² ;
- Le bambou issu de plantations durables présente une certification pouvant être délivrée par deux organisations en Chine : le *Forest Stewardship Council (FSC)* et *Smith & Fong* ;

5.4.6 Focus architecture

1.1.1.7 Le pavillon de la Chine à l'Exposition Universelle de Milan

Construit pour l'Exposition Universelle de Milan de 2015 par la *Tsinghua University* et le *Beijing Qingshang Environmental & Architectural Design*, ce pavillon de 4590 m² (le 2^e plus grand après celui de l'Allemagne), mêle subtilement architecture vernaculaire et modernité. Ce bâtiment, dont la forme rappelle les paysages vallonnés de la Chine, s'appuie sur une charpente en bois lamellé-collé sur laquelle viennent s'apposer des panneaux de bambou tressés qui font office de toiture et filtrent les rayons solaires, tout en réduisant les consommations d'énergie.



Figure 89 : Pavillon de la Chine, Milan ©Sergio Grazia

1.1.1.8 Les maisons étagées en bois et bambous

L'architecture vernaculaire de la région du Yunnan est essentiellement basée sur des constructions en bois, qui reste le matériau local le plus disponible. Les principaux matériaux de construction sont des combinaisons de bois et de bambou utilisés pour l'ossature, les revêtements de sol, le toit, etc. Ces habitations sont généralement constituées de 3 à 5 pièces, situées directement au premier étage. Typiques de climats tempérés, ces logements permettent de se protéger du soleil et de la pluie, et les nombreuses ouvertures facilitent la circulation d'air, ce qui rafraîchit naturellement les pièces.



Figure 88 : Maison étagées, Yunnan - Droits Réservés

5.4.7 Acteurs clés

- Ministry of Urban and Rural Development (MOHURD)
- China Ministry of Construction (MOC)
- Ministry of Housing and Urban-Rural Development
- National Development and Reform Commission (NDRC)
- Beijing Green Building Alliance (BGBA)
- Tsinghua University /Qingdao University
- International City Management Association (ICMA)
- Fonds Français pour l'Environnement Mondial (FFEM)
- Agence France développement (AFD)
- LBNL's (Lawrence Berkeley National Laboratory) China Energy Group

5.4.8 Bibliographie et webographie

- [Statistiques Chine, Perspectives Monde, 2015](#)
- [China's Green Building Future, China Business Review, 2012](#)
- [China - Yunnan Informations pratiques, Indochina Land, \(2015\)](#)
- [Economy of Yunnan, Netherland AgriBusiness Support Office Kunming China, \(2015\)](#)
- [La Chine présente son pavillon à Expo Milano 2015 et le programme des événements, Expo Milano, 2015](#)
- La construction en Chine, AFD, 2006
- Sustainable Building Development in China, WANG Wei - Shanghai Research Institute of Building Sciences, 2006
- Green Building Industry in China, International City/County Management Association, 2015
- Analysis of the Chinese Market for Building Energy Efficiency, US Department of Energy, 2014
- Comparison of Chinese Green Buildings Standards with Western Green Buildings Standards, KTH Industrial Engineering and Management, 2014
- Chinese Climate and Vernacular Dwellings, Feifei Sun – Buildings, 2013

- Timber Trade and Wood Flow-Study Yunnan, China, Poverty Reduction & Environmental Management in Remote Greater Mekong Subregion (GMS), 1999
- Bamboo Products and their Environmental Impacts: Revisited, Dovetail Partners Inc., 2014
- Fibers from Algae, The BlueEconomy, 2010

5.4.9 Atouts / Faiblesses / Opportunités / Risques

<p>ATOUS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ressources valorisables (bois, bambou, eucalyptus...) • Nombreux plans d'actions en relation avec l'efficacité énergétique des bâtiments adaptés selon les contraintes climatiques des régions • Outils de certification des bâtiments durables • Savoir-faire local des provinces moins industrialisées 	<p>FAIBLESSES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Inexistence d'une filière des matériaux de construction biosourcés • Réglementation incitative à l'utilisation d'éco-matériaux mais pas spécifiquement à des matériaux biosourcés
<p>OPPORTUNITES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Valorisation du bâti traditionnel et du savoir-faire local • Essor du secteur des Green Building • Volonté d'entrer dans une politique de réduction des émissions de GES • Importance du marché de la construction neuve • Rénovation en cours du parc de logements aux performances médiocres à moyennes • Recherche de nouvelles sources de fibres 	<p>RISQUES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Concurrence avec le secteur de l'industrie textile pour les fibres • Concurrence avec l'agriculture de subsistance • Manque de transparence du secteur de l'industrie forestière

5.4.10 Radars Synthèses

Critères de notation : voir Radars synthèse des pays : Critères de notation page 162

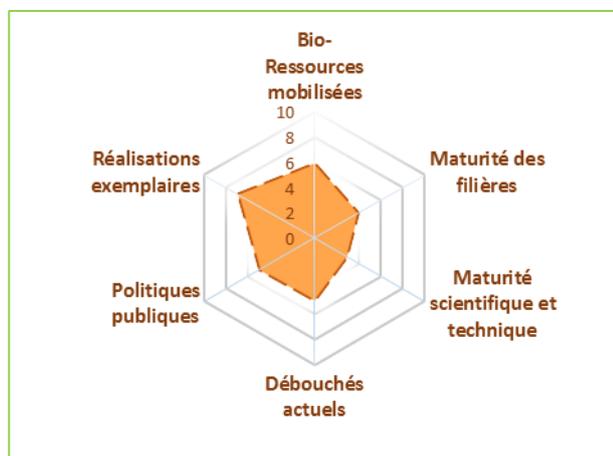


Figure 91 : Chine (Yunnan) – Synthèse situation actuelle

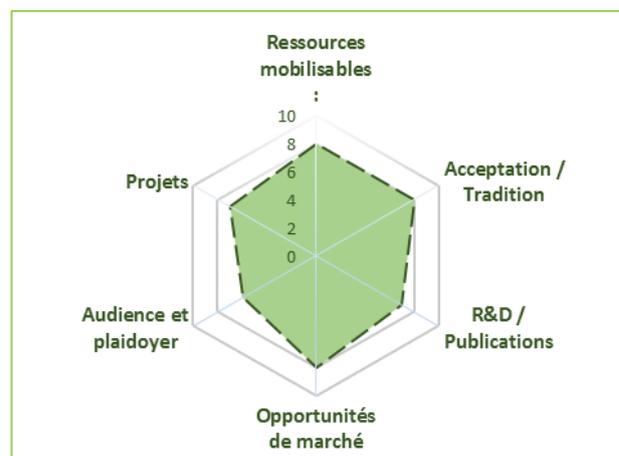


Figure 90 : Chine (Yunnan) - Synthèse perspectives

5.4.11 Perspectives

Bien qu'ayant mis en place sur le territoire plusieurs politiques relatives à l'efficacité énergétique et présentant un secteur des *Green Buildings* en pleine expansion, la Chine manque aujourd'hui encore de recul pour pouvoir développer une filière des matériaux de construction biosourcés compétitive.

Les ressources (bambou, bois, eucalyptus) sont bien présentes, mais ne restent utilisées que dans des régions rurales où l'architecture vernaculaire et l'approvisionnement en matériaux locaux dominant, comme dans la province du Yunnan. De plus, la production de fibres naturelles pour la construction est peu développée dans le pays du fait de la concurrence directe avec l'industrie du textile. L'industrie forestière, bien que de plus en plus intensive, manque encore aujourd'hui de transparence et peut laisser la porte ouverte à un commerce illégal et une dégradation des écosystèmes naturels.

Les *Green Buildings* sont développés dans les grandes villes, mais ne se focalisent pas sur l'utilisation de matériaux d'origine naturelle. L'un des principaux freins à lever dans les prochaines années est la tendance chinoise, impulsée par sa croissance économique, à favoriser encore trop souvent des critères de développement et de retour sur investissements à court terme plutôt que des critères de réflexion sur le long terme, comme par exemple le choix de l'utilisation de certains matériaux de construction biosourcés par rapport à d'autres.

Cependant, le pays démontre aujourd'hui de plus en plus sa volonté de s'engager vers un développement durable, comme a pu le prouver le pavillon réalisé lors de l'Exposition Universelle de Milan en 2015 et son thème « Terre d'espoir, alimentation pour la vie ». La filière des matériaux de construction biosourcés pourrait se montrer porteuse dans les prochaines années, du fait de la disponibilité des ressources, de l'enclenchement des politiques d'efficacité énergétique, et de l'avancée des recherches dans ce secteur.

5.5 Inde, Karnataka

Un secteur de la recherche dynamique dans un pays émergent concerné par des problématiques de logement

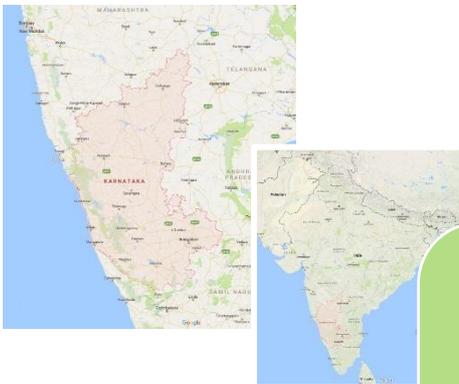
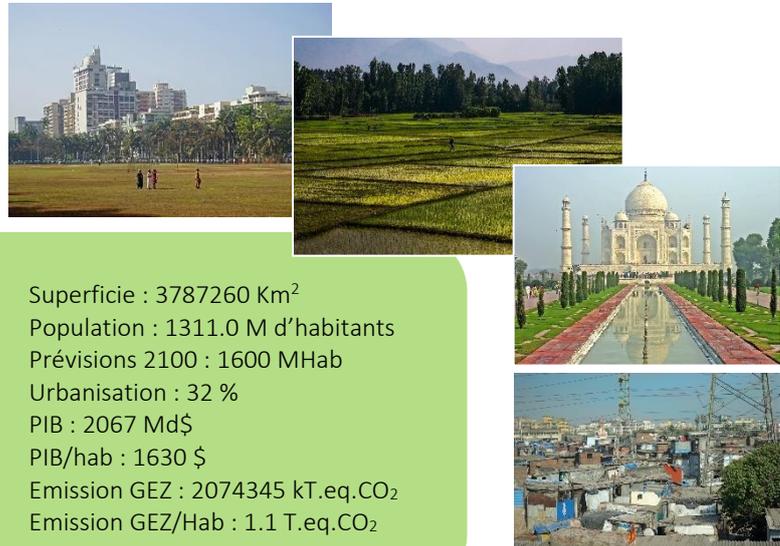


Figure 92: Carte Karnataka (Inde) - Données cartographiques ©2016 Google



- Superficie : 3787260 Km²
- Population : 1311.0 M d'habitants
- Prévisions 2100 : 1600 MHab
- Urbanisation : 32 %
- PIB : 2067 Md\$
- PIB/hab : 1630 \$
- Emission GEZ : 2074345 kT.eq.CO₂
- Emission GEZ/Hab : 1.1 T.eq.CO₂

Crédits s Photographiques en bas de page¹⁹

5.5.1 Introduction

L'Inde compte 1,3 milliard d'habitants pour un PIB de 2,35 milliards de dollars. La province du Karnataka s'étend sur un territoire de 192 000 km² et regroupe environ 65 millions d'habitants. La province présente un indice de croissance de la population de 15,6 %.

5.5.1.1 Ressources et bio-économie :

- La surface forestière de l'Inde représente 23 % du territoire, et la surface agricole, 60 %. Au Karnataka, la surface agricole est plus élevée que la moyenne du pays (64 %), et la surface forestière identique ;
- Après la Chine, l'Inde est le deuxième plus gros producteur de bambou au monde. Ces deux pays regroupent 50 % de la production totale de bambou ;
- La surface forestière en bambou représente en Inde 9,57 millions d'hectares, soit 12,8 % de la surface forestière totale du pays ;
- L'Inde est un des plus gros producteurs de riz blanc au monde. Sa production avoisine les 20 % de la production mondiale
- Le Ministry of Science and Technology of India utilise dans son National Biotechnology Development Strategy le terme de « bio-économie ». Elle est désignée comme le transfert du savoir des sciences du vivant vers des produits compétitifs, socialement et écologiquement pertinents. Elle s'applique aux biotechnologies dans l'agriculture, la santé, l'énergie, l'environnement et la biofabrication ;
- La capitale du Karnataka, Bangalore, héberge 8,5 millions d'habitants. Elle est considérée comme la « Silicon Valley » indienne et comme un pôle de compétences dans le domaine des nouvelles technologies.

¹⁹ Crédits photographiques : Bombay - Oval Maidan (Mumbai, Inde) BY Jean-Pierre Dalbéra - CC BY / Champ de riz -India BY sandeepachetan.com travel photography - CC BY-NC-ND / India-6099 - Taj Mahal BY Dennis Jarvis - CC BY-SA / Bombay - Un des nombreux bidonvilles de Mumbai BY Jean-Pierre Dalbéra - CC BY

5.5.1.2 Enjeux environnementaux :

- L'Inde est le 4^e pays émetteur de GES derrière la Chine, les Etats-Unis, et l'Union Européenne avec 2,07 Gteq CO₂ en 2013 ;
- Le secteur de la construction et des activités manufacturières contribue à 15 % des émissions de GES du pays et 25 % des émissions de carbone ;
- L'industrie cimentière indienne est une des plus efficaces au monde. Malgré ses efforts pour adopter de bonnes pratiques environnementales et réduire les quantités de CO₂ émises par tonne de ciment produit (0,719 t_{CO₂}/t_{ciment} en 2010 contre 1,12 t_{CO₂}/t_{ciment} en 1996), elle représente à elle seule environ 7 % des émissions de CO₂ du pays.

5.5.1.3 Secteur de la construction :

- Des questions concernant le secteur de la construction ont été soulevées dans le pays, notamment des préoccupations concernant la consommation d'énergie, l'environnement, et les méthodes et les technologies de constructions durables ;
- Le secteur de la construction représente approximativement 8 à 10 % du PIB du pays et plus de 31 millions d'emplois ;
- La croissance annuelle du secteur de la construction en Inde est estimée à 6,6% contre 5,5 % dans le monde ;
- 70 % des constructions en Inde seraient encore aujourd'hui à construire ;
- Une des problématiques majeures du gouvernement est de réussir à procurer aux habitants des logements à un prix abordable, 37 % de la population vivant encore sous le seuil de pauvreté.

5.5.1.4 Matériaux de construction

- Les principaux matériaux utilisés dans la construction sont l'acier, le ciment, le verre, l'aluminium, le plastique, etc. Tous ces matériaux sont coûteux en énergie, et leur transport au travers de vastes distances est d'autant plus consommateur ;
- La demande pour les principaux matériaux de construction conventionnels est estimée à 723 Mt de ciment, 589 Mt de briques et 500 Mt d'acier d'ici 2030 ;
- Le pays s'intéresse à des sources de matériaux moins énergivores et plus écologiques comme des matériaux recyclés, des déchets issus de l'agriculture, des matériaux locaux, durables, biodégradables ou recyclables. Mais pour l'instant, il utilise principalement des déchets issus de matériaux conventionnels (minerai de fer, plastique, ciment etc.).
- Une étude menée par le *Hearthquake Engineering Research Center* en 2011 a montré que le remplacement de 40 % de l'acier de certaines constructions par de l'acier recyclé permettait de réduire de 35 % les émissions de CO₂ induites par ce matériau. De même, l'utilisation de débris de verre au lieu de verre neuf pourrait diviser de moitié les émissions de ce matériau ;
- Les déchets végétaux issus de l'agriculture sont estimés à plus de 500 millions de tonnes par an en Inde et pourraient être valorisés dans le secteur de la construction.

5.5.2 Chronologie des politiques publiques et de la réglementation



5.5.3 Les filières de matériaux de construction biosourcés

Peu de réflexions ont été menées sur l'utilisation de matériaux de construction biosourcés. Les principaux engagements du pays consistent à utiliser des matériaux conventionnels plus écologiques (ciment utilisant des cendres volantes en substitution aux agrégats, acier recyclé, etc.).

5.5.3.1 Bambou et dérivés de bambou :

Le bambou est une ressource disponible en Inde qui peut facilement se substituer au bois du fait de sa grande rigidité, de ses propriétés antisismiques et de son coût peu élevé. Des panneaux de bambou peuvent être utilisés en remplacement des panneaux dérivés du bois habituels. Le bambou peut aussi être utilisé comme revêtement de sols ou comme panneaux de toiture.

La production informelle de bambou est élevée dans le pays, par prélèvement direct dans la forêt ou par une production de petite échelle : 64 % des producteurs travaillent dans des productions familiales ou individuelles en 2010. Le bambou ne subit pas ou peu de procédés de transformation (séchage, traitements chimiques etc.). Il est acheminé directement par les familles par voie ferroviaire du fait du faible nombre de contrôles sur la marchandise et est revendu le plus souvent sur des marchés illégaux. Le pays rencontre ainsi des problèmes de qualité avec ce matériau, les taux de pertes étant d'environ 50 % pour un bambou local.

L'Inde possède une des plus grandes superficies de bambou au monde mais doit quand même importer des quantités conséquentes de bambou chaque année (6 000 T en 2012), ce qui traduit la faiblesse de sa filière et de sa capacité d'approvisionnement au sein du pays. La perception de ce matériau dans le pays reste assez mauvaise et la majeure partie de la population le considère seulement comme un matériau destiné aux constructions artisanales. Le potentiel de développement de la filière dans le pays est considérable étant donné la ressource disponible, le besoin du pays en logements abordables et l'engouement des pays occidentaux pour ce matériau.

5.5.3.2 Bois :

Le besoin en bois du pays est actuellement de 29 millions de m³. La production interne du pays avoisine les 16 millions de m³, d'où un besoin, tout comme pour le bambou, d'importation de volumes de bois considérables.

5.5.3.3 Paille de riz :

La paille de riz est la paille la plus résistante de toutes du fait de sa haute teneur en silice. L'Inde est un des principaux producteurs de ballots de paille au monde. L'utilisation de paille de riz en tant que matériaux de construction présente un haut potentiel de développement, plus de 58 % de la population du pays dépendant uniquement de l'agriculture comme source de revenus. D'autre part, la paille présente de nombreux avantages : abordable, résistante au feu, excellent isolant thermique et acoustique, résistante aux moisissures et non toxique. La paille de riz peut être utilisée en tant que chaume pour les toitures, en substitution aux panneaux de tôle conventionnels.

5.5.3.4 Composites et dérivés de fibres naturelles :

La production totale de fibres naturelles dans le pays représente plus de 400 millions de tonnes en Inde. Les fibres naturelles sont des ressources abondantes localement dans les régions agricoles et sont extraites de ressources renouvelables : **cosses et pailles de riz, cosses d'arachides, pailles de blé, jute** ou bien encore, mais dans une moindre mesure, **feuilles de bananiers, fibres de noix de coco, fibres de sisal ou de coton**. Les fibres sont utilisées pour la production de panneaux, toitures, mais entrent aussi de plus en plus souvent dans la composition de ciments biosourcés.

La bagasse, résidu fibreux de la canne à sucre, peut entrer dans la composition de bétons soit sous forme de fibre soit sous forme de cendres. 95 % des raffineries de sucre se concentrent dans 9 États du pays, qui pourraient être leur lieu de valorisation, dont le Karnataka. La bagasse peut aussi entrer dans la composition de panneaux de PVC.

5.5.4 Innovation Technologique

- Le *Central Building Institute* a étudié plusieurs techniques visant à modifier les fibres de sisal pour leur utilisation dans la production de panneaux de toitures ;
- L'IPIRTI et le BMTPC ont développé des technologies pour la production de panneaux de bambou. Une plantation commerciale a été mise en place au Meghalaya et produit un matériau de toiture écologique. L'usine peut produire jusqu'à 3 000 panneaux par mois ;
- Le *Central Building Research Institute* a développé un traitement par enduits de boue destiné aux toits de chaume permettant de réduire le risque incendie et de les rendre imperméables.

5.5.5 Normes, Règlements, Certifications

- Le *Central Public Works Department (CPWD) Specifications* est un guide recensant les normes requises pour les matériaux de construction en Inde ; Certification LEED ;
- Le *Green Rating for Integrated Habitat Assessment (GRIHA)* est le système national Indien de certification des bâtiments conçu par le *Ministry of New and Renewable Energy* et le *Energy and Resources Institute (TERI)*. Il est conçu pour évaluer tous types de bâtiments en Inde, dans toutes les zones climatiques.

5.5.6 Focus architecture

1.1.1.10 Les habitations traditionnelles de la communauté Bunt

La communauté Bunt est issue de la noblesse guerrière de la région du Tulu Nadu au Karnataka. Ses habitations traditionnelles sont construites à partir d'une structure en bois et de murs en terre, l'architecture permettant un confort même durant des périodes de fortes chaleurs grâce à une ventilation et des ombrages importants rendus possibles par la présence d'une cour intérieure.

Les sols, les plafonds, les finitions et les menuiseries sont souvent réalisés en bois sculpté ou vernis, apportant une dimension majestueuse à l'édifice.



Figure 94 : Habitat traditionnel Bunt (Crédits photographiques en bas de page)

1.1.1.9 L'habitation de « Palmyre »

Cette habitation de 277 m² construite dans une palmeraie a été réalisée par l'architecte Bijoy Jain. L'habitation est divisée en deux structures oblongues, représentant deux espaces de vie différents, séparées par un canal collectant les eaux pluviales.

Du basalte local est utilisé pour constituer les murs porteurs tandis que le reste de l'habitation est construit à partir de bois local, notamment du palmier de Palmyre entrant dans la constitution des nombreuses persiennes permettant la ventilation et la régulation de la température de l'édifice.

Les techniques vernaculaires utilisées permettent à cette habitation de s'ancreur pleinement dans son environnement naturel.



Figure 93 : Maison d'habitation (Archi. Bijoy Jain) -Photo. Droits Réservés

²⁰ Crédits photographiques : Guttu_Mane_Pilikula BY Nithin Balepuni - CC-BY-SA-4.0 / Guthu mane - traditional homes of bunt community BY Harl Prasad Nadig - CC BY-SA

5.5.7 Acteurs clés

- BAI - Builders Association of India
- BIS - Bureau of Indian Standards
- BMTPC - Building Materials & Technology Promotion Council
- CGBMT - Centre for Green Building Material and Technology
- CIDC - Construction Industry Development Council
- IGBC - Indian Green Building Council
- NBCC - National Building Construction Corporation of India
- NBO - National Buildings Organisation
- TERI - The Energy and Resource Institute
- Centre for Earthquake Engineering
- Department of Forest, Ecology & Environment, Government of Karnataka
- Indian Institute of technology, Department of Civil Engineering
- Ministry of Urban Development and Poverty Alleviation
- Ministry of New and Renewable Energy

5.5.8 Bibliographie et webographie

- [Karnataka Population Census data 2011, Census 2011, 2011](#)
- [Forest, Karnataka, 2007](#)
- [Bangalore Population 2015, Census 2011, 2015](#)
- [Gutu or Bunt house in Mangalore, Rathina Sankari, 2015](#)
- [Architecture of the Bunt community, south Canara, Karnataka, Deepika Jeevan, \(2015\)](#)
- [Palmyra House, Aga Khan Award for Architecture, 2010](#)
- Indian Construction Industry, Dr Kuppuswamy Anantha Narayanan, Department of civil engineering, (2013)
- Sustainable Materials in the Construction Industry – A \$5.5 Billion Dollar Market Waiting to be explored, Sustainability Outlook, 2015
- The Role of Building Construction Materials on Global Warming - Lessons for Architects, Azadeh Sagheb, Ehsan Vafaeihosseini & Pradeep Kumar Ramancharla, 2011
- Design Package Karnataka – Using Alternate Building Materials and Technology, BMPC, 2012
- Energy Efficient and Green Technology Concepts, Vinutha Bai N & Dr R. Ravindra, *College of Engineering*, Karnataka, 2014
- *Natural Fiber Reinforced Building Materials*, Pr Pravin V. Domke & Pr Viveka D. Mude, 2015
- Prospect of Low Cost Housing in India, Swaptik Chowdhury & Sangeeta Roy – School of Mechanical and Building Sciences, 2013
- The Bamboo Industry in India: Supply chain structure, Challenges and Recommendations, Aniket Baksy, 2013
- Sustainable Approaches for Utilizing Waste in Building Construction: Two Case Studies in India, A.K Kasthurba, K.R Reddy and D. Venkat Reddy, International Journal of Earth Sciences and Engineering, 2014
- Build well with waste, Parisara ENVIS Newsletter, 2007

5.5.9 Atouts / Faiblesses / Opportunités / Risques

<p>ATOUTS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Importance de la ressource en bambou et en bois • Utilisation de matériaux de construction plus écologiques, recyclables ou recyclés ou biodégradables • Secteur de la recherche développé • Outils de certification des bâtiments durables 	<p>FAIBLESSES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Faible structuration de l'industrie forestière et de bambou malgré l'importance de la ressource • Inexistence d'une filière des matériaux de construction biosourcés • Règlementation incitative à l'utilisation de matériaux plus écologiques mais pas spécifiquement à des matériaux biosourcés
<p>OPPORTUNITES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Développement du secteur de la construction • Développement d'une architecture vernaculaire via certains architectes • Recherche de nouvelles sources de fibres • Abondance des déchets végétaux 	<p>RISQUES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Développement d'un marché du bambou essentiellement chinois • Vision négative des constructions vernaculaires, assimilées à des populations non urbaines et peu développées • Concurrence avec le secteur de l'industrie textile pour les fibres

5.5.10 Radars Synthèses

Critères de notation : voir Radars synthèse des pays : Critères de notation page 162

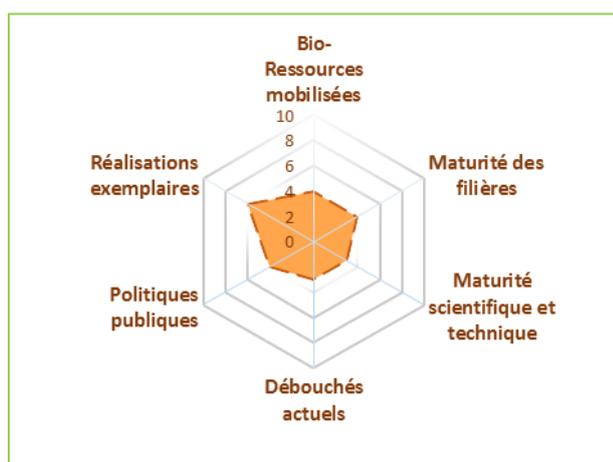


Figure 96 : Inde - Synthèse situation actuelle

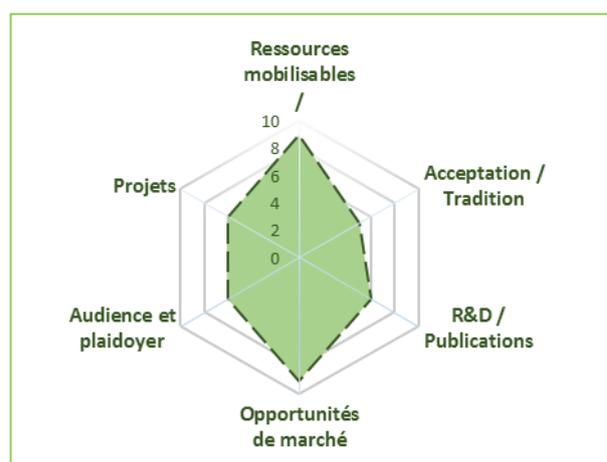


Figure 95 : Inde - Synthèse perspectives

5.5.11 Perspectives

L'Inde, 8^e puissance mondiale et 2^e pays le plus peuplé au monde, fait face aujourd'hui au défi de loger une population de plus en plus urbaine et au niveau de vie qui s'élève rapidement du fait de la croissance de son PIB (7,4 % en 2014). Bien qu'ayant à disposition de nombreuses ressources en matières premières végétales (bois, bambou, résidus de fibres) pouvant être utilisées dans le secteur de la construction, le pays s'est principalement tourné ces dernières années vers une construction essentiellement conventionnelle, en particulier à proximité des grands pôles urbains.

Malgré son engagement dans une politique de réduction de ses émissions de GES, le pays reste le 4^e plus gros émetteur de CO₂ au monde, et le secteur de la construction un de ses principaux pôles d'émissions. L'Inde ne s'oriente pourtant pas encore significativement vers le développement des matériaux biosourcés mais vise toutefois une réduction des émissions du secteur de la construction passant par l'amélioration des techniques existantes (réduction des émissions de l'activité cimentière du pays) ou l'utilisation de matériaux de constructions conventionnels recyclés ou de déchets. Ainsi, la construction vernaculaire reste encore, malgré le travail des architectes, le plus souvent assimilée à un faible niveau de vie et à des matériaux utilisés principalement dans les zones rurales.

Le pays a cependant compris l'importance de ses ressources végétales et s'oriente vers une meilleure gestion de ses forêts de bois et de bambou, ce qui lui permettrait de ne plus se reposer sur l'importation et de devenir une puissance exportatrice. L'Inde souhaite d'ailleurs, à terme, se positionner en tant que leader sur le marché du bambou, derrière la Chine, du fait de la demande en hausse des pays de l'Ouest.

La recherche est, quant à elle, en pleine expansion concernant les nouveaux matériaux et notamment l'utilisation de fibres agricoles, nombreuses en Inde, dans l'industrie textile mais aussi dans la construction, ce qui pourrait permettre au pays d'acquérir rapidement des connaissances et des savoir-faire dans ce secteur.

5.6.1.4 Bio-économie et Ressources :

- Les ressources en biomasse sont nombreuses et abondantes, elles ne peuvent être un facteur limitant de la bio-économie,
- La bio-économie est appréhendée comme un secteur d'avenir pour l'agriculture et l'industrie. Elle s'appuie, entre autres, sur des échanges avec d'autres pays (Canada, Communauté Européenne, USA)
- Les utilisations visées prioritairement par les politiques publiques et la recherche concernent la chimie et les énergies.

5.6.2 Chronologie des politiques publiques et de la réglementation



5.6.3 Les filières de matériaux de construction biosourcés

S'appuyant sur des ressources importantes et variées, les filières de matériaux de constructions biosourcées sont dynamiques et en développement. Elles s'appuient sur de nombreuses initiatives émanant de petites ou moyennes entreprises. Certaines sont en place depuis de nombreuses années :

- Laine de mouton : plusieurs fabricants s'appuyant sur les ressources locales parfois depuis plus de 20 ans
- Ouate de cellulose : largement utilisée depuis plus de 50 ans (voir 100 ans pour les isolations en papier)
- Panneaux de paille : utilisation traditionnelle (maison datant de 1930) la production est assurée par plusieurs PME.

D'autres sont issues d'innovation récentes et s'inspirent souvent des démarches européennes :

- Ballots de Paille : première maison en 1993 et nombreuses constructions y compris en bâtiments publics
- Chanvre : axés essentiellement sur les bétons de chanvre utilisant les techniques françaises, voir dans certains cas en important des liants depuis la France
- Fibres de bois : s'il n'y pas à ce jour d'usine de production, plusieurs fabricants européens – en particulier allemands – ont des antennes commerciales en Australie.

5.6.4 Innovation Technologique :

- Rapport du gouvernement australien Opportunities for Australian agricultural industries /2007.

5.6.5 Normes, Règlements, Certifications

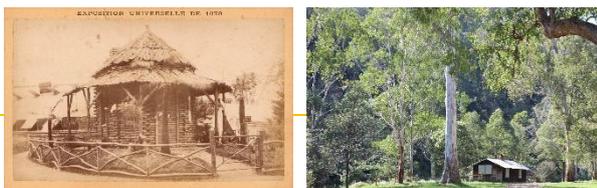
Les biomatériaux rentrent dans le même cadre que les autres matériaux (BCA Building Code of Australia) et les cadres normatifs et réglementaires ne semblent pas être des freins majeurs.

5.6.6 Focus architecture

1.1.1.12 Architecture traditionnelle

L'habitat de la période précoloniale (aborigène) était relativement sommaire et n'a plus de réelle existence. L'architecture traditionnelle est donc relativement récente (fin du XVII^e) et largement issues des techniques européennes.

Les matériaux biosourcés, en dehors du bois, y ont assez peu de place. L'utilisation des panneaux de paille ou du papier pour l'isolation apparaît au XX^e siècle)



22 : Figure 99 : Australie Bush Hut (Crédits photographique en bas de page)

1.1.1.11 Architecture innovante

Les matériaux biosourcés sont essentiellement utilisés comme isolants. Ils sont donc peu visibles et ils influencent relativement peu l'architecture mais interviennent dans de nombreux bâtiments innovants, y compris des bâtiments publics,

- Construction en ballots de paille : l' Australian Wildlife Hospital - Architecte Andrew Webb

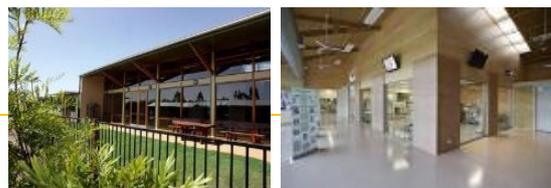


Figure 98 : Australian Wildlife Hospital (Crédits photographiques en bas de page)

5.6.7 Acteurs clés

- Ministers for Innovation, Industry, Science and Research : <http://minister.industry.gov.au/>
- Departement of Agriculture : <http://www.agriculture.gov.au/>
- Climate Council : <http://www.climatecouncil.org.au/>

5.6.8 Bibliographie et webographie

5.6.8.1 Bio économie

- <http://industry.gov.au/industry/IndustrySectors/nanotechnology/IndustrialBiotechnology/Pages/BioeconomyandIndustrialBiotechnology.aspx>

5.6.8.2 Matériaux biosourcés :

- http://ausbale.org/site/viewpage.php?page_id=2
- <http://www.ortech.com.au/durra-panels/durra-panel>
- <http://www.solomit.com.au/>
- <http://www.acima.asn.au/>
- <http://www.goldenfleeceinsulation.com.au/>
- <http://www.hempcrete.com.au/>

²² Crédits photographiques **Figure Erreur ! Document principal seulement.** : Australie Bush Hut : Australian Bush Hut at Paris Expo 1878 BY Aussie~mobs - CC BY / Australie Noonan's Hut, Howqua River Valley Panorama from southwes BY Takver - CC BY-SA

²³ Crédits photographiques **Figure Erreur ! Document principal seulement.** : Australian Wildlife Hospital : Australian Wildlife Hospital - DR

5.6.9 Atouts / Faiblesses / Opportunités / Risques

<p>ATOUTS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Implication dans la bio-économie • Dynamisme du secteur agricole • Ressources (non-concurrentes de l'alimentaire) abondantes et variées • Implication de nombreuses TPE et PME 	<p>FAIBLESSES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Intérêt pour l'efficacité énergétique des bâtiments limité (abondance des ressources) • Matériaux de construction peu identifiés dans la bio-économie et pas d'organisation de filière • Peu d'utilisation traditionnelle
<p>OPPORTUNITES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Politique globale de réduction du carbone, • Mise en avant des intérêts de construire « durable » et de la bio-économie • Nouveau plan stratégique du Nationwide House Energy Rating Scheme (NatHERS) - 	<p>RISQUES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Persistance du faible coût de l'énergie, • Difficultés de massification par les producteurs de matériaux, • Changement de gouvernement et de politiques publiques

5.6.10 Radars Synthèses

Critères de notation : voir Radars synthèse des pays : Critères de notation page 162

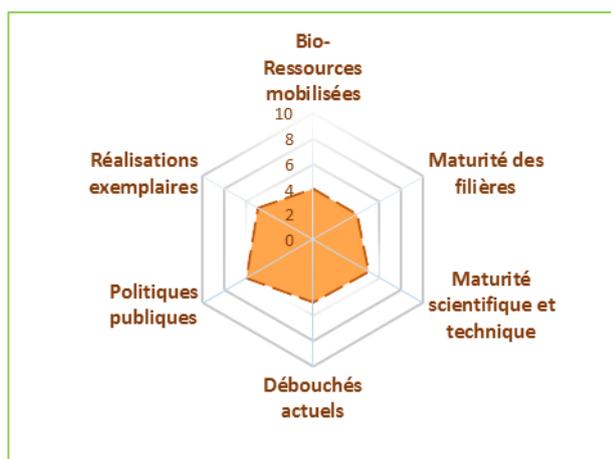


Figure 101: Australie - Synthèse situation actuelle



Figure 100 : Australie - Synthèse perspectives

5.6.11 Perspectives

Bien que la qualité environnementale des bâtiments ne soit pas une priorité nationale et que le marché des isolants ne soit pas particulièrement dynamique, les matériaux de construction biosourcés bénéficient d'atouts importants.

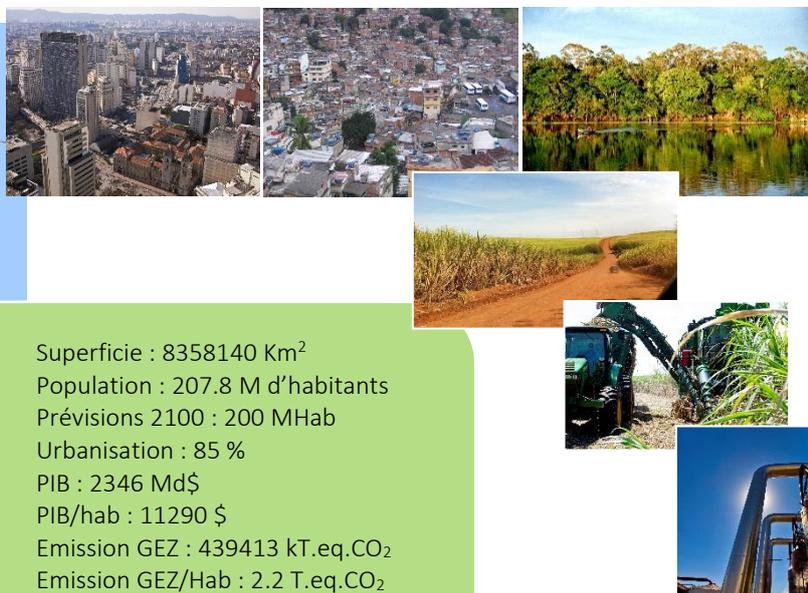
D'une part, ils peuvent s'appuyer un ensemble de paramètres favorables à la bio-économie (ressources, agriculture, recherches). D'autre part, les contraintes normatives et les rejets culturels ne semblent pas des obstacles très importants. Enfin, le dynamisme affiché par les producteurs et par les entrepreneurs est sans doute un vecteur de développement essentiel

5.7 Brésil

Une économie biosourcée portée sur les biocarburants, mais un avenir prometteur pour la construction



Figure 102 : Carte Brésil -
Données cartographiques
©2016 Google



- Superficie : 8358140 Km²
- Population : 207.8 M d'habitants
- Prévisions 2100 : 200 MHab
- Urbanisation : 85 %
- PIB : 2346 Md\$
- PIB/hab : 11290 \$
- Emission GEZ : 439413 kT.eq.CO₂
- Emission GEZ/Hab : 2.2 T.eq.CO₂

Crédits Photographiques en bas de page²⁴

5.7.1 Introduction

Le Brésil compte 207,8 millions d'habitants pour un PIB de 2 346 milliards de dollars. Sa superficie de 8 358 000 km² le place au 5^e rang des pays les plus grands du monde.

5.7.1.1 Ressources et bio-économie :

- Le Brésil possède une des plus importantes surfaces forestières du monde, qui représente 62% de son territoire. Parmi celles-ci 415 890 ha proviennent de forêts primaires, 56 424 ha de forêts modifiées et 5 384 ha de plantations industrielles ;
- La surface agricole représente 33% du territoire brésilien et l'agriculture 8% du PIB ;
- Le Brésil est le premier exportateur mondial de denrées agricoles, sa balance agroalimentaire est excédentaire et se montait à 56,3 milliards d'euros en 2014 ;
- Il est le leader mondial de production de sucre, éthanol, café, soja, orange, viandes de bœuf et poulet, et possède une industrie diversifiée ;
- Le pays est le 10^e producteur de papier et de cellulose du monde et le 7^e concernant l'industrie chimique ;
- L'infrastructure et les transports, les technologies propres, l'environnement et l'industrie forestière ont été identifiés comme des secteurs économiques porteurs du pays ;
- Les investissements en R&D concernant le secteur de la bio-économie restent faibles au Brésil, malgré son PIB élevé.

²⁴ Crédits photographiques : Brésil Sao Paulo BY Marcelo Druck - CC BY-NC-ND / Brésil Rhocina Favella Rio de Janeiro BY K Thomason - CC BY-NC-ND / Brésil Amazonia BY Andre Deak - CC BY / Sugar cane field BY Rainer Rilke - CC BY-NC-ND / Harvesting sugarcane in Brazil BY Shell - CC BY-NC-ND / Sugarcane Ethanol Production BY Sweeter Alternatice - CC BY-ND

5.7.1.2 Enjeux environnementaux :

- Le Brésil se classe au premier rang mondial pour la production d'énergie à partir de ressources renouvelables, notamment l'eau pour la production d'électricité ;
- Le Brésil est l'un des leaders mondiaux dans le domaine des biocarburants. Il est le 2^e producteur d'éthanol au monde et compte le plus grand nombre de véhicules hybrides : 90% des voitures du pays sont pourvues d'un moteur *flex-fuel* ;
- Mais le pays est aussi le 10^e producteur mondial de pétrole et le leader en exploration profonde de pétrole ;
- Durant la période 2005-2010, le pays a diminué de 39% ses émissions de gaz à effet de serre grâce au *National Climate Change Plan*, essentiellement axé sur la réduction de la déforestation, tout en ne compromettant pas sa croissance économique ;
- En revanche, sur la même période, les émissions dues au secteur de l'énergie ont augmenté de 21,4% et devraient croître de 2% par an jusqu'en 2016 ;
- L'agriculture brésilienne génère chaque année des millions de tonnes de coproduits encore peu valorisés. Le recyclage et l'emploi de déchets recyclés comme matériaux de construction est une thématique émergente dans le pays qui nécessite de plus amples recherches.

5.7.1.3 Secteur de la construction :

- La construction est un secteur clé de croissance économique et d'amélioration de la protection sociale, En moyenne au Brésil, 40 % de la population des grandes villes vit dans un habitat indigne, le déficit de logements s'élevant à 5,8 millions en 2012 ;
- Entre 2003 et 2011, le gouvernement a construit près de 2 millions d'habitations et le programme *Minha Casa, Minha Vida* lancé pour aider les familles les plus pauvres à financer leur logement prévoyait la construction de 2 millions de logements supplémentaires entre 2011 et 2014. En 2013, 32% des constructions de logements du pays étaient affiliées à ce programme. Entre 2010 et 2022, la construction de 23,5 millions de nouvelles habitations sera nécessaire ;
- La préparation de la coupe du monde de football 2014 et des jeux olympiques 2016 ont entraîné de nombreux investissements dans le secteur de la construction. Ils s'élèvent à 50 milliards de dollars entre 2010 et 2016 ;
- Depuis 2007, l'industrie des *Green Buildings* a connu une importante croissance. En 2013 le pays occupait la 4^e place mondiale concernant le nombre de projets certifiés LEED.

5.7.1.4 Matériaux de construction :

- La production de matériaux de construction consomme environ 50% des ressources naturelles extraites dans le pays ;
- Dans les principales agglomérations du pays (Sao Paulo, Rio de Janeiro, Salvador, Belo Horizonte, etc.), les matériaux de construction les plus fréquemment utilisés sont les matériaux conventionnels de maçonnerie générale (ciment, béton, etc.) ;
- Dans l'Etat du Maranhao et dans la région amazonienne (Etats du Para, d'Amazonas et de l'Acre), l'emploi de végétaux (paille, palmier, bois) et du pisé (terre crue) comme matériaux de construction, tant pour les murs que pour la couverture est très répandu.

5.7.2 Chronologie des politiques publiques et de la réglementation



5.7.3 Les filières de matériaux de construction biosourcés

5.7.3.1 Bois :

Le marché intérieur brésilien absorbe à lui seul 80% de la production de bois amazonien.

Sur la totalité du bois exporté par le pays, 46% provient d'Amazonie, dont 80% est originaire d'un seul Etat, le Para. Cette région compte d'ailleurs à elle seule plus de 3 000 scieries. Le bois est exporté sous forme d'avivés, de contreplaqué et de placages. Les essences exportées sont utilisées dans les secteurs du bâtiment (charpente, menuiseries intérieures et extérieures), de l'ameublement ou de la construction navale.

Une part non négligeable de la ressource forestière, mais aujourd'hui encore difficile à quantifier, est exploitée de manière illégale car les coupes sont réalisées en dehors des exploitations.

5.7.3.2 Bambou :

Le Brésil possède la plus grande diversité d'espèces de bambous de toute l'Amérique latine avec plus de 137 espèces et 17 genres différents répartis essentiellement dans les Etats d'Amazonas et de l'Acre. Le bambou représentait en 2005 2,1% de la superficie forestière, soit 9 millions d'hectares. Mais parmi les 17 genres, seuls 5 peuvent présenter un réel potentiel économique, et proviennent essentiellement d'espèces importées d'Asie.

Parmi les différents usages du bambou se discernent son emploi comme matériaux de construction et même comme matière première pour les habitations les plus abordables, ou bien son utilisation pour la confection de pâte à papier, 30 000 ha de plantations privées étant cultivées à destination de l'industrie de trituration.

5.7.3.3 Matériaux composites

5.7.3.3.1 Bioplastiques :

- Le **sisal** est cultivé au Brésil pour les fibres de ses feuilles, utilisées dans la filière bois énergie et bois de trituration ou pour la fabrication artisanale de tissus, cordes ou tapis. En 2004, 140 000 tonnes de fibres sèches de sisal étaient produites, représentant seulement 4% du total de feuilles récoltées. En effet, seules les fibres les plus longues sont utilisées dans ces différents débouchés, le reste de la feuille étant considéré comme un déchet et jeté. Ainsi, chaque année, l'industrie du sisal génère près de 490 000 tonnes de déchets de feuilles. Des études ont montré que les fibres courtes peuvent entrer dans la composition de bioplastiques (NFC) dont les débouchés principaux sont la chimie verte ou les matériaux de construction.
- La fibre de **canne à sucre** peut aussi être une des matières premières utilisée pour la conception de bioplastiques, la cellulose pouvant être convertie en éthanol et entrer dans la composition de PVC biosourcé.
- Un projet d'implantation d'une usine de conversion de canne à sucre en éthanol est à l'étude. L'usine aurait une capacité de production de 60 000 tonnes par an de bio-éthylène pour sa conversion en PVC, mais le coût du projet s'élève à plus de 135 millions de dollars.

5.7.3.3.2 Bétons Biosourcés :

- Des débouchés sont possibles et des recherches sont en cours concernant l'incorporation de fibres issues de cocotiers, bananiers, canne à sucre ou sisal pour la création de bétons végétaux. D'autre part, l'incorporation des cendres provenant de la combustion de résidus de canne à sucre pourrait permettre de diminuer significativement les dosages en ciment dans les bétons.

5.7.3.4 Innovation Technologique

- Le secteur des biotechnologies n'est pas considéré comme un secteur à part entière dans le pays, mais comme une technologie transversale, ce qui freine son développement ;
- Pour améliorer la filière des biotechnologies, il est nécessaire d'augmenter la capacité de recherche, d'innovation, le transfert de connaissances entre les différents secteurs, mais surtout l'aide à la réglementation pour la mise en place de nouveaux produits ;
- Des recherches sont menées par le Brazilian Council of Sustainable Construction (CBCS), le Green Building Council Brasil (GBC Brasil), et le National Institute of Meteorology, Quality and Technology (INMETRO) concernant la réduction de l'impact environnemental des bâtiments ;

- Les innovations technologiques touchent surtout le secteur des biocarburants et de la chimie verte dans lesquels le pays est particulièrement développé. Il a d'ailleurs décidé en 2014 d'accélérer le développement de nouvelles technologies afin d'accroître la productivité agricole de la filière de canne à sucre (agriculture de précision et OGM).

5.7.3.5 Normes, Règlementations, Certifications

- Le pays n'a pas encore mis en place de mesures incitatives privilégiant le recours à des produits biosourcés ;
- L'essentiel des mesures incitatives relatives à la biomasse concerne le secteur des biocarburants ;
- Utilisation d'outils locaux et internationaux de certification des bâtiments durables ;
- Certification LEED ;
- Certification Qualiverde ;
- Certification Porcel Edifica ;
- Le premier outil de certification développé au Brésil est le Selo Azul da Caixa ;
- Le Green Building Council Brazil a développé un outil de certification destiné au secteur résidentiel : le Referencial GBC Brazil Casa ;
- AQUA est un outil de suivi des constructions inspiré de la méthodologie française HQE (Haute Qualité Environnementale) supervisant la construction du bâtiment au cours de tous ses différents stades.

5.7.4 Focus architecture

1.1.1.14 Les écoles en bambou

Le Mouvement des Sans Terre (MST) est une organisation populaire brésilienne militant pour l'attribution de terres aux paysans brésiliens en étant dépourvus. L'organisation réalise aussi des actions éducatives dans le pays en construisant des écoles, en assurant leurs financements de fonctionnement, et en formant les instructeurs. La construction des écoles est réalisée de manière écologique, en employant des matériaux naturels comme le bambou, la terre, etc. Les chantiers sont l'occasion d'initier et de former les habitants à la construction de ce type d'habitations écologiques et de leur enseigner un savoir-faire qu'ils peuvent ensuite exporter dans leurs régions respectives.



Figure 104 : Brésil, Ecole en bambou - Crédit photo DR

1.1.1.13 Les habitations du Maranhão

L'Etat brésilien du Maranhão se différencie des autres Etats du pays par l'emploi prépondérant de végétaux pour la construction, tant pour les murs en pisé non-revêtu qu'en couverture. Sur les 800 000 logements, plus de la moitié présentent des murs en terre et un toit de paille, tandis qu'environ 15% des logements sont réalisés entièrement à base de paille. Ces habitations sont particulièrement développées dans la région du Baixada Maranhense, principale aire de répartition du palmier Babaçu, cultivé pour l'huile de ses noix et dont les feuilles sont récupérées pour être utilisées dans la construction locale.



Figure 103 : Habitation du Maranhão - Crédit photo. Índios isolados no estado brasileiro do Acre BY Gleilson Miranda Governo do Acre - CC BY

5.7.5 Acteurs clés

- *United Nations Environment Programme (UNEP)*
- Ministério do Meio Ambiente
- Ministry of Agriculture, Livestock and Supply (MAPA)
- Brazilian Council of Sustainable Construction (CBCS)
- Brazilian Chamber of Construction Industries
- Brazil Green Building council (BGBC)
- OAS
- CAIXA Economica Federal
- ELECTROBRAS
- Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construido (ANTAC)
- Associação Brasileira da Indústria de Materiais de Construção (ABRAMAT)
- Brazilian Association of the Sciences of Nonconventional Material Technologies
- Brazilian Council for Architecture and Urbanism

5.7.6 Bibliographie et webographie

- [Brazil, FAO, \(2015\)](#)
- [Civil Construction Industry in Brazil, The Brazil Business, 2015](#)
- [Fibres du Futur - Sisal, FAO, \(2015\)](#)
- [Solvay s'allie à Granbio au Bresil, Industrie.com, 2013](#)
- Fiche Brésil, Chambre de Commerce France-Brésil, 2012
- Les opportunités (et défis) du marché brésilien, Mandala Group, Tiago SILVA, 2013
- *Bioeconomy - An Agenda for Brazil*, Harvard Business Review Analytic Services, 2013
- Le soutien apporté aux produits biosourcés dans le cadre des marchés publics – analyse comparative dans 8 pays, DG Tresor, 2014
- *Brazil's Biotech Initiatives*, Brazilian Biotech Association, Eduardo Giacomazzi, 2010
- Différents aspects de la filière bois en Amazonie brésilienne, Bois et forêt des tropiques n°259, Marie-Françoise Fleury, 1999
- State of Play of Sustainable Building in Latin America 2014, UNEP, 2014
- Aspects of Sustainable Construction in Brazil and Public Policy Promotion, CBCS, UNEP, Ministry of the Environment, 2015
- *Construction and Engineering Industry*, US Commercial Service Industry, 2014
- Architecture Construction and Engineering (ACE), ENR Magazine, 2014
- Les matériaux de construction des logements, Cahier du Brésil contemporain n°37, P. Waniez & V. Brustlein, 1999
- Les conglomerats familiaux. BTP au Brésil : les « quatre sœurs », Sciences-Po Paris, Alvaro Artigas, 2014
- L'auto-construction en autogestion au Brésil : expériences à retenir pour la Guyane, João Sette Whitaker Ferreira, Université Sao Paulo
- *Cementitious composites reinforced with vegetable fibers*, Marie-Ange Arsène, Holmer Savastano Jr., Seyed M. Allameh, Khosrow Ghavami, Wole O. Soboyejo, 2003
- FIBRACASA, Affordable Houses from Natural Fibre – Plastic Composites (NFC), SINDIFIBRAS – CONENOR, 2011
- Sustainability assessment of the production of sisal fiber in Brazil, S.N.C. Dellaert, 2014
- Performance of low-cost vegetable fibre-cement composites under weathering, H. Savastano Jr., 2001
- BRESIL – Mouvement des Sans Terres (MST), Comité Amérique Latine du Jura, 2011

- World bamboo resources – A Thematic study prepared in the framework of the Global Forest Resources Assessment 2005, FAO – INBAR, 2007
- Evaluation of Bamboo Resource in Latin America, Ximena Londono, 2001

5.7.7 Atouts / Faiblesses / Opportunités / Risques

<p>ATOUS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Forte disponibilité des ressources (bois, bambou, canne à sucre, etc.) • Essor du secteur de la Chimie Verte grâce aux biocarburants • Développement des Green Buildings • Outils de certification des bâtiments durables 	<p>FAIBLESSES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Inexistence d'une filière industrielle des matériaux de construction biosourcés • Faiblesse du cadre règlementaire sur les matériaux de construction • Manque de politiques incitatives (fiscalité) • Cloisonnement des secteurs de la recherche et de l'industrie
<p>OPPORTUNITES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Essor du secteur de la construction et besoin en bâtiments du pays • Développement possible de bioplastiques à partir de ressources du territoire (canne à sucre, sisal) • Problématique de recyclage des déchets 	<p>RISQUES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Faible diversification des matériaux biosourcés • Economie informelle (illégal) du bois • Concurrence mondiale des pays leader de la filière

5.7.8 Radars Synthèses

Critères de notation : voir Radars synthèse des pays : Critères de notation page 162

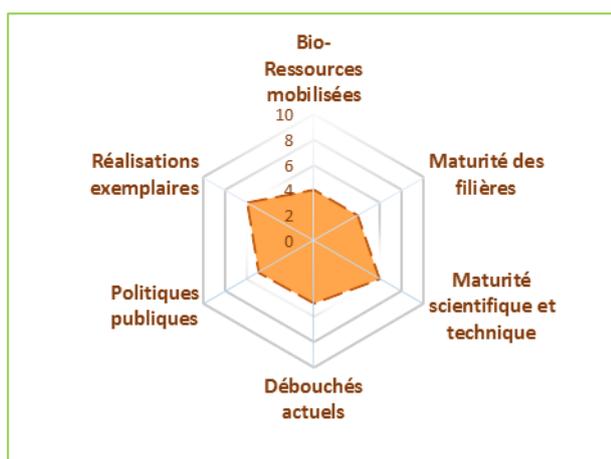


Figure 106: Brésil – Synthèse situation actuelle

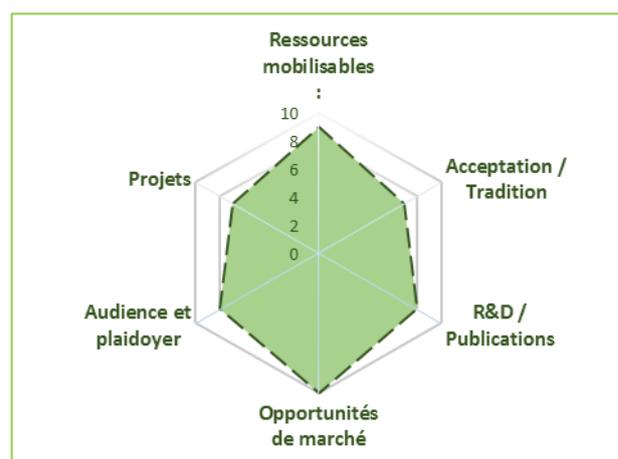


Figure 105 : Brésil - Synthèse perspectives

5.7.9 Perspectives

Le Brésil est la plus grande puissance économique d'Amérique latine et un des principaux nouveaux pays émergents au monde. Leader mondial dans plusieurs domaines industriels et agricoles, le pays a su développer une économie mondialement compétitive et améliorer le niveau de vie de sa population. Il doit faire face aujourd'hui à de nouvelles problématiques en lien avec l'élévation du niveau de vie, dont la principale reste l'accès au logement.

Le secteur de la construction, très porteur dans le pays à cause d'un déficit de logements élevé, a été poussé ces dernières années par la mise en place des infrastructures nécessaires à l'hébergement de deux événements mondiaux : la Coupe du Monde de football et les Jeux Olympiques. Le Brésil a aussi su orienter son économie en lien avec le changement climatique (limitation de la déforestation, réduction des émissions de GES, etc.), et a réussi le pari de développer le secteur de la chimie verte en devenant le 2^e producteur de biocarburant au monde.

Malheureusement, ces deux secteurs qui devraient être favorables au développement des matériaux de construction biosourcés n'ont pas encore permis de faire émerger cette filière sur le marché brésilien, filière qui doit encore développer sa R&D et les liens industrie/recherche. Les principaux matériaux biosourcés utilisés à l'heure actuelle dans le pays restent le bois et les matériaux de base des constructions les plus modestes (bambou, sisal).

Cependant le pays a su se rendre compte des potentialités économiques du secteur et tente aujourd'hui de mettre en place des outils nécessaires à l'essor de la filière, notamment au travers du projet de loi 1415/2012 qui vise à développer le secteur des *Green Buildings* déjà bien déployé aujourd'hui, à mettre en place des aides et des mesures incitatives pour les bâtiments disposants de la qualification Qualiverde, et à renforcer les normes et le cadrage de la filière. La recherche est aussi en train de se tourner vers l'étude de ces matériaux, notamment vers les synergies possibles avec le secteur de la chimie verte pour la production de bio-plastiques ou vers les potentialités de l'usage de matériaux recyclés pour la construction.

Enfin, pour que les politiques de réduction de GES mises en place par le pays puissent être efficaces, un des premiers objectifs du Brésil reste la lutte contre les industries de bois informelles et illégales toujours présentes en Amazonie, qui ne se soumettent pas aux politiques de développement durable.

5.8 Canada

Une filière en cours de développement mais encore essentiellement portée par la construction bois



Figure 107 : Carte Canada - Données cartographiques ©2016 Google



- Superficie : 9093510 Km²
- Population : 35.7 M d'habitants
- Prévisions 2100 : 50 MHab
- Urbanisation : 82 %
- PIB : 1787 Md\$
- PIB/hab : 50046 \$
- Emission GEZ : 485463 kT.eq.CO₂
- Emission GEZ/Hab : 14.1 T.eq.CO₂

Crédits Photographiques en bas de page²⁵

5.8.1 Introduction

Le Canada compte 35,7 millions d'habitants pour un PIB de 1 787 milliards de dollars.

5.8.1.1 Ressources et bio-économie :

- La superficie du territoire canadien représente plus de 9 millions de km², dont 34% de surface forestière (soit 10% de la surface forestière mondiale) et 7% de terres agricoles ;
- Le Canada a parmi les meilleures productivités agricoles, forestières et marines ;
- 25% de la forêt canadienne est considérée comme productrice de bois d'œuvre ;
- Le Canada était le 6^e producteur mondial de bois en 2000 ;
- La bio-économie représente 58 milliards de dollars, soit 6,4 % du PIB.

5.8.1.2 Enjeux environnementaux :

- Le Canada est le 7^e pays de l'OCDE en termes d'émissions de GES. Le secteur du bâtiment émettait en 2012 plus de 80 Mt équivalents CO₂ ;
- En excluant le transport et la transformation, le secteur du bâtiment participe à un tiers de la consommation énergétique du pays, utilise 50 % des ressources naturelles extraites, produit 25 % des déchets, 35 % des émissions de gaz à effet de serre et 10 % des composés organiques volatiles (COV) ;
- Le gouvernement a mis en œuvre un programme de rénovation visant à améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments entre 2007 et 2012.

²⁵Crédits photographiques : CANADA vancouver port & canada place BY MAZLAR HOOSHMAND - CC BY-NC-ND / Canada Forest IMG 5875 BY Luca Penati - CC BY-NC-ND / Canada Field BY tsalproject - CC BY

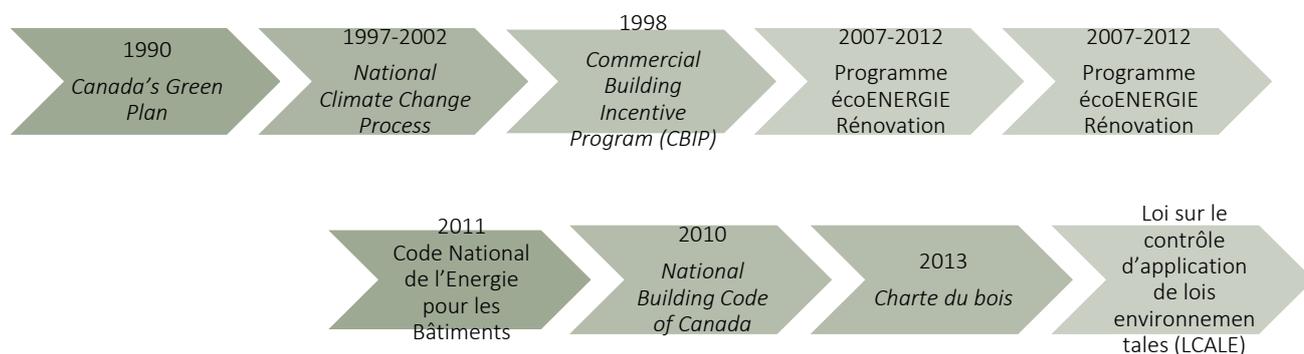
5.8.1.3 Secteur de la construction :

- Le secteur de la construction représente 9% du PIB du pays soit 171 milliards de dollars ;
- Avec plus de 300 000 entreprises, il regroupe 6 % des travailleurs du pays et a connu au cours de ces quatre dernières années une croissance de 3,2 % ;
- 189 000 mises en chantier ont été comptabilisées en 2014 dans le secteur résidentiel ;
- Le ministère des finances développe ce secteur en injectant des milliards de dollars canadiens pour stimuler une construction plus moderne et plus écologique ;
- Environ 4 % de l'industrie mondiale de la construction est représentée par le marché canadien, égalant de fait le marché français ou allemand. Mais, contrairement à ceux-ci, les entreprises dominant le marché canadien sont très petites.

5.8.1.4 Matériaux de construction :

- Le bois représente une part très importante de certains secteurs de la construction. Par exemple, au Québec, 98% des maisons individuelles ainsi que 20% des bâtiments non résidentiels sont construits en bois ;
- Le chiffre d'affaires des biomatériaux augmente annuellement de 14% ;
- L'Ouest canadien veut rapidement aménager 2 à 3 lieux de production de fibres biosourcées.

5.8.2 Chronologie des politiques publiques et de la réglementation



5.8.3 Les filières de matériaux de construction biosourcés

5.8.3.1 Bois :

Le bois est le matériau de construction naturel le plus utilisé au Canada, notamment pour les maisons à ossature bois, qui sont principalement construites à partir de panneaux de bois. Le bois d'œuvre provient essentiellement d'essences résineuses, dont 38 millions de m³ ont été sciés en 2011. Les scieries canadiennes ont bénéficié d'un accroissement de leurs exportations, en particulier vers la Chine, mais également vers les États-Unis dans le cadre d'un accord sur le bois d'œuvre résineux : le *Bi-National Softwood Lumber Coucun* (BSLC) qui permet d'assurer la promotion, la protection et la croissance du bois par rapport à l'acier, au béton, aux plastiques et aux matériaux composites. En tout, 151,7 millions d'hectares de forêts sont certifiés dans le pays, soit 72% des forêts exploitées pour le commerce du bois.

5.8.3.2 Produits connexes du bois :

Trois usines de fabrication de bois contrecollé-croisé sont présentes sur le territoire et cherchent à percer dans ce pays où le marché des maisons traditionnelles à ossature bois est mature. Les principaux débouchés actuels se trouvent dans des régions reculées, où la fabrication sur place est limitée par le climat, l'offre de matériaux et l'insuffisance d'ouvriers qualifiés (livraisons préfabriquées des constructions en bois contrecollé-croisé) mais aussi dans les régions sismiques, compte tenu des propriétés antisismiques du bois contrecollé-croisé. En 2011, la mise en chantier de logements a augmenté de 2,1% mais la demande de panneaux de bois a baissé de 0,2 % et leur exportation a reculé de 7%.

En 2011 au Canada, les productions de panneaux contreplaqués et de panneaux OSB s'élevaient respectivement à 2 millions et 4,7 millions de m³.

Sept usines de panneaux de particules et 5 usines de MDF étaient présentes sur le territoire, pour une production de 1,56 et 0,87 millions de m³.

5.8.3.3 Chanvre :

Depuis 1998 et la levée de l'interdiction de production dans le pays, la culture du chanvre a repris au Canada. Cette plante présente de nombreuses opportunités de développement, notamment dans la production écologique de papier, textiles, biocomposites et matériaux de construction durable.

2 700 hectares étaient cultivés en 2003 et 26 867 hectares avaient obtenu, en 2013, la licence permettant une mise en culture. Un hectare produit environ 800 kg de graines et 6 tonnes de paille pouvant ensuite être transformées en 1,5 tonne de fibres. Mais, même si un petit marché de la construction se met en place, les cultures sont en grande partie dédiées au marché alimentaire et plus particulièrement pour la production de « compléments alimentaires » visant le marché des États-Unis, voire de l'Europe.

5.8.3.4 Biocomposites à base de lin ou chanvre :

Les biocomposites à base de lin ou chanvre ont le potentiel de réduire les émissions de GES du Canada en réduisant le poids des matériaux (transport), la consommation d'énergie et l'utilisation d'intrants (pesticides/herbicides). Le Canada est le 1^{er} producteur mondial du lin oléagineux avec - en 2003 - 744 000 hectares pour une production de 754 000 tonnes de grain, et une exportation de 70% de sa production. Il existe donc une opportunité de valorisation des tiges du lin oléagineux dans le secteur de la construction.

5.8.3.5 Ouate de cellulose :

Fabriquée à partir de journaux recyclés, la ouate de cellulose est utilisée depuis plus de 50 ans au Canada et représente près de 80 % des isolants.

5.8.4 Innovation Technologique

- *The Wood Innovation Design Center* est un centre d'excellence rattaché à *the University of Northern British Columbia* dont les recherches sont principalement axées sur l'obtention de solutions permettant de construire de hauts immeubles en bois, économiques et répondant aux normes de sûreté. Le centre a reçu le prix de l'innovation en architecture décerné par *the Royal Architectural Institute of Canada* en 2015 ;
- Le centre propose 2 masters de recherche en relation avec le bois et ses utilisations en construction : un master de sciences appliquées et un master design du bois ;
- Un réseau d'acteurs canadiens experts en économie biosourcée a développé une feuille de route : *Innovation Roadmap on Bio-based Feedstocks, Fuels and Industrial Products : Capturing Canada's Natural Advantage* dont l'objectif est d'identifier les marchés présents et futurs de l'économie en biosourcés. Une des actions concerne la mise en place d'un Conseil de l'Industrie des Bioproduits.

5.8.5 Normes, Règlementations, Certifications

- *Natural Resource Canada* a développé un guide de notation (le *Energuide Rating System*) à destination des constructeurs pour les aider à évaluer l'efficacité énergétique des bâtiments ;
- La certification LEED Canada (Leadership in Energy and Environmental Design) est un système de reconnaissance de la performance écologique des bâtiments au travers de 136 critères ;
- *Green Globes* : système de certification en ligne de constructions mis en place dans les années 2000 avec le soutien de plusieurs services, le *Canadian Department of National Defense* et le *Public Work and Government Services*
- Le BSLC appuie les initiatives visant à renforcer l'acceptation du bois brut par les organismes de certification des constructions vertes ;
- Le BSLC parraine des programmes d'aide technique et de formation continue pour les architectes, ingénieurs, responsables du bâtiment (etc.) qui prennent des décisions sur les matériaux de construction ;
- La réglementation canadienne a aidé le secteur du chanvre à gagner en qualité et sécurité. Un comité de chercheurs a été créé pour assurer la viabilité de la filière.

5.8.6 Focus architecture

1.1.1.16 The Wood Innovation Design Center

Basé à Prince George dans une des principales régions de l'industrie forestière, le centre rattaché à l'UNBC, est une démonstration des usages innovants pouvant être réalisés avec le matériau bois. La construction, démarrée à l'hiver 2013 et terminée à l'automne 2014 a été particulièrement rapide pour un immeuble de 6 étages et de 5 000 m² de surface grâce à l'utilisation de panneaux de bois. Le bâtiment accueillera le centre de recherche sur les innovations dans le secteur du bois et deux masters d'enseignement dans le domaine du bois. Architecte : Michael Green Architecture Vancouver



Figure 109 : Canada, Wood innovation and design centre - MGA Architect

Figure 108 : Canada, Construction en bois ronds

1.1.1.15 Le Chalet de bois rond

Le Chalet de bois rond est l'habitation qui symbolise traditionnellement la cabane au Canada. Très répandu, notamment aujourd'hui avec l'essor du tourisme vert et la recherche des grands espaces canadiens par les touristes, ce système constructif trouve pourtant son origine en Scandinavie. L'habitation est constituée presque exclusivement de rondins de bois, assemblés aux quatre coins de la maison.

Les cabanes en bois rond étaient tout de même utilisées par les bûcherons canadiens comme habitation temporaire avant leur départ vers un autre chantier.

Crédits photographiques Figure 109 : Canada, Wood innovation and design centre - MGA Architect : <http://mg-architecture.ca/work/wood-innovation-design-center/>

Crédits photographiques Figure 108 : Canada, Construction en bois ronds : Canada Val Jabert BY Matthieu Dufourneaud - CC BY-NC-ND / Canada Greyowls cabin ajawaan lake BY Fremte - CC BY-SA-3.0 / Heritage Park Calgary BY Thank you for visiting my page - CC BY

5.8.7 Acteurs clés

- Environnement Canada
- Canadian Agri-Food Research Council
- BIOCAP Canada Foundation
- University of Saskatchewan
- University of Northern British Columbia (UNBC)
- Canada Green Building Council
- LEED (Leadership in Energy & Environmental design)
- Canadian Construction Materials Centre
- Canadian Commission on Building and Fire Codes (CCBFC)
- BSLC (Binational Softwood Lumber Council)
- Athena Sustainable Materials Institute
- IRC-CNRC (Institut de recherche en construction du Conseil national de l'énergie pour les bâtiments du Canada)
- Canadian Construction Research Board (Ed R. Cuytlits)
- Ecobâtiment
- iiSBE (international initiatives for the Sustainable Built Environment)
- CIMAC (Cellulose Insulation Manufacturers Association of Canada)

5.8.8 Bibliographie et webographie

- [Statistiques relatives à l'industrie canadienne \(Juillet 2015\)](#)
- [Centre de recherche sur les matériaux renouvelables \(2015\)](#)
- [Agriculture and agrifood Canada \(2015\)](#)
- [Perspective Monde, Statistiques \(2015\)](#)
- [Construforce Canada \(2015\)](#)
- [The Forest Products Association of Canada, Construction value Pathways \(2015\)](#)
- [The Wood Innovation and Design Centre, UNBC \(2015\)](#)
- [Canadian Hemp Trade Alliance \(2015\)](#)
- [Industrial hemp statistics \(2015\)](#)
- [Industrial Hemp Production \(2015\)](#)
- [Alberta Agriculture and Forestry, Industrial Hemp Production in Canada \(Juin 2012\)](#)
- Rapport d'inventaire national 1990-2012 : sources et puits de GES au Canada, soumission du gouvernement canadien à propos de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques
 - *Achieving sustainability of the Energy sector in Canada*, Mourougane A., documents de travail du Département des affaires économiques de l'OCDE, 2008
 - Etudes économiques de l'OCDE : Canada, OCDE, 2014
 - Revue annuelle du marché des produits forestiers 2011-2012, Nations Unies, 2012
 - Measuring the biobased economy: A Canadian perspective, W. Pellerin and D. Wayne Taylor, 2008
 - Opportunities and Challenges of a Bio-Based Economy for Agriculture and Food Research in Canada, Biocap Canada – Conseil de recherches agroalimentaires du Canada, 2003
 - Bio-based Feedstocks, Fuels and Industrial Products, BioProducts Canada, 2004
 - A Business Case for Green Buildings in Canada, Industry Canada – Morrison Hershfield, 2005
 - Construction de maison à ossature de bois – Canada, SCHL-CMHC, 2014
 - *Overview of the flaxseed sector in Manitoba*, Manitoba agriculture food and rural development, 2013
 - *Commercialization of bio-based spray foam*, CCEMC – Alberta Innovates Bio Solutions, 2014
 - Industrial Uses and Opportunities for Canadian Soybeans, Soy20/20, 2010

5.8.9 Atouts / Faiblesses / Opportunités / Risques

<p>ATOUTS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Forte disponibilité de la ressource bois et maturité de la filière • Large proportion de forêts certifiées • Développement de la ouate de cellulose pour l'isolation • Outils de certification des bâtiments • Implication des acteurs publics et privés • Multiplication des programmes de recherche • Proximité du marché des USA 	<p>FAIBLESSES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Forte dominance du bois • Petites entreprises
<p>OPPORTUNITES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Développement des produits connexes du bois (panneaux de bois, OSB, etc.) • Perspectives d'utilisation de la paille et du chanvre en tant que matériaux de construction • Volonté de développer une économie biosourcée 	<p>RISQUES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Faible diversification des matériaux biosourcés • Vulnérabilité de la filière aux parasites du bois

5.8.10 Radars Synthèses

Critères de notation : voir Radars synthèse des pays : Critères de notation page 162

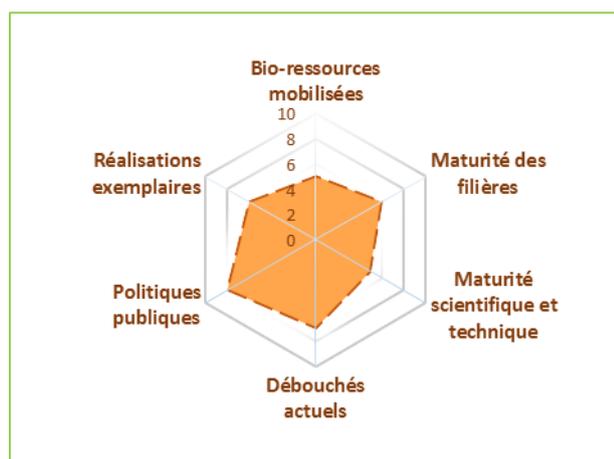


Figure 111: Canada - Synthèse situation actuelle



Figure 110 : Canada- Synthèse perspectives

5.8.11 Perspectives

Le secteur de la construction biosourcée s'est développé au Canada grâce à de nombreux investissements et réglementations de la part du gouvernement pour développer une construction plus moderne et plus verte. De fait, le secteur de la construction ainsi que celui des biomatériaux ont été en croissance sur les dernières années. La filière est principalement poussée par le bois, qui est le principal matériau biosourcé utilisé dans la construction au Canada, bien que des débouchés soient aujourd'hui envisageables pour les pailles (lin, chanvre) et les fibres végétales. L'utilisation croissante de ces matériaux est en adéquation avec la volonté du gouvernement canadien de réduire ses émissions de gaz à effet de serre ainsi que le poids des matériaux utilisés par la construction. Le gouvernement cherche également à développer la technologie utilisée pour augmenter la valeur ajoutée que le Canada peut apporter sur ses matières premières ainsi que l'efficacité de ses produits finis.

Le pays dispose de nombreuses ressources en biomasse ainsi que des terres non utilisées qui peuvent permettre le développement de ces filières. De même, une partie des déchets de biomasse provenant des industries (textiles, oléagineux) peuvent être récupérés par le secteur de la construction. Plusieurs régions ont un potentiel important de développement des bio-composites mais nécessitent des recherches plus poussées ainsi qu'un meilleur développement et une meilleure structuration de la filière pour diminuer les prix, augmenter la qualité et assurer l'approvisionnement et la viabilité des fibres. Le Canada a par exemple la possibilité de travailler conjointement avec l'Europe pour développer la qualité et le processus de transformation du lin et du chanvre.

Le gouvernement canadien s'est fixé comme objectif de rechercher des synergies entre les matières premières agricoles, forestières et marines ainsi qu'entre les fabricants, consommateurs et producteurs dans le but d'augmenter de 50 % la part de matériaux biosourcés provenant du Canada sur les marchés internationaux pour les matières premières comme pour les produits finis. Afin de permettre la réalisation de ces objectifs, le gouvernement a prévu d'augmenter le nombre d'usines de transformation sur son territoire.

Le pays est marqué par l'implication de nombreux acteurs dont l'intention est de pérenniser la filière bois étant donné les ressources forestières du pays et, d'autre part, de développer les filières des biomatériaux.

5.9 Colombie

La filière des matériaux biosourcés poussée par la dynamique des initiatives publiques et privées



Figure 112 : Carte Colombie - Données cartographiques ©2016 Google



- Superficie : 1109500 Km²
- Population : 48.3 M d'habitants
- Prévisions 2100 : 45 MHab
- Urbanisation : 76 %
- PIB : 378 Md\$
- PIB/hab : 7821 \$
- Emission GEZ : 72423 kT.eq.CO₂
- Emission GEZ/Hab : 1.5 T.eq.CO₂



Crédits Photographiques en bas de page²⁶

5.9.1 Introduction

La Colombie compte 46,2 millions d'habitants et devrait s'accroître de 80% d'ici 2020. En 2010, la population urbaine représentait les ¾ de la population colombienne. Son PIB est de 470,7 milliards de dollars.

5.9.1.1 Ressources et bio-économie :

- La surface forestière de la Colombie représente 54% de son territoire et les cultures agricoles couvrent 38% de sa superficie ;
- La Colombie est vulnérable face au changement climatique (inondations, tremblements de terre, glissements de terrain, etc.) ;
- Le pays est exposé à des contraintes climatiques variées (montagnes, Amazonie, côte Pacifique et côte Caraïbe), favorisant une diversification des ressources naturelles ;
- Il existe un savoir-faire constructif : la construction locale vernaculaire y est très présente.

5.9.1.2 Enjeux environnementaux :

- La Colombie s'est engagée à réduire de 7 % ses émissions par rapport à 2007 d'ici 2019 ;
- La construction est responsable de 20 % de la consommation d'eau, 25 % de la consommation de bois, 30-40% de la consommation énergétique et 40-50 % de l'utilisation de matériaux ;
- Les principales thématiques abordées par la politique environnementale sont l'efficacité énergétique, la gestion des déchets, la qualité de l'air intérieur, la durabilité et la gestion des risques. La question des matériaux devrait être abordée sous peu ;

²⁶ Crédits photographiques : COLOMBIA Bogotá BY ARIS GIONIS - CC BY-NC / COLOMBIA 'Rolling Hills', Bogota, Countryside BY CHRIS FORD - CC BY NC / COLOMBIA GUADUA BY CAROLINA ZULUAGA - CC BY-SA / COLOMBIA Jardin BY PEDRO SZEKELY - CC BY-SA

- Le *Green Building Code* prévoit une meilleure gestion des matériaux et déchets, et pourrait permettre de réduire de 24 % les émissions de GES dans le secteur du bâti ;
- La rénovation énergétique fait partie des priorités de la Colombie.

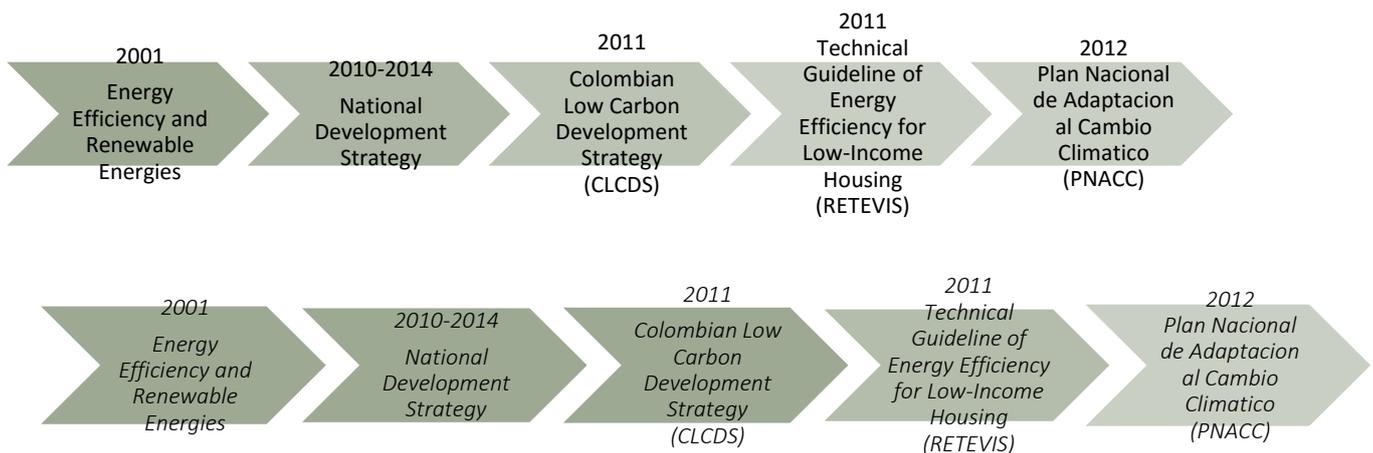
5.9.1.3 Secteur la construction :

- La construction représente 6,9% du PIB (3,7% pour les infrastructures et 3,2% pour les habitations) pour 1,2 millions d'emplois (5,8% des emplois du pays) ;
- Le secteur du bâtiment connaît une croissance de 10 à 17 % ces dernières années (également répartie entre les logements et les infrastructures publiques). Estimé à 28 600 millions de dollars en 2012, il devrait atteindre 51 700 millions de dollars en 2020 ;
- Afin de satisfaire la demande en logements, il faudrait construire 1,3 millions de logements supplémentaires. De plus, 2,5 millions de logements sont considérés comme insalubres ;
- Du fait du risque de tremblement de terre avéré dans le pays, les habitations sont construites de plain-pied ou sur un nombre d'étages réduit ;
- Une part significative du bâti, par nature difficilement mesurable, est réalisée en auto-construction et est donc peu documentée.

5.9.1.4 Matériaux de construction :

- Les matériaux représentent 16 % des émissions du secteur de la construction ;
- Au cours des 5 dernières années, la demande en matériaux a augmenté de 5,8 % et est principalement tirée par la construction qui représente 42 % de la production des matériaux ;
- L'exode rural tire la demande sur les constructions plus conventionnelles.

5.9.2 Chronologie des politiques publiques et de la réglementation



5.9.3 Les filières de matériaux de construction biosourcés

5.9.3.1 Bois :

En Colombie le bois n'est pas facilement mobilisable. Dans le secteur de la construction on lui préfère alors les fibres de sisal, le bambou ou les feuilles de palmier.

5.9.3.2 Bambou :

La *Guadua* (bambou géant), matériau traditionnel sujet à controverse (référence à la pauvreté, image négative dans le passé) a été interdit d'utilisation en Colombie selon le nouveau code de la construction, suite à 2 incendies. Mais sous l'impulsion des travaux et plaidoyers d'architectes, notamment Simon Vélez, la Colombie est devenue le 1^{er} pays au monde disposant d'un code de construction spécifique au bambou. En 2001, Ximena Londoño, botaniste colombien, a estimé que l'espèce *Guadua* était répartie sur 51 000 ha du territoire colombien (la moitié étant localisée sur les 4 régions du centre-ouest), dont 46 000 ha sont couverts par du bambou endémique et 5 000 ha par des plantations. La production moyenne du bambou étant de 31,5 tonnes/ha/an, 1,6 millions de tonnes de bambou sont produites par an en Colombie. La présence de plus de 56 espèces traduit une diversité interspécifique à l'échelle du pays. Les propriétés structurelles de la *Guadua* et sa capacité à absorber l'énergie lui permettent d'être utilisée pour ériger des constructions avant-gardistes.

5.9.3.3 Palmiers :

Les feuilles de palmiers sont utilisées pour la toiture de logements. Elles offrent une large protection de l'habitat contre la pluie et sont donc particulièrement employées dans les zones à climat humide. Cette technique traduit la persistance d'un savoir-faire constructif.

5.9.3.4 Mélange terre-fibre naturelle :

Des habitats sont conçus en terre mélangée à des fibres naturelles.

5.9.3.5 Déchets pneumatiques :

Sur les 5,3 millions de pneus jetés par an, soit 100 000 tonnes de caoutchouc, 35% sont recyclés. Le recyclage est réalisé par les fabricants, responsables selon la loi. Un des débouchés possibles de la valorisation des pneus est le secteur du bâti. Alexandra Posada, militante écologiste, a conçu des habitats à partir de pneus (environ 9000). Les propriétés techniques du pneu permettent d'absorber les vibrations sismiques et offrent une bonne isolation thermique. Ce projet alternatif permet de sensibiliser la population au réemploi des déchets.

5.9.3.6 Fibres de coton :

Les cultures sont majoritairement localisées sur les côtes. Si le coton est principalement utilisé dans l'industrie textile, il peut également être utilisé en tant qu'isolant.

5.9.4 Innovation Technologique

De nombreux centres de recherche ou groupes de réflexion colombiens travaillent actuellement sur les questions de construction durable, parmi eux :

- Le *Construction and Urban Development Regional Education Center* (CUDREC) a publié près de 400 études, notamment sur le secteur de la construction, les politiques de logement, etc. ;
- Le *Colombian Green Building Council* (CGBC) a créé un manuel à destination des autorités locales concernant la mise en place d'actions locales de développement durable et l'influence de variables telles que la taille de la population ou le changement climatique sur ce type d'actions ;
- Le *Centre National d'études sur le Bambou-Guadua*, dans le Quindio en Colombie, promeut la recherche et le développement de nouvelles technologies pour la production de *Guadua* et de bambou.

Plusieurs architectes colombiens célèbres sont impliqués dans des projets d'écoconstruction et l'utilisation de bambou dans la construction. Par exemple : Simón Vélez, Oscar Hidalgo Lopez et Marcello Villegas.

5.9.5 Normes, Règlementations, Certifications

La Colombie n'a pas encore instauré de normes techniques concernant l'écoconstruction mais :

- Le CCCS a développé un programme de formation et un système de prix national pour les projets de construction durable, dont un pour l'obtention du *LEED Green Associate* ;
- Le *Colombian Environmental Seal for Green Buildings* est un label promulgué par le ministère de l'Environnement et le CCCS, axé sur 4 thématiques (efficacité énergétique, gestion des déchets, qualité de l'air intérieure, durabilité) ;
- Le gouvernement colombien est en train d'élaborer le *Green Building Code* afin de mettre en place un cadre d'action établissant des normes sur l'efficacité énergétique des bâtiments, les économies d'eau, etc.

5.9.6 Focus architecture

LA BIBLIOTHEQUE PUBLIQUE DE GUANACAS

L'architecture du bâtiment est inédite et s'appuie sur du bambou local. Le bâtiment est légèrement ovale, et repose sur deux rangées de colonnes en bambou situées à l'intérieur ainsi que sur des colonnes extérieures. Ce système d'appui permet de créer un espace lacunaire à l'intérieur de la bibliothèque, où les lecteurs peuvent se réunir. D'autres matériaux biosourcés sont intégrés à la structure, notamment des feuilles de palme pour la toiture.

La bibliothèque a été construite en 2004 et l'architecte, Simón Hosie, a reçu le Prix National d'Architecture.



Figure 115 : COLOMBIA Biblioteque Guanacas BY Simon Hosie Architecte - DR



Figure 114 : Ciudad Perdida BY McKay SAVAGE - CC BY

LES MAISONS EN BAHAREQUE

La structure fondatrice du mur est composée de lattes de bambou et de poutres de bois espacées. L'intervalle est comblé par de la boue qui peut être mélangée à de la paille, des excréments de ruminants et de l'eau. Ces maisons traditionnelles sont encore répandues dans le centre de certaines villes colombiennes. Cependant elles n'offrent pas de résistance aux tremblements de terrain ou autres catastrophes naturelles.



Figure 113 : COLOMBIA Guadua construccion BY Carolina Zuluaga - CC BY NC



5.9.7 Acteurs clés

- Fundacion Tierra Viva
- Consejo Colombiano de Construccion Sostenible (CCCS)
- Colombia's National Bamboo Center
- Colombian Construction Chamber (CAMACOL)
- Institute of Building Innovation
- Ministry of Environment and Sustainable Development
- Ministry of Housing, City and Territory
- Sustainable Center for Innovation and Business

5.9.8 Bibliographie et webographie

- [FAO, World bamboo resources \(2005\)](#)
- [Fundacion Tierra Viva](#)
- [L'architecture et les maisons contemporaines \(Février 2014\)](#)
- [Columbia Green Building Council \(2014\)](#)
- [Green Building City Market Brief \(Août 2014\)](#)
- [Colombia transforms old tires into green housing \(Mars 2015\)](#)
- [Building Materials Investment in Colombia \(2015\)](#)
- [Populations du monde - Colombie \(2015\)](#)
- Environment & the Role of Innovation in Construction, Vasudevan R Kadalayil, 2014
- *Bamboo Building and Culture*, Darrel DeBoer & Karl Bareis, 2000
- State of Play of Sustainable Building in Latin America 2014, UNEP, 2014
- *World bamboo resources*, Global Forest Resources, 2005
- Colombian Environmental Seal for Sustainable Building and Construction Materials, Icontec internacional, 2013
- *Colombia Country Strategy 2013-2016*, Swiss Economic Cooperation and Development, 2013
- Colombia Rises, Along with its Sustainability Goals, Colombia Green Building Council, 2012
- Estrategia Colombiana de Desarrollo Bajo en Carbono, Ministère de l'Environnement colombien
- Colombia, Investment in Construction Materials, Procolombia, 2014
- Simplification of construction permit procedures and Development of the Green Building Code, International Finance Corporation

5.9.9 Atouts / Faiblesses / Opportunités / Risques

<p>ATOUTS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Diversité des matériaux biosourcés et prix abordables • Persistance d'un savoir-faire constructif avec les matériaux biosourcés 	<p>FAIBLESSES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Peu de contraintes réglementaires environnementales • Faible structuration de la filière des matériaux biosourcés à l'échelle industrielle
<p>OPPORTUNITES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Valorisation du bâti traditionnel et culturel • Export du savoir-faire vers des pays disposant de la ressource en bambou 	<p>RISQUES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Rythme de production du bambou trop faible • Auto-construction limitée (exode rural)

5.9.10 Radars Synthèses

Critères de notation : voir Radars synthèse des pays : Critères de notation page 162

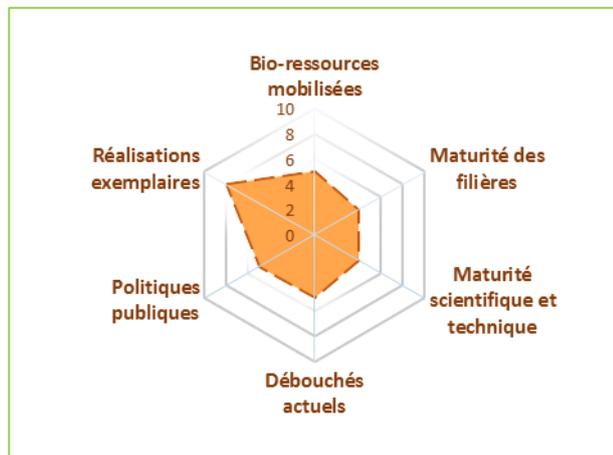


Figure 117: Colombie - Synthèse situation actuelle



Figure 116 : Colombie - Synthèse perspectives

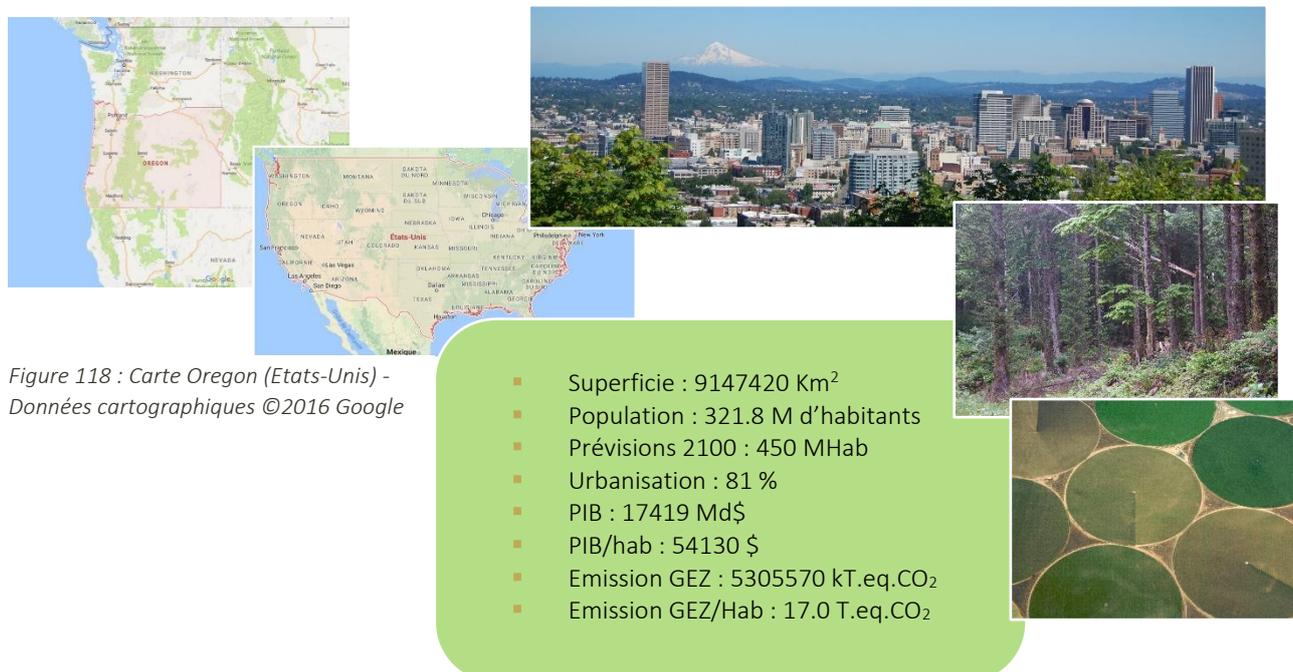
5.9.11 Perspectives

La Colombie bénéficie d'un savoir-faire constructif local. La *Guadua* figure parmi les matériaux biosourcés majoritairement utilisés dans la construction, et ses propriétés techniques l'amène à être souvent comparée à de l'« acier végétal ». Le bambou est par ailleurs de plus en plus intégré à des projets architecturaux innovants dans le bâti, notamment grâce à la dynamique créée par Simón Vélez. Néanmoins, les compétences colombiennes dans l'auto-construction et dans l'usage de matériaux biosourcés qui y est liée risquent d'être compromises par l'exode rural massif. Afin de contenir ce mouvement, le gouvernement a lancé des micro-projets ayant pour vocation la construction de villes nouvelles en bordure des grands centres urbains. Ces nouvelles constructions peuvent être des opportunités permettant de favoriser l'intégration de matériaux biosourcés aux bâtiments.

Le territoire colombien étant particulièrement exposé aux catastrophes naturelles (inondations, tremblements de terre, glissements de terrain, etc.), le gouvernement a développé plusieurs politiques pour la lutte contre le changement climatique, dont récemment le *Plan National d'Adaptation au Changement Climatique (2012)*. Dans cette lignée, la Colombie devrait bientôt mettre en place le *Green Building Code* qui a pour objectif de promouvoir l'efficacité énergétique, la préservation de l'eau, et l'utilisation de matériaux locaux, recyclés et écologiques dans la construction de bâtiments.

La Colombie est d'ailleurs considérée comme un pays pilote en Amérique Latine en termes d'initiatives visant à améliorer les conditions environnementales dans le pays.

5.10 Etats Unis d'Amérique, Oregon



Crédits Photographiques en bas de page²⁷

5.10.1 Introduction

Les Etats-Unis comptent 321 millions d'habitants pour un PIB de 17 419 milliards de dollars. L'Oregon est un Etat qui compte 3,8 millions d'habitants pour un PIB de 158,2 milliards de dollars.

L'Etat de l'Oregon est déjà hautement développé dans les secteurs des *Green Buildings* et des nanosciences.

5.10.1.1 Ressources et bio-économie :

- La bio-économie américaine représente 8,45 % du PIB. Elle est supérieure de 60% (en valeur) à la bio-économie canadienne ;
- L'agriculture est l'une des plus importantes industries du pays, avec une forte innovation due à la R&D. 45% des terres sont utilisées pour un usage agricole. En Oregon, cette proportion représente plus de 28% des terres ;
- La surface forestière représente 33% du territoire américain et 12 millions d'hectare en Oregon, soit près de la moitié de sa superficie ;
- L'économie de l'Oregon et de la ville de Portland est organisée autour de pôles (*clusters*). Les *Green Building* en sont un exemple ainsi que les *High Tech* dont les entreprises se concentrent dans la *Silicon Forest*.

²⁷ Crédits photographiques : Portland and Mt Hood BY Amateria1121 - CC BY-SA / Crop circles Umatilla Oregon BY Sam Beebe - CC BY / Oregon coast forest BY Sam Beebe - CC BY

5.10.1.2 Enjeux environnementaux :

- Les bâtiments (logements + infrastructures commerciales) sont responsables de 39 % des émissions de CO₂ des Etats-Unis et de 70 % de la consommation électrique du pays. Les émissions du secteur devraient augmenter de 1,8 % par an d'ici 2030 ;
- Plusieurs plans d'actions témoignent de la volonté des Etats-Unis de réduire leurs émissions de GES d'ici 2030 dont le *Climate Action Plan* et le *Building Code* ;
- La ville de Portland, regroupant plus de la moitié des habitants de l'Etat d'Oregon, a mis en place une stratégie de lutte contre le changement climatique dès 1993. L'objectif du *Portland Global Warming Reduction Strategy* est une réduction de 40% des émissions de CO₂ d'ici 2030 et de 80% d'ici 2050.

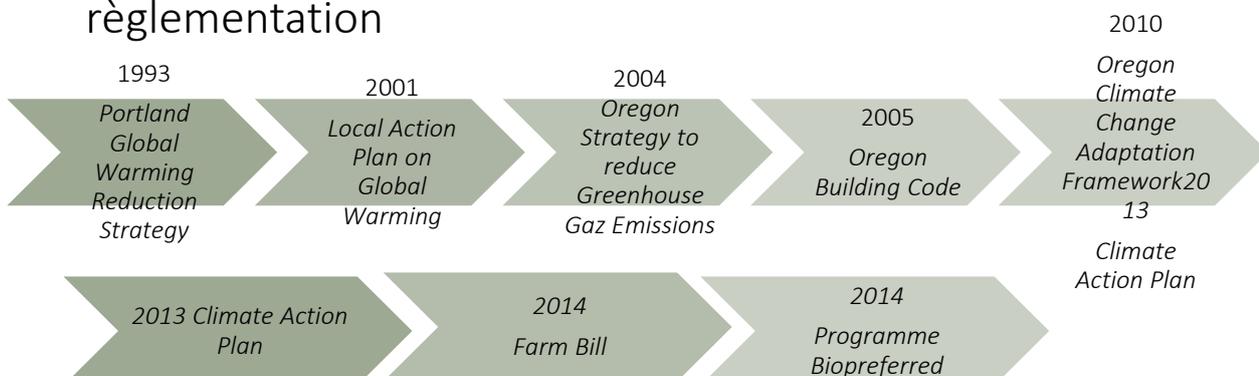
5.10.1.3 Secteur de la construction :

- Entre 2005 et 2015, 15 millions de bâtiments ont été construits ;
- L'Oregon a identifié les bâtiments durables comme une industrie à fort potentiel. Portland présentait d'ailleurs en 2007 le plus grand nombre de bâtiments certifiés LEED ;
- Certaines entreprises du secteur de la construction estimaient qu'en 2007, 15 à 20% des projets de construction commerciale à Portland incluaient des éléments d'éco-construction ;
- Une des perspectives du secteur des bâtiments durables en Oregon et à Portland est l'export des connaissances et du savoir-faire dans les autres Etats ou à l'international ;
- Bien que hautement développé, le secteur des *Green Building* est aussi extrêmement clivant du fait du coût élevé des constructions vertes ;

5.10.1.4 Matériaux de construction :

- Les habitations construites en acier et béton requièrent environ 17% d'énergie en plus que les habitations en ossature bois et leur empreinte carbone est de 26 à 31% plus élevée que celle des habitations en bois ;
- Le gouvernement a augmenté les subventions à l'attention des utilisateurs de matériaux recyclés ;
- 65% des matériaux de construction en bois sont destinés au marché de la construction résidentielle aux Etats-Unis ;
- Mis à part le bois, les matériaux de construction biosourcés ne sont pas encore perçus comme une catégorie de matériaux à part entière ;
- La recherche et les innovations concernant les matériaux de construction performants sont avancées, en lien avec le *cluster des Green Buildings*, mais peu portent sur les matériaux biosourcés ;
- Un des objectifs du *Programme Biopreferred*, reconduit dans le *Farm Bill 2014*, est d'accroître la production, l'achat et l'utilisation des produits biosourcés, dont les matériaux de construction.

5.10.2 Chronologie des politiques publiques et de la réglementation



5.10.3 Les filières de matériaux de construction biosourcés

5.10.3.1 Bois :

L'utilisation du bois pour l'ameublement ou la construction est écologique car environ 50 % du carbone puisé par l'arbre est stocké définitivement dans ces produits. La construction bois est très répandue aux Etats-Unis, traditionnellement du fait de la disponibilité de la ressource sur le territoire mais aussi pour des raisons techniques de légèreté du matériau, rapidité de mise en œuvre et résistance sismique. 95% des habitations individuelles des Etats-Unis sont construites en bois, et 97% présentent une ossature bois. En 2011, 284 millions de m³ de bois rond industriel ont été prélevés au Etats-Unis. En Oregon, plus de la moitié des habitants se sentent concernés par le fait que le changement climatique global puisse affecter les forêts de l'Etat, qui constituent un avantage économique naturel à la région.

5.10.3.2 Produits connexes du bois :

Les productions américaines de panneaux dérivés du bois (OSB et panneaux de particules) s'élevaient respectivement en 2011 à 8,9 et 4,1 millions de m³,

Le liège est utilisé dans certaines constructions aux Etats-Unis, mais l'approvisionnement se fait par importation car la production de liège se limite à 7 pays : le Portugal, l'Espagne, l'Algérie, le Maroc, la France, la Tunisie et l'Italie.

5.10.3.3 Ouate de cellulose :

La ouate de cellulose est utilisée en tant qu'isolant aux Etats-Unis depuis les années 1930. Malgré une baisse de son utilisation due à la concurrence des laines minérales, l'isolation par la ouate de cellulose représente 30% du marché des matériaux isolants aux Etats-Unis.

5.10.3.4 Paille :

L'utilisation de paille pour la construction a été remise au goût du jour aux Etats-Unis dans les années 1970 avec le développement des premiers *Green Buildings*. L'utilisation de paille permet de diminuer les émissions de carbone, de trois manières : en réduisant l'énergie dépensée pour la création du matériau, en abaissant le besoin en chauffage du fait d'une meilleure isolation et enfin, en stockant du carbone directement dans la paille. Aux Etats-Unis, le potentiel de développement de la paille en tant que matériau de construction est élevé car les déchets de paille du pays représentent 200 millions de tonnes par an.

5.10.3.5 Laine :

Des recherches menées par le *Oregon BEST Sustainable Built Environment Research Consortium* sont en cours afin de développer l'utilisation de laine dans les gaines électriques en remplacement des revêtements conventionnels (PVC, ignifugeants halogénés, etc.) posant des questions environnementales et de santé.

5.10.3.6 Matériaux de déconstruction et matériaux recyclés :

Le *Rebuilding Center Warehouse* à Portland est une initiative associative sociale et environnementale lancée par les habitants de la ville pour promouvoir la réutilisation des matériaux de construction. Les matériaux proviennent de 3 sources : ceux issus des encombrants et pouvant être encore utilisables, ceux récupérés lors du démantèlement de bâtiments par une équipe de déconstruction et ceux apportés par des particuliers qui sont examinés par les employés de l'entrepôt. Les matériaux sont ensuite exposés dans le magasin et revendus à moindre prix (50 à 90% inférieur au prix à l'état neuf). De telles initiatives seraient propices au développement des matériaux de construction biosourcés.

5.10.4 Innovation Technologique

- L'*Oregon BEST (Built Environment & Sustainable Technologies Center)* connecte les universités et les industries pour permettre l'application des recherches sur les bâtiments durables et les énergies renouvelables et la création de produits, services et emplois au sein de la bio-économie de l'Oregon ;
- Le *Green Building Research Lab* à l'université de *Portland State* réalise des recherches fondamentales et appliquées dans le secteur de l'industrie et des bâtiment durables ;

- La *Portland State University* est une des rares universités urbaines des Etats-Unis. Considérée comme modeste au niveau académique, elle est cependant reconnue pour ses recherches et travaux concernant le développement durable. Elle constitue d'ailleurs un des 5 quartiers éco-exemplaires de la ville de Portland ;
- Le *Twelve West Building* à Portland est le premier immeuble des Etats-Unis à avoir été labellisé selon la certification LEED Platinum. Malheureusement, bien que l'immeuble soit de haute performance écologique, il intègre peu de matériaux de constructions biosourcés (planchers en bambou).

5.10.5 Normes, Règlements, Certifications

- Le *Programme Biopreferred*, développé en 2014 aux Etats-Unis a pour objectif principal de favoriser la production, l'approvisionnement et l'utilisation des produits biosourcés, dont les matériaux de construction, sur le territoire américain.
- Le label LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) mis en place par le *Green Building Council* des Etats-Unis (USGBC) est un système de certification des bâtiments écologiques développé sur 7 critères (économies d'eau, qualité environnementale, innovation, conception etc.)
- La Certification *Energy Star* a été développée aux Etats-Unis depuis les années 1992 par l'EPA (*Environmental Protection Agency*). Initialement conçue pour distinguer les produits (ordinateurs, ampoules, etc.) respectant les normes environnementales, il s'étend depuis aux bâtiments et aux habitations individuelles ;
- La Certification *Living Building Challenge* est la norme de performance environnementale la plus rigoureuse du secteur de la construction et du bâtiment. Elle vise notamment l'objectif "Net Zéro" en matière de consommation d'eau et d'énergie.

5.10.6 Focus architecture

1.1.1.18 Hummingbird Wholesale

Le Hummingbird Wholesale est un commerce de produits alimentaires biologiques de gros implanté à Eugene, dans l'Oregon. La façade de l'entrepôt de plus de 3 000 m² a été réalisée en utilisant des bottes de paille et un enduit d'argile. Cette initiative a permis à l'entreprise de consolider sa politique de développement durable pour laquelle plusieurs distinctions lui avaient déjà été attribuées du fait de ses bonnes pratiques écologiques (livraisons par vélo, politique zéro déchets, réduction des dépenses énergétiques, etc.). Le chantier a été l'occasion de sensibiliser les constructeurs à l'utilisation de matériaux naturels pour la construction.



Figure 120 : Hummingbird Wholesale

1.1.1.17 Le quartier pavillonnaire de Richmond, Southeast Portland

Contrairement au *Downtown Portland* composé essentiellement d'immeubles et du centre d'affaires, le quartier de *Richmond* est structuré d'allées pavillonnaires. Les maisons sont construites, comme la majorité des résidences aux Etats-Unis, en ossature bois. Cette technique constructive consiste à ériger des parois en bois selon une trame régulière d'environ 60 cm. Celles-ci sont ensuite recouvertes de panneaux de bois et d'isolant. Un bardage extérieur en lames de bois horizontales, à l'américaine, est ensuite apposé en finition.



Figure 119 : Maisons ossatures bois - Portland Oregon

Crédits Photographiques ²⁸

²⁸ Crédits photographiques Figure 120 : *Hummingbird Wholesale* : <http://www.dayonedesign.org/portfolio/hummingbird-wholesale/> et <http://dev.ecobuilding.net/projects/hummingbird-wholesale/> - DR

5.10.7 Acteurs clés

- Climate Change Integration Group (CCIG)
- Advisory Group on Global Warming
- Environmental Protection Agency (EPA)
- The Forest and Wood Products Council (FWPC)
- Consortium for Research on Renewable Industrial Materials (CORRIM)
- Oregon Built Environment & Sustainable Technologies Center (BEST)
- The Oregon Economic and Community Development Department
- Oregon Department of Environmental Quality (DEQ)
- City Office of Sustainable Development
- Oregon Bio-Economy and Sustainable Technology
- Oregon State University – Department of Wood Science and Engineering
- Oregon Forest Resource Institute
- Portland State University

5.10.8 Bibliographie et webographie

- [Perspective monde, Statistiques, 2015](#)
- [Bioeconomy strategy across the Globe, Rural 21, 2014](#)
- [Oregon State Climate Change Initiative, Governor Theodore R. Kulongoski, 2009](#)
- [DLCD Farmland Protection Program, Oregon Department of Land Conservation and Development, 2007](#)
- [Living Building Challenge, Canada Green Building Council - Section du Québec, 2015](#)
- [Les systèmes LEED, éco habitation \(2015\)](#)
- Revue annuelle du marché des produits forestiers 2011-2012, Nations Unies, 2012
- National Bioeconomy Blueprint, The White House, 2012
- Measuring the biobased economy: A Canadian perspective, GEN Publishing Inc., 2008
- Buildings and Climate Change, U.S. Green Building Council, 2004
- The environmental performance of renewable building materials in the context of residential construction, Wood and Fiber Science, 2005
- Why build with Straw?, Carol Atkinson, 2010
- Materials Management and Climate Change, Saskia van Gendt, EPA, 2010
- Climate Change and Greenhouse Gases Reduction in Oregon, OAPA, 2014
- Living Building Challenge Materials Research Agenda, Oregon BEST, 2012
- Environmental Benefits of Wood Products, Oregon Forests Resources Institute, 2011
- Oregon Building Codes Division's Green Building Initiatives, Oregon government
- Portland's Green Building Cluster: Economic Trends and Impacts, Portland State University, 2007
- Rapport d'étude villes avant-gardistes et développement durable, Nomadéis et France Stratégie, 2014

Crédits photographiques *Figure 119 : Maisons ossatures bois - Portland Oregon* : Bradley House Portland Oregon BY Ian Poellet - CC BY-SA / Tunturi House Portland Oregon BY Werewombat - CC BY-SA / Seufert House Portland OR BY Sanfranman59 - CC BY-SA

5.10.9 Atouts / Faiblesses / Opportunités / Risques

<p>ATOUTS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Forte disponibilité de la ressource bois et maturité de la filière • Développement de la ouate de cellulose pour l'isolation • Outils de certification des bâtiments développés • Technologie avancée dans le secteur des <i>Green Buildings</i> • Implication des acteurs publics et privés dans la lutte contre le changement climatique • Sensibilité de la population vis-à-vis de l'environnement 	<p>FAIBLESSES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Forte dominance du bois • Manque de maturité de la filière des produits biosourcés
<p>OPPORTUNITES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Développement des produits connexes du bois (panneaux de bois, OSB, etc.) • Volonté du gouvernement de développer la filière des produits biosourcés (<i>Programme Biopreferred</i>) • Grands programmes d'aménagements urbains susceptibles de recourir aux matériaux biosourcés 	<p>RISQUES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Faible diversification des matériaux biosourcés • Concurrence d'autres types de matériaux recyclés (métaux, ...)

5.10.10 Radars Synthèses

Critères de notation : voir Radars synthèse des pays : Critères de notation page 162

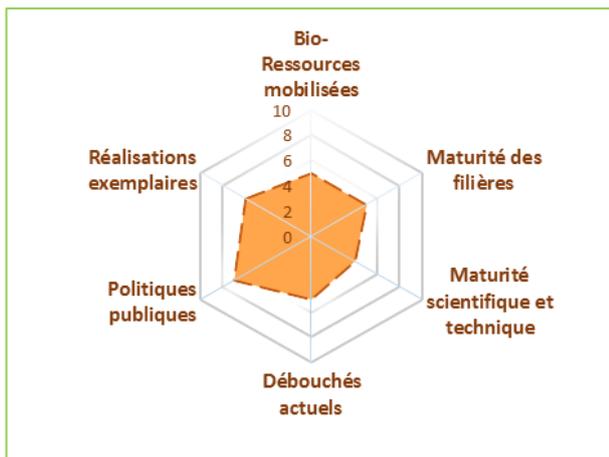


Figure 121: : Etats-Unis (Oregon)- Synthèse situation actuelle

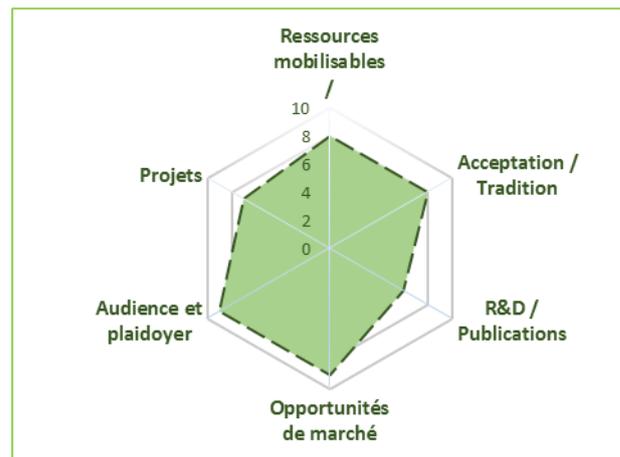


Figure 122 : Etats-Unis (Oregon)- Synthèse perspectives

5.10.11 Perspectives

Malgré la crise économique et la crise de l'immobilier qui ont impacté de façon notable l'économie des Etats-Unis, le secteur de la construction en Oregon reprend petit à petit sa croissance. L'Oregon a identifié les bâtiments durables comme une industrie à fort potentiel, en adéquation avec sa volonté de réduction des émissions de GES d'ici 2030. L'Etat a d'ailleurs été le premier des Etats-Unis à établir, en 1993, une stratégie de lutte contre le changement climatique. Il a lancé plusieurs plans de développement incluant le secteur de la construction durable, notamment au travers de son *Building Code* en 2005.

Mais en dépit d'un réel engouement de la population pour la protection de l'environnement et de l'essor du secteur des *Green Buildings*, la politique de développement des matériaux de constructions biosourcés en Oregon en est encore à ses balbutiements. En effet, à l'instar du *Twelve West Building* de Portland, le *cluster* des *Green Buildings* a essentiellement centré ses recherches sur l'efficacité énergétique des bâtiments et peu encore sur la provenance biosourcée des matériaux utilisés. Comme la plupart des Etats américains, le principal matériau de construction biosourcé reste le bois, qui est utilisé dans plus de 90% des habitations individuelles.

Néanmoins le potentiel de développement de la filière est élevé, d'une part du fait de la diversité des ressources mobilisables (bois, déchets de paille, matériaux recyclés, etc.) et d'autre part du fait de la volonté du pays de soutenir la filière biosourcée avec son *Programme Biopreferred* lancé en 2014.

Des opportunités de coopération internationale avec cet Etat peuvent être intéressantes à considérer étant donné leur avancée technologique dans le secteur des *Green Buildings*, et leur besoin de consolider le secteur des matériaux de construction biosourcés.

5.11 Royaume-Uni

Les matériaux biosourcés pour réduire l'empreinte carbone du bâti



Figure 123 : Carte Royaume-Uni - Données cartographiques ©2016 Google



- Superficie : 241930 Km²
- Population : 46.7 M d'habitants
- Prévisions 2100 : 82 MHab
- Urbanisation : 82 %
- PIB : 2942 Md\$
- PIB/hab : 45470 \$
- Emission GEZ : 448238 kT.eq.CO₂
- Emission GEZ/Hab : 7.1 T.eq.CO₂

Crédits Photographiques en bas de page²⁹

5.11.1 Introduction

Le Royaume-Uni compte 64,5 millions d'habitants pour un PIB de 2 942 milliards de dollars.

5.11.1.1 Ressources et bio-économie :

- Au Royaume-Uni, la nature des sols et les conditions climatiques sont favorables aux cultures agricoles qui représentent 71% du territoire. Le blé est la première culture (12,1 millions de tonnes en 2013) suivi de la betterave à sucre ;
- Le Royaume-Uni est le plus important éleveur de moutons à l'échelle européenne et est le 7^e producteur mondial de laine de mouton. 30% de la production est destinée à l'export ;
- Le Royaume-Uni possède 28 650 km² de forêt, ce qui représente 12 % de sa superficie ;
- Cette faible disponibilité de la ressource, conduit le Royaume-Uni à importer du bois. 90% du bois utilisé provient des forêts du Canada, de Russie et d'Europe du Nord. La traçabilité et la preuve de sa provenance de forêts en gestion durable restent ainsi difficiles à assurer.

²⁹ Crédits photographiques : London Panorama BY Davide D'Amico - CC BY-SA / Cotton Mill Ancoats Redhill Street BY Clem Rutter - CC BY-SA / Sheep BY Natural England - CC BY-NC-ND / England South Downs Way West of Alfriston BY JR P - CC BY-NC

5.11.1.2 Enjeux environnementaux :

- 43 % des émissions de CO₂ du Royaume-Uni proviennent des bâtiments dont 26 % des maisons et appartements et 17 % des autres bâtiments (hors logement) ;
- Dans le cadre de la loi sur le changement climatique (*Climate Change Act*), de nouvelles réglementations en termes de construction de logements seront mises en place. La mise en location de biens énergivores deviendra plus contraignante (classes F et G) ;
- Ainsi, dès 2016, les nouveaux logements seront construits selon la norme « zéro carbone ». A partir de 2019, des tests seront renforcés afin de vérifier la performance énergétique des logements ;
- Des aides, telles que « *The Green Deal* », permettent également de soutenir les particuliers dans des projets de rénovation énergétique ;
- Le Royaume-Uni est l'un des pays européens les plus engagés dans les politiques d'économie d'énergies.

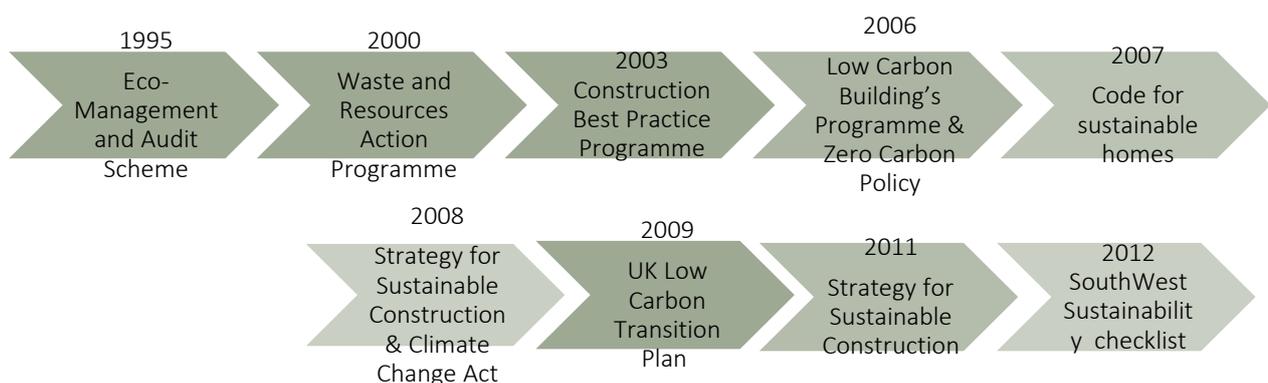
5.11.1.3 Secteur la construction :

- Le parc immobilier anglais est composé d'environ 25 millions de logements dont 70% de propriétaires occupants
- L'industrie et la construction représentent 20,4 % de la valeur ajoutée brute de l'économie pour 15,9 % de l'emploi ;
- Le secteur de la construction regroupe plus de 300 000 entreprises et représente 3 millions d'emplois ;
- En 2014, les 140 000 logements construits ne permettent pas de satisfaire la demande.

5.11.1.4 Matériaux de construction :

- 420 millions de tonnes de matériaux sont utilisés chaque année dans le secteur de la construction ;
- La filière construction utilise 90% de ressources minérales non-combustibles (pierre, sable, craie, argile, etc.);
- Les matériaux de construction représentent 19 % de l'empreinte écologique nationale et 23 % des émissions de GES. 6 % de l'énergie du Royaume-Uni est utilisée dans leur production et leur transport ;
- La production de déchets dans la construction représente 4 fois celle de l'ensemble des ménages.

5.11.2 Chronologie des politiques publiques et de la réglementation



5.11.3 Les filières de matériaux de construction biosourcés

Les investissements R&D dans le secteur de la construction incluant des matériaux partiellement biosourcés s'élevaient en 2014 à plus de 43 millions d'euros. Les principaux matériaux de construction biosourcés utilisés au Royaume-Uni sont le bois, la paille, le chanvre et la laine de mouton.

5.11.3.1 Bois et produits connexes :

Le bois est principalement utilisé en construction au Royaume-Uni avec 15 % de maisons individuelles intégrant une part significative de matériau bois.

5.11.3.2 Paille :

Le secteur du bâtiment est un débouché récurrent au Royaume-Uni pour ce matériau. Depuis le début des années 1980, de nombreuses recherches ont été menées sur les constructions à base de paille. Aujourd'hui, elles ont été développées à grande échelle grâce à l'utilisation de panneaux préconstruits. L'entreprise *ModCell* a été pionnière au Royaume-Uni sur le développement et la commercialisation de ces panneaux. Elle a misé sur un argumentaire logistique (protection du matériau, mise en œuvre) et de qualité. Les mélanges paille-argile et paille-chaux sont très présents.

5.11.3.3 Chanvre :

L'utilisation du chanvre comme matériau de construction a connu un intérêt croissant au Royaume-Uni pendant quelques années (2000 à 2010) en s'appuyant sur le savoir-faire français et sur les entreprises françaises. Cet intérêt a entraîné la mise en place de recherches (notamment à l'université de Bath) et la réalisation de bâtiments parfois emblématiques tel que les entrepôts du brasseur Adnams ou le magasin Marks and Spencer de Cheshire Oaks (voir 4.5.1 GRANDE-BRETAGNE : *Marks & Spencer Cheshire Oaks page 56*). Le développement a été considérablement ralenti par la dissolution de Hemcore Ltd qui avait construit une usine de défibrage dimensionnée pour être la plus importante d'Europe. En 2014 il ne restait que quelques dizaines d'hectare de chanvre au Royaume-Uni.

5.11.3.4 Laine de mouton :

Après l'industrie textile, la laine de mouton est principalement utilisée dans le secteur du bâtiment. Elle peut être utilisée en tant qu'isolant dans les bâtiments avec une efficacité isolante comparable. La laine rentre aussi dans la composition de revêtements de sol (moquettes).

5.11.3.5 Autres matériaux biosourcés :

Des mélanges de plusieurs matériaux biosourcés peuvent aussi être utilisés dans le secteur de la construction. C'est le cas du linoléum composé de 23% d'huile de lin, 30% de sciures de bois, et 25% d'autres matériaux d'origine végétale, ce qui en fait un matériau pratiquement 100% biosourcé.

5.11.4 Innovation Technologique

Plusieurs centres de recherche s'intéressent aux matériaux biosourcés, notamment :

- *The Bangor University et The Welsh Institute for the Natural Resources* qui sont fortement impliqués dans des solutions d'isolation biosourcées ou plus largement l'économie biosourcée ;
- *The BioComposites Centre* (rattaché à *The Bangor University*) conduit des études sur le développement et la commercialisation des matériaux biosourcés dans l'industrie ;
- *The University of Bath* teste des prototypes de construction réalisés à partir de matériaux biosourcés afin de comparer leur performance et d'initier de nouvelles innovations techniques ;
- Le *BRE* étudie les impacts sociaux, environnementaux et commerciaux issus de l'usage des matériaux biosourcés dans la construction.

Au Royaume-Uni, ces études sont principalement axées sur une meilleure compréhension des propriétés techniques des matériaux biosourcés, l'analyse du cycle de vie des matériaux, les enjeux liés à leur approvisionnement et la réduction des contraintes associées à leurs caractéristiques naturelles. L'objectif étant d'améliorer continuellement la performance technique et environnementale de ces matériaux dans la construction, en encadrant leur utilisation par les politiques adéquates.

5.11.5 Normes, Règlementations, Certifications

- Fabric Energy Efficiency Standard (norme)
- Zero Carbon Homes Standard (norme)
- BREEAM (Méthode de notation environnementale des bâtiments développée par le BRE)

5.11.6 Focus architecture

UNIVERSITE DE NOTTINGHAM – BATIMENT D'ENTREE

Le plus grand bâtiment du Royaume-Uni construit en paille est le bâtiment Gateway de l'Université de Nottingham. Ce bâtiment de 3100 m² construit par *Make Architects* utilise pour la première fois la paille comme système de bardage extérieur. Chaque panneau recouvre une partie de la façade du bâtiment sur toute sa hauteur en une pièce préfabriquée. La valeur U (coefficient de déperdition thermique) du bâtiment est de 0,135 W/m², ce qui est supérieur aux exigences inscrites dans la réglementation.



Figure 125 : Vet School Nottingham

LE COTTAGE AU TOIT DE CHAUME



La toiture du *cottage* britannique est conçue à partir de chaume (paille, carex, lin, roseaux, etc.). Les murs sont souvent constitués de briques d'argile, et d'une ossature bois. Lors de la révolution industrielle cette solution fut remplacée par l'ardoise dont le transport est facilité. Mais Raymond Unwin, urbaniste anglais, remet au goût du jour l'habitat vernaculaire (*cottage* chaumière) au début du XX^e siècle ce qui permet d'améliorer le confort de l'habitat des classes ouvrières.

Figure 124 : English cottages

Crédits photographiques : voir bas de page³⁰

³⁰ Crédits photographiques Figure 118 : Vet School Nottingham : Vet School Entrance Nottingham ©Make Architects DR / Vet School Entrance Nottingham BY Million Moments - CC BY-SA

Crédits photographiques Figure 117 : English cottages : half-timbered and thatched cottage Hamptworth _BY Jan Sutton_CC BY-NC-ND / Cameron Estate Inn BY Jhonajarboe - CC 0 / Cottage in Winchester Road, Wherwell_BY ANGUSKIRK_CC BY-NC-ND

5.11.7 Acteurs clés

- ASBP (The Alliance for Sustainable Building Products)
- Strategy for Sustainable Construction
- BRE (Building Research Establishment)
- Constructing Excellence
- CIRIA
- Environmental Agency
- Home Builders Federation
- UK Defra (Department of environment, food and rural affairs)

5.11.8 Bibliographie et webographie

- [University of Nottingham Gateway Building by Make \(Novembre 2011\)](#)
- [Sheep wool production \(2015\)](#)
- [Industrie, marchés et commerce \(Mars 2014\)](#)
- Bio-based Materials in Construction: development and impact of prototype test buildings BaleHaus and HemPod, University of Bath, 2012
- The use of bio-based materials to reduce the environmental impact of construction, Lawrence M., 2014
- Low THC Cannabis (Industrial Hemp) Licensing Factsheet, gouvernement du Royaume-Uni, 2014
- Updated estimates of UK Resource Use using Raw Material Equivalents, Department for Environment, Food and Rural Affairs, 2011
- The Impacts of Construction and the Built Environment, Willmott Dixon, 2010
- Renewable Energy and Sustainable Construction Study, Centre for Sustainable Energy, 2010
- United Kingdom Green Build Markets, Canada Plus, 2012
- *Construction sector overview in the UK*, European Information Service Centre, 2012
- Sustainable Construction: Simple ways to make it happen, BRE, 2008
- Building a Greener Future: policy statement, Communities and Local Government, 2007
- *Renewable materials in construction*, Pete Walker, University of Bath, 2007
- Research into Natural Bio-Based Insulation for Mainstream Construction, Bangor University, 2013
- Potential for research on Hemp Insulation in the UK Construction sector, The School of Computing, Information Technology and Engineering, 2010

5.11.9 Atouts / Faiblesses / Opportunités / Risques

<p>ATOUTS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Politique de recyclage des matériaux de construction • Capacité R&D et programmes dédiés aux matériaux biosourcés 	<p>FAIBLESSES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Disponibilité de la ressource • Importation du bois (traçabilité)
<p>OPPORTUNITES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Durcissement des exigences environnementales pour les logements en location • Norme « zéro carbone » (2016) • Levier de développement à travers le potentiel industriel 	<p>RISQUES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Concurrence de la paille construction / fourrage

5.11.10 Radars Synthèses

Critères de notation : voir Radars synthèse des pays : Critères de notation page 162

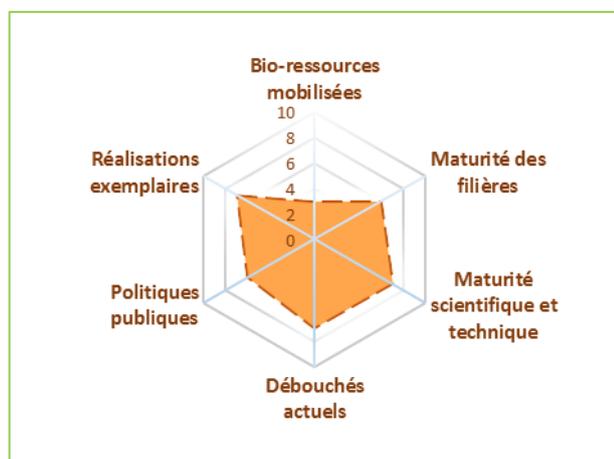


Figure 127: Royaume-Uni - Synthèse situation actuelle

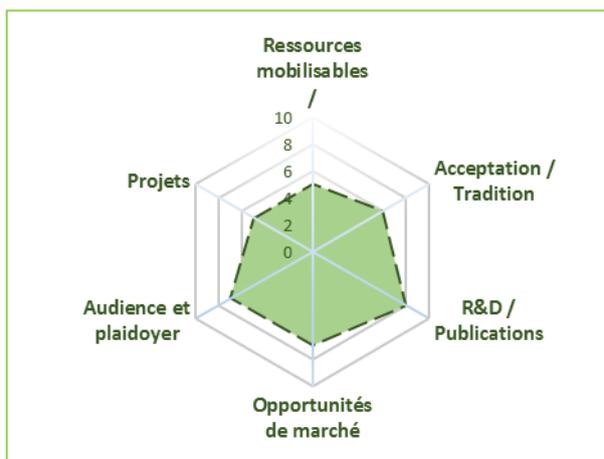


Figure 126 : Royaume-Uni - Synthèse perspectives

5.11.11 Perspectives

Suite aux défis climatiques que souhaite relever le Royaume-Uni, l'usage des matériaux biosourcés a été renforcé dans le secteur énergétique (en tant que biocarburants) et dans le secteur de la construction (en tant qu'isolants principalement). Le gouvernement britannique souhaite réduire les consommations énergétiques des usagers industriels et particuliers et augmenter la recyclabilité des déchets. Cette volonté politique est propice au développement de l'utilisation des matériaux biosourcés dont l'empreinte carbone est désormais reconnue inférieure aux matériaux de construction traditionnels. Par ailleurs, plusieurs centres de recherche conduisent des études afin de favoriser l'émergence de solutions novatrices s'appuyant sur de tels matériaux. Ces développements permettront notamment l'industrialisation de la production et la baisse des coûts de revient par économie d'échelle.

Toutefois, les prix élevés de certains de ces matériaux dissuadent des maîtres d'ouvrage de recourir à ce type de solutions pour leurs projets constructifs. De plus, les industriels ne semblent pas assez sensibilisés à ces nouvelles opportunités, l'approvisionnement peut être variable et incertain et des besoins de formations auprès des artisans se font ressentir.

5.12 France

Le potentiel export du pays de l'innovation et du savoir-faire biosourcé



Figure 128 : Carte France -
Données cartographiques ©2016
Google



- Superficie : 547561 Km²
- Population : 64.4 M d'habitants
- Prévisions 2100 : 76 MHab
- Urbanisation : 79 %
- PIB : 2829 Md\$
- PIB/hab : 43932 \$
- Emission GEZ : 338805 kT.eq.CO₂
- Emission GEZ/Hab : 5.2 T.eq.CO₂

Crédits Photographiques en bas de page³¹

5.12.1 Introduction

La France compte 64,5 millions d'habitants pour un PIB de 2,8 milliards de dollars.

5.12.1.1 Ressources et bio-économie :

- La surface agricole française représente encore aujourd'hui plus de 50% de la surface du territoire et la surface forestière 30% ;
- Les ressources forestières du pays le placent aux 3^e rang européen, la France disposant de 17 millions d'hectares répartis entre propriétaires essentiellement privés (75 % de la surface forestière) ;
- Bien que grande puissance agricole, l'agriculture ne représente que 1,7 % du PIB du pays et 3% de la population active en 2013-2014 ;
- La France est le premier pays exportateur de blé, de vins et spiritueux et de semences au monde, mais se place au 5^e rang des puissances exportatrices agricoles, derrière les États-Unis, l'Allemagne, les Pays-Bas et le Brésil ;
- La France a annoncé en avril 2015 au cours du *Plant Based Summit*, le congrès international dédié aux produits biosourcés, son intention d'établir une stratégie nationale de déploiement de la bio-économie (publication 2016) ;

³¹ Crédits photographiques : Paris BY Moyan Brenn - CC BY / France Beauce - Jaune au tracteur BY Riwan Erchard - CC BY-NC-ND / Forêt hiver ©M Boyeux

- En 2013, le Conseil Général de l'Alimentation, de l'Agriculture et des Espaces Ruraux (CGAAER) a estimé que l'équivalent de 4 à 6 millions d'hectares agricoles et forestiers pourraient être affectés à la production de bio-énergie, biomatériaux et chimie verte sans présenter de conséquences néfastes et de concurrence avec la production alimentaire ;
- Une étude réalisée par les Amis de la Terre dans le cadre du projet Terracrée a démontré que la disponibilité en paille et en granulats végétaux issus de résidus de culture est non limitante. Ces matériaux peuvent se substituer aux isolants conventionnels sans générer de tensions avec d'autres filières.

5.12.1.2 Enjeux environnementaux :

- Les émissions françaises de Gaz à Effet de Serre (GES) ont diminué de 11 % sur la période 1990-2013 ;
- La France est le 3^e plus grand consommateur de pesticides au monde derrière les Etats-Unis et le Japon, et le 1^{er} consommateur d'Europe avec plus de 110 000 tonnes utilisées par an ;
- Pourtant l'agriculture biologique est toujours en croissance avec 1 118 190 ha engagés en bio fin 2014 (soit 5,4 % de plus qu'en 2013), ce qui représente 4,14 % de la Surface Agricole Utile (SAU) française ;
- La France est un des pays d'Europe possédant la biodiversité la plus élevée. En effet, elle regroupe plus de 40% de la flore européenne et 75 % des types d'habitats identifiés comme prioritaires pour leur conservation en Europe sont présents en métropole ;
- Selon la liste rouge de l'IUCN, la France est le 4^e pays mondial en termes d'espèces animales menacées, et le 9^e pays mondial concernant les espèces végétales ;
- La capacité de stockage du CO₂ de l'ensemble des forêts métropolitaine a été estimée entre 450 et 550 tCO₂/ha en moyenne (1 m³ de bois permettant le stockage d'1 tonne de CO₂).

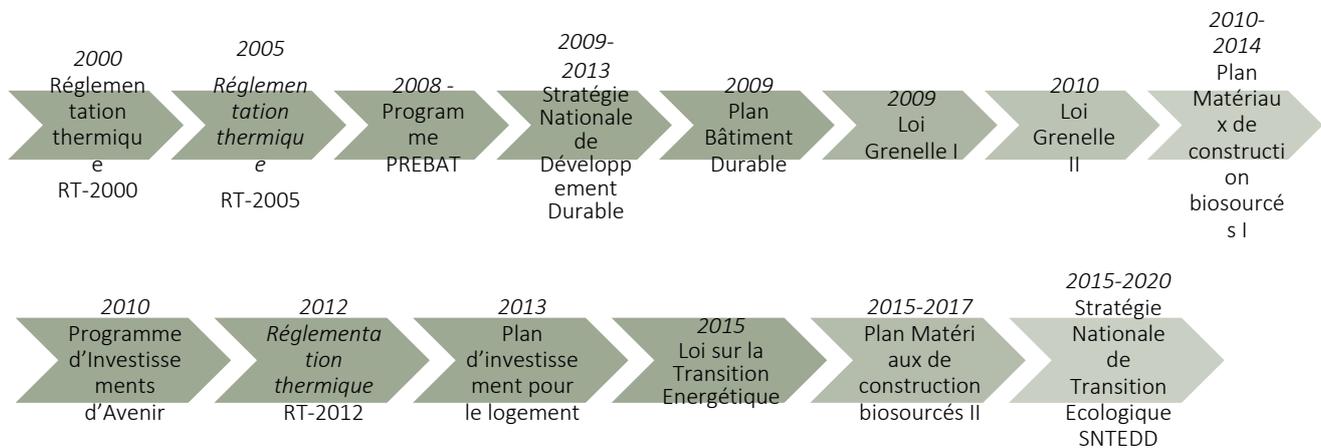
5.12.1.3 Secteur de la construction :

- Le secteur du bâtiment représente en France 382 000 entreprises, plus d'un million de salariés et une valeur ajoutée de 108,3 milliards d'euros en 2014, soit 5 % du PIB du pays ;
- Le marché européen du BTP est dominé par les entreprises françaises, 4 des 10 premières entreprises européennes étant françaises ;
- Le plan d'investissement pour le logement de 2013 a fixé les objectifs de construction de 500 000 logements par an et de rénovation de 500 000 logements par an d'ici à 2017 ;
- En région parisienne, pôle très urbanisé, le Schéma Directeur de la Région Île-de-France (SDRIF) et la loi « Grand Paris » ont prévu la construction de 70 000 logements par an entre 2005 et 2030 ;
- Le parc de logements francilien s'élève à 5,380 millions de logements, dont la majorité est située dans l'étiquette énergétique D ou E.

5.12.1.4 Matériaux de construction :

- Les matériaux de construction en France restent essentiellement conventionnels (ciments, laines de verre et de roche, bétons...) et sont portés par les grands industriels de la construction, malgré leur entrée dans le marché des biosourcés ;
- Le marché de l'isolation rapportée biosourcée (isolation par l'intérieur, isolation par l'extérieur), a été estimé en 2011 à 50 000 tonnes et représenterait environ 8% du marché français des produits d'isolation, pour un chiffre d'affaire compris entre 90 et 120 M€ ;
- Les produits d'isolation rapportée présentent depuis 2005 une croissance annuelle de plus de 35 % par an.
- Le Réseau Français de la Construction Paille (RFCP) estime que 10 % de la ressource en paille céréalière produite serait nécessaire pour construire 100 % des maisons individuelles, et 5 % pour construire l'ensemble des logements collectifs ;
- En région parisienne, le marché des isolants représente 5 millions de m³, partagé entre 75 % pour le neuf et 25 % pour la rénovation.

5.12.2 Chronologie des politiques publiques et de la réglementation



5.12.3 Les filières de matériaux de construction biosourcés

Les isolants représentent la majorité des matériaux biosourcés, bois d'œuvre exclus.

5.12.3.1 Bois :

La filière bois reste la filière biosourcée la plus développée et structurée en France. La production de bois s'élève à environ 50 millions de m³ par an répartis entre les trois principaux débouchés : 21,1 millions de m³ pour le bois d'œuvre, 14,2 millions de m³ pour le bois d'industrie (papeterie et panneaux de particules ou de fibres) et 4,5 millions de m³ pour le bois énergie.

D'après l'Observatoire national de la construction bois, la demande de construction bois sur le marché de la demande individuelle en France s'élève en moyenne à 12% en 2013. Le Sud-est (Languedoc-Roussillon et PACA) présente les demandes en construction bois les plus faibles avec respectivement 5,8 % des parts de marchés.

5.12.3.2 Composites et dérivés de bois :

L'usage de composites biosourcés se développe depuis une quinzaine d'années en France. Le NOVA Institute estime ainsi que le bois composite ou *Wood Plastic Composite* (WPC) devrait conserver une croissance soutenue de 10 à 17 % par an d'ici 2020. 5,5 millions de m³ de panneaux de particules à base de bois (panneaux, MDF et OSB) sont produits en France sur l'ensemble des 20 sites de production du pays, pour un chiffre d'affaire de 1,2 Md€. 40% de la production est exportée, et 40% de la production est destinée au secteur de la construction.

5.12.3.3 Chanvre :

Toutes les parties de la plante peuvent trouver une application dans le secteur de la construction : les fibres pour la laine isolante ou la production de matériaux composites, la chènevotte utilisée sous forme de granulats comme intrant principal du béton de chanvre (dont la production a été multipliée par 10 entre 2005 et 2012). La production représentait 11 600 ha en France en 2012, soit 75 % de la production européenne, répartie dans 25 bassins de production. Cette filière, pionnière dans le développement des matériaux biosourcés en France a du mal à porter une véritable croissance, mais aura permis à d'autres filières de bénéficier du savoir-faire acquis pour se développer, notamment en ce qui concerne les technologies d'utilisation de granulats végétaux dans les bétons.

5.12.3.4 Ouate de cellulose :

La ouate de cellulose est issue du recyclage de papier journaux, cartons, papiers recyclés ou coupes d'imprimerie. La production a connu un développement très rapide en France (de 5 000 à 45 000 t/an en 2012) en grande partie grâce à

des tarifs proches de ceux des isolants conventionnels en vrac (laine de verre). Ce développement a été freiné par des problèmes réglementaires qui ont entraîné une chute de la production et des restructurations de la filière (la capacité de production est estimée à environ 100 000 tonnes/an). Elle peut être utilisée en tant qu'isolant, en vrac ou sous forme de panneaux souples ou rouleaux. L'énergie grise (nécessaire à la fabrication, au transport et au traitement du matériau en fin de vie) est faible, entre 6 et 50 kWh/m³, contre 250 kWh/m³ pour un isolant « classique » en laine de verre.

5.12.3.5 Paille :

L'utilisation de paille dans le secteur de la construction remonte au début des années 1980 et connaît un succès grandissant. Aujourd'hui on estime entre 3 500 et 5 000 le nombre de réalisations, ce qui met la France très largement en tête des pays européens (250 constructions en Allemagne). Les bottes de paille peuvent directement être utilisées en tant que matériaux de remplissage pour les ossatures bois, comme panneaux de paille compressées ou en tant que « torchis » en réalisant des mélanges terre-paille. 1 tonne de paille permet la séquestration de 390 kgCO₂eq. La surface française de culture céréalière était de 7,5 millions d'ha en 2011, à laquelle s'ajoutent près de 20 000 ha de lavande et lavandin. Chaque hectare produisant en moyenne 3 tonnes de pailles, ce sont près de 22 millions de tonnes de pailles qui sont produits en France chaque année, dont 4 à 6 millions pourraient être mobilisés pour la construction - malgré certaines réticences du monde agricole, en particulier des éleveurs qui craignent une augmentation des prix.

5.12.3.6 Lin :

Les fibres de lin restent aujourd'hui essentiellement destinées à l'industrie textile (85 % d'entre elles) tandis que 10% sont utilisées en tant que revêtements muraux. De nouveaux débouchés apparaissent pour la filière dans les secteurs automobiles et du bâtiment notamment pour les cultures de lin oléagineux cultivées et dont les pailles ne sont que peu valorisées du fait de leur faible rendement à l'hectare (2 t/ha). Une partie de ces pailles entrent dans la composition de produits pour le bâtiment (laine, panneaux, sous couche de sols, etc.). La culture du lin permet le stockage du CO₂, y compris dans le matériau de construction, à hauteur de 16 TeqCO₂/ha. La surface de lin oléagineux se situe ces dernières années entre 12 000 et 15 000 ha.

5.12.3.7 Miscanthus :

Le miscanthus est aujourd'hui principalement valorisé comme biocombustible et connaît des difficultés à s'imposer du fait du faible coût de l'énergie. Les matériaux de construction à base de miscanthus sont encore en développement mais la plante possède un fort potentiel d'utilisation dans ces secteurs du fait de son haut rendement en paille (entre 10 et 20 t/ha). Des projets sont actuellement en cours pour promouvoir l'utilisation du miscanthus dans le secteur du bâtiment en particulier pour la confection de bétons végétaux.

5.12.4 Innovation Technologique

- Le projet « *Biomass for the Future* » a été élu projet lauréat des Investissements d'Avenir 2012. Il vise à effectuer des recherches génétiques sur le miscanthus et ses applications industrielles, dans le but de mettre en place 4 filières de valorisation du miscanthus sur le territoire pilote d'Île-de-France : matériaux de construction biosourcés, bioplastiques, énergie et méthanisation ;
- Les filières françaises du bois et des matériaux de construction biosourcés se tournent de plus en plus aujourd'hui vers la préfabrication et la construction modulaire. L'entreprise Modulem a obtenu le prix de l'Innovation des Maires et des Collectivités pour sa maison modulaire de 260 m² en béton de chanvre ;
- De nombreuses avancées sont réalisées concernant la compréhension du fonctionnement hygrothermique des matériaux, notamment sur l'importance du phénomène physique de changement de phase ;
- Les laboratoires de recherche français sont particulièrement dynamiques sur le sujet des matériaux de construction biosourcés. Plus de la moitié des articles scientifiques publiés entre 2012 et 2015 provenaient de laboratoires français et la première conférence scientifique internationale a été organisée à Clermont-Ferrand en 2015 et sera reconduite en 2017 ;
- Cette dynamique scientifique est malheureusement peu relayée vers les entreprises en grande partie par manque d'outils de transferts de technologie.

5.12.5 Normes, Règlements, Certifications

- **La réglementation thermique (RT)** est l'un des moteurs essentiels de la transition énergétique. La progression des exigences entre les RT successives a fait évoluer la performance énergétique des bâtiments mais a également entraîné le passage d'une obligation de moyens (RT 2000 et RT 2005) à une obligation de résultats (RT 2012). La réglementation en préparation (RBR 2020 pour « Règlementation Bâtiment Responsable 2020 ») a l'ambition de ne plus se limiter aux seuls critères énergétiques liés au fonctionnement du bâtiment et de passer de la performance énergétique à la performance environnementale avec une approche globale basée sur l'analyse du cycle de vie – dont l'énergie grise, les impacts sur le climat et la renouvelabilité, critères pour lesquels les matériaux biosourcés peuvent apporter des réponses. D'autre part, un décret définissant les bâtiments à énergie positive et à haute performance environnementale est en cours de préparation. L'utilisation des matériaux biosourcés fait partie des critères proposés.
- **Les labels nationaux** préfigurent généralement les réglementations – par exemple le label BBC (Bâtiment basse consommation) a préfiguré la RT 2012. Si un label national sur la performance environnementales est attendu pour 2018, le label « Bâtiment biosourcé » mis en place en 2012 permet de promouvoir l'usage d'une certaine quantité de matériaux de construction biosourcés dans les bâtiments.
- **Le label Bâtiment Bas Carbone (BBCA)**, porté par l'association du même nom est apparu fin 2015 pour entrer en fonctionnement en 2016. Il s'appuie sur une approche globale du bâtiment en termes de gaz à effet de serre et prend en compte directement l'utilisation de matériaux biosourcés ;
- **Les démarches de normalisation** se situent au niveau de la Communauté européenne où le processus de normalisation est en cours, notamment en ce qui concerne les définitions, démarche essentiellement portée par le secteur de la chimie verte. Pour le bâtiment, les filières étant peu organisées, les travaux de normalisation progressent très lentement.
- **Les fiches de déclaration environnementale et sanitaires (FDES)** qui fournissent les données permettant de calculer les impacts des bâtiments prennent en compte un « bilan carbone » mais ne valorisent pas l'intérêt de stocker sur de longues périodes du carbone ; elles sont donc peu favorables aux matériaux biosourcés.

5.12.6 Focus architecture

COLLEGE ALIENOR D'AQUITAINE - BORDEAUX

Livré en 2011, cet établissement scolaire important (800 élèves, 7 184 m² SHON) s'inscrit dans la démarche de développement durable du Conseil général de la Gironde (Agenda 21). Parmi les enjeux majeurs à respecter figurait notamment le recours à des matériaux en cohérence avec les objectifs de développement durable.

Le parti architectural, en rupture avec la représentation habituelle des bâtiments « haute qualité environnementale », requérait une plastique adoucie, lisse et blanche. Les architectes, secondés par un bureau d'études HQE, ont fait le choix d'une isolation par l'extérieur en laine de bois recouverte d'un enduit, système qui leur a laissé toute liberté pour réaliser les finitions souhaitées.



MAISONS TRADITIONNELLES EN COLOMBAGES



Système constructif traditionnel, les colombages ont été utilisés dans de nombreuses régions de France. Ils sont particulièrement répandus en Alsace, en Champagne ou en Normandie et de nombreuses constructions datant du XIV^e siècle sont encore en usage.

Le remplissage entre colombages était couramment du torchis, un mélange de terre crue et de paille.

Si certains artisans utilisent encore cette technique lors de rénovation, le recours à des bétons végétaux – en particulier à base de chanvre – se généralise. Ces matériaux peuvent être mis en œuvre par projection, leurs caractéristiques thermiques étant suffisantes pour assurer les performances énergétiques attendues et leur porosité permettant de préserver le bois.

Figure 130 : Bordeaux Collège Aliénor d'Aquitaine - DR

Figure 129 : Colombages ©BBoyeux

5.12.7 Acteurs clés

- ADEME – Agence de l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie
- BNBA – Bureau de Normalisation du Bois et de l'Ameublement
- CNDB – Comité National pour le Développement du Bois
- CGAAER – Conseil Général de l'agriculture, de l'Alimentation et des Espaces Ruraux
- DHUP – Direction de l'Habitat, de l'Urbanisme et des Paysages
- DREAL – Directions Régionales de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
- ENSTIB – Ecole Nationale Supérieure des Technologies et Industries du Bois
- ENTPE – Ecole Nationale des Travaux Publics d'Etat
- FCBA – Institut Technologique Forêt Cellulose Bois-Construction Ameublement
- FNPC – Fédération Nationale des Producteurs de Chanvre
- INRA – Institut National de la Recherche Agronomique
- MEEM : Ministère de l'environnement, de l'énergie et de la mer
- MINES Paristech
- MLHD : Ministère du logement et de l'habitat durable
- Polytech Clermont

5.12.8 Bibliographie et webographie

- [Valeur ajoutée par branche d'activité en 2014, INSEE, 2014](#)
- [Mémento de la statistique agricole, Agreste, 2015](#)
- [Chiffres de la bio en France en 2014, Agence Française pour le Développement et la Promotion de l'Agriculture Biologique, 2015](#)
- [La qualité de l'eau et assainissement en France - Annexe 45 : Données statistiques sur les pesticides, Sénat, 2016](#)
- [Les grands groupes de BTP français toujours dans le top 10 européen, Batiactu, 2014](#)
- [Vegetal\(e\) le portail des matériaux biosourcés, Vegetal-e, 2016](#)
- [Union des Industries des Panneaux de Process - Présentation, UIPP, \(2015\)](#)
- Chiffres clés du climat France et Monde Edition 2016, Service de l'observation et des statistiques – MEDDE, 2015
- La France, deuxième puissance agricole, Jean-Baptiste Noé, 2011
- Le bâtiment en chiffres 2014, FFB, 2015
- Plan Bâtiment Durable – Rapport du groupe de travail « Bâtiment et biodiversité », Ingrid Nappi-choulet, Yves Dieulesaint & Thibaud Gagneux, 2015
- Objectif 500 000, Rapport du groupe de travail 4 – Développer des matériaux innovants et inventer de nouvelles façons de construire et rénover, Alain Maugard, 2014
- Les filières franciliennes des matériaux et produits bio-sourcés pour la construction, ARENE Île -de-France, 2014
- Matériaux de construction : retour aux (bio)resourcés – Panorama et perspectives de l'utilisation des matériaux de construction biosourcés dans le monde, CREE, 2015
- Benchmark international des dispositifs de soutien aux produits biosourcés et applicabilité à la France, Nomadéis & BIO by Deloitte, 2015
- Matériaux de construction biosourcés, enquête sur les perceptions, pratiques et attentes des entreprises artisanales, Nomadéis, 2014
- Marchés actuels des produits biosourcés et évolutions à horizons 2020 et 2030, Ademe, 2015
- Identification des gisements et valorisation des matériaux biosourcés en fin de vie en France, Ademe, 2014
- Etude sur le secteur et les filières de production des matériaux biosourcés en fin de vie en France, MEDDE, 2012
- Wood-Plastic Composites (WPC) and Natural Fibre Composites (NFC) : European and Global Markets 2012 and Future Trends, Nova Institute, 2014
- Site du Ministère de l'environnement : <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Produits-de-construction-et.html>

5.12.9 Atouts / Faiblesses / Opportunités / Risques

<p>ATOUTS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dynamisme de la R&D • Dynamisme des pouvoirs publics • Disponibilité et diversité des ressources agricoles et forestières • Non concurrence actuelle des matériaux de construction biosourcés avec les productions alimentaires • Majorité des matériaux couverts par des évaluations et des documents techniques 	<p>FAIBLESSES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Absence d'accompagnement financier (incitatifs) • Absence de transfert de technologie entre les secteurs de la R&D et de l'Industrie • Concurrence avec la filière biomasse-énergie • Fréquente méconnaissance des matériaux biosourcés de la part de la maîtrise d'ouvrage publique et privée
<p>OPPORTUNITES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mise en place de nouvelles filières grâce à l'expérience acquise avec le développement de la filière chanvre • Hébergement de la COP21 par la France et promotion de démarches de développement durable • Multiplicité et complémentarité des filières existantes (ex : ossature bois + isolation biosourcée) • Politique carbone 	<p>RISQUES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Valorisation des acquis scientifiques par des pays en mesure d'accompagner le développement industriel et économique • Concurrence possible avec les usages alimentaires et agricoles si développement important de certains produits (paille et miscanthus)

5.12.10 Radars Synthèses

Critères de notation : voir Radars synthèse des pays : Critères de notation page 162

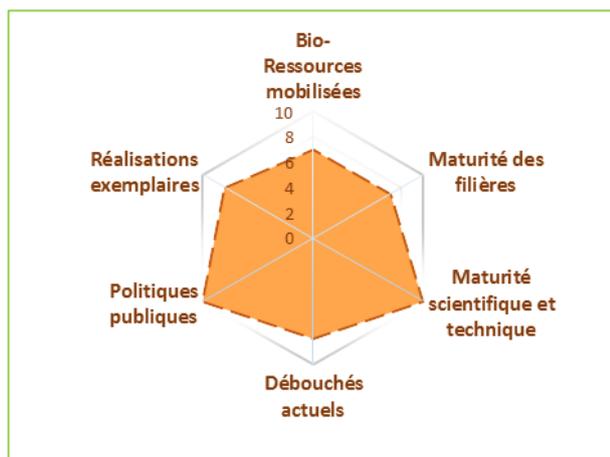


Figure 132 : France - Synthèse situation actuelle

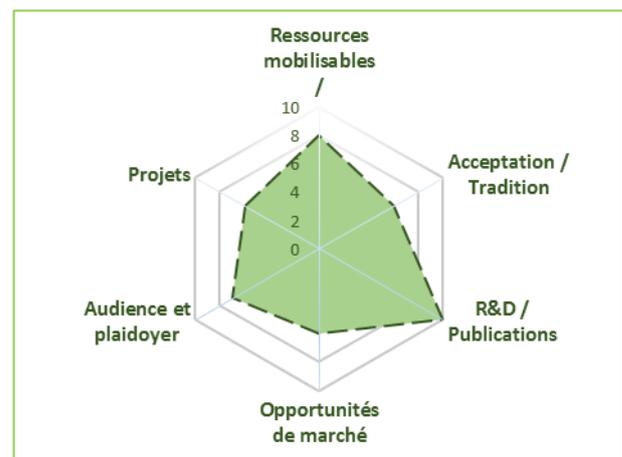


Figure 131 : France - Synthèse perspectives

5.12.11 Perspectives

Le contexte politique et réglementaire actuel offre de réelles perspectives de développement à l'utilisation des matériaux biosourcés en France, tant pour la construction neuve que pour la rénovation énergétique de l'habitat. L'entrée en vigueur de la Réglementation Thermique 2012, qui a consacré les Bâtiments Basse Consommation dans la construction neuve et le lancement récent du Plan de Rénovation Énergétique de l'Habitat, qui vise à accompagner les particuliers dans leurs travaux de rénovation sont autant de signaux positifs au développement de la filière. Pourtant, certaines initiatives, bien qu'ambitieuses, peinent à démarrer (label biosourcé, etc.).

Néanmoins, la mise en place prochaine de la nouvelle réglementation thermique, la RBR 2020, intégrant de nouvelles caractéristiques de performance environnementale du bâtiment ainsi que des calculs sur les énergies grises des matériaux employés représente une opportunité pour les filières de matériaux à faible impact environnemental, dont la filière biosourcée.

Enfin, les études relatives à la concurrence d'usage des terres réalisées par les Amis de la Terre ou bien encore le RFCP démontrent bien qu'en France, l'utilisation de coproduits de l'agriculture pour l'industrie des matériaux de construction (notamment les isolants) est non limitante et ne devrait pas générer de tensions sur d'autres filières.

5.13 Suède

Des politiques incitatrices porteuses d'avenir pour les matériaux de construction biosourcés



Figure 133 : Carte Suède - Données cartographiques ©2016 Google



- Superficie : 407340 Km²
- Population : 9,8 M d'habitants
- Prévisions 2100 : 14,5 MHab
- Urbanisation : 86% %
- PIB : 571 Md\$
- PIB/hab : 58224 \$
- Emission GEZ : 52145 kT.eq.CO₂
- Emission GEZ/Hab. : 5,5 T.eq.CO₂



Crédits Photographiques en bas de page³²

5.13.1 Introduction

La Suède compte 9,8 millions d'habitants pour un PIB de 571 milliards de dollars.

5.13.1.1 Ressources et bio-économie :

- En Suède, les conditions climatiques difficiles freinent le développement d'une agriculture compétitive mais sont favorables à la sylviculture. La surface forestière représente 69% du territoire.
- Les cinq secteurs prioritaires du pays pour le développement de sa bio-économie sont la forêt, la chimie, le textile, l'énergie et la construction ;
- Le secteur de l'industrie forestière représente à lui seul 60 000 emplois soit 10% de l'emploi total ;
- Les deux autres secteurs les plus compétitifs de la bio-économie suédoise sont la chimie (34 000 emplois) et le textile (7 000 emplois) ;
- La Suède est le 2^e exportateur mondial de produits issus de l'industrie forestière et sa balance commerciale est excédentaire.

5.13.1.2 Enjeux environnementaux :

- Les ménages utilisent 22,8 % de l'énergie consommée par le pays ;
- 60 % de l'activité de construction concerne la rénovation pour atteindre les objectifs énergétiques Europe 2020
- En 2009, 50% des habitations individuelles étaient déjà équipées de pompes à chaleur ;

³² Crédits photographiques : Stockholm Panorama BY Jordi E - CC BY-NC-ND / Suede Svinesund bridge BY Michael Katz - CC BY-NC-ND / Suede Schwedens Wälder. Hagfors BY - CC BY-NC-ND

- Une taxe sur le gravier a été promulguée en 1994 dans le but de favoriser l'utilisation de roches concassées et des matériaux recyclés.

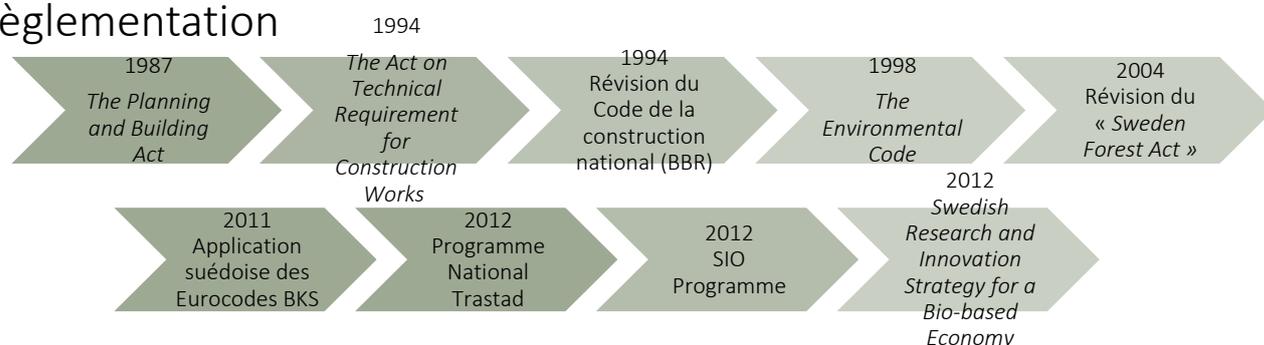
5.13.1.3 Secteur de la construction :

- L'industrie et la construction représentent 20,8 % de l'emploi ;
- Le secteur de la construction représente à lui seul 10 % du PIB suédois ;
- 60 000 compagnies sont présentes dans le secteur de la construction. L'emploi de ce secteur a augmenté de 23 % entre 2004 et 2008 pour atteindre 450 000 emplois en 2011 ;
- L'éco-construction regroupe en Suède plus de 700 consultants, entrepreneurs et fournisseurs de matériel.

5.13.1.4 Matériaux de construction :

- Le bois est traditionnellement ancré dans le secteur de la construction suédoise, ce qui s'explique par l'abondance de la ressource sur le territoire et par la culture scandinave du bois ;
- En Suède, la part de marché des bâtiments en construction bois par rapport aux autres procédés de construction représente 10 à 15% et 90% des maisons individuelles suédoises sont construites en bois ;
- La part du bois sur le marché des habitations collectives à plusieurs étages est aujourd'hui de 15% et devrait atteindre 30% d'ici 2020.
- Le secteur de la construction en Suède génère 10,23 millions de tonnes de déchets par an, contre 85,65 pour la France ;
- La Suède a mis en place des recommandations concernant l'utilisation des déchets dans la construction, mais il n'existe pas de valeurs limites fixées par la loi.

5.13.2 Chronologie des politiques publiques et de la réglementation



5.13.3 Les filières de matériaux de construction biosourcés

5.13.3.1 Bois :

En Suède, le bois occupe une place prépondérante. 50% de la forêt suédoise est détenue par des particuliers, 25% par des entreprises privées et 25% par l'Etat et d'autres entités publiques. 25% de la surface forestière est protégée par diverses initiatives (parcs naturels et réserves, loi sur la forêt, etc.) contre l'exploitation forestière. Les essences présentes sont majoritairement résineuses comme l'épicéa ou le pin. L'expertise technique d'exploitation suédoise, accompagnée par la modernisation des scieries, offre une grande capacité de débit de découpe du bois. De plus, l'existence de normes favorisant la standardisation des produits de la première transformation, permet d'augmenter le rendement et donc la compétitivité des scieries suédoises. En outre, la Suède conçoit des systèmes constructifs innovants et performants.

Les habitations sont principalement des maisons de type ossature bois traditionnelles. Depuis 1994, l'utilisation du matériau bois n'est plus limitée pour les établissements à plusieurs étages recevant du public.

Les constructions en rondins ou madriers y sont aussi particulièrement développées. La technique de construction ossature plate-forme qui s'inspire de la méthode à colombage en bois courts (l'ossature ne fait qu'un étage dont le plancher sert de plateforme pour la construction de l'étage suivant), et des maisons fabriquées selon le modèle « ballon frame » (les pièces de bois sont de faible section et les montants sont très rapprochés) sont également répandues. En outre, les systèmes constructifs de modules tridimensionnels préfabriqués en bois sont des produits avancés en Suède. LINDBÄCKS

est une entreprise pionnière qui a construit en 1994 les premiers immeubles d'habitation de plusieurs étages en Suède à l'aide de cette technique.

Enfin, il existe des projets de construction bois tel que *Wooden Cities* (en cours de réalisation et crée en 2012) ou Trästad (d'ici 2020), qui visent à développer des solutions techniques de la construction en bois au sein d'un groupe de communes.

5.13.3.2 Produits connexes du bois :

La Suède produit 370 400 m³ de panneaux OSB, et en importe près de 135 000 m³. Le pays produit également 125 300 m³ de panneaux de fibres et en importe plus de 320 000 m³.

5.13.3.3 Matériaux recyclés :

Les vêtements les plus abîmés sont parfois recyclés pour le secteur de la construction en tant qu'isolants.

5.13.3.4 Ouate de cellulose :

Elle est utilisée en Suède en tant qu'isolant depuis plus de 50 ans

5.13.4 Innovation Technologique

- La Suède, ayant une culture du bois très développée, présente les capacités d'innover sur ce matériau pour répondre à ses besoins en termes de construction. Il existe une tradition de collaboration en R&D entre le secteur forestier et le gouvernement suédois. Ce dernier a chargé l'Université Suédoise des Sciences Agricoles de rassembler des experts appartenant au secteur bois et de mener des recherches sur cette filière. La recherche est financée par des fonds publics dédiés et des comités d'allocation qui incluent des représentants du secteur forestier ;
- L'Institut de recherche forestière conduit principalement des recherches appliquées sur le bois et est financé à la fois par le gouvernement et par le secteur forestier ;
- L'académie Royale de l'Agriculture et de la Forêt est un forum académique qui rassemble des chercheurs, des professionnels du secteur agricole et forestier ainsi que des autorités rattachées à l'Etat afin de stimuler l'innovation dans la filière bois ;
- L'institut de recherche Formas s'intéresse aux innovations permettant de convertir l'économie du pays en une bio-économie (intensification de l'utilisation des matériaux biosourcés aux dépens des énergies fossiles, optimisation des systèmes de fertilisation, développer la polyculture multifonctionnelle, faciliter l'adaptation des cultures au changement climatique, etc.) ;
- Le programme SIO vise à augmenter la valeur ajoutée des matériaux biosourcés. Les résultats attendus d'ici 2035 sont, entre autres, le développement d'au moins 10 projets s'appuyant sur l'usage de matériaux biosourcés au sein des entreprises existantes, le remplacement à hauteur de 20% des produits conçus à partir de matériaux non renouvelables par des matériaux biosourcés, etc. La volonté de ce programme est d'ouvrir la voie à la bio-économie aux entreprises.

5.13.5 Normes, Règlements, Certifications

- BREEAM
- Swedish National Board of Housing building regulations (BBR20)
- LEED
- EU Green Building
- Miljöbyggnad
- Swan label
- Certificate of type approval (délivré par Swedish institute for technical approval in construction)
- CEEQUAL (ingénierie civile)
- PassivHaus
- BASTA (Système d'évaluation des produits en fonction de leur composition chimique)

5.13.6 Focus architecture

LIMNOLOGEN, VÄXJÖ

Dans le cadre du programme « Les villes modernes en bois », initié par la municipalité de Växjö, des logements collectifs hauts de huit étages ont été construits en bois. L'architecte est Ola Malm de *Arkitektbolaget Kronoberg AB*. La structure de chacun des quatre bâtiments est en ossature bois, ainsi que les murs porteurs et les escaliers. Terminé en 2009, le projet a été récompensé par le prix « Excellent édifice moderne en bois » par le Centre national suédois de la stratégie bois en tant que projet de planification communautaire. Il s'agit d'un des plus grands édifices construits en bois en Suède. Ainsi, les logements sociaux constituent une opportunité pour stimuler la demande en matériaux biosourcés dans la construction.



Figure 135 : Suède, Limnologen - DR

LA « MAISON SCANDINAVE

La maison traditionnelle Scandinave est une maison à base carrée ou rectangulaire, de deux niveaux, faite d'une structure mixte bois-béton. Les murs et les planchers sont en béton alors que l'extérieur est recouvert de planches de bois afin d'isoler l'habitat. Pour protéger le bois sans l'étouffer, on le repeint d'une peinture rouge composée d'un mélange d'huiles. La toiture peut être en tuile ou en bardeaux de bois. Elle est souvent végétalisée afin d'améliorer l'isolation du logement.



Figure 134 : Suède, Maisons traditionnelles (Crédits photos. en bas de page)

33

5.13.7 Acteurs clés

- Swedish Energy Agency
- VINNOVA (finance la Plateforme de Bioinnovation)
- The Swedish Standards Institute (SIS)
- Formas
- INNVENTIA
- The Eco-Cycle Council
- Conseil national suédois du logement, de la construction et de la planification
- Sveriges Centrum för Nollenergihus
- Conseil national suédois de la réglementation de la construction de logements
- Sweden Green Building Council
- Swedish institute for technical approval in construction (organisme de certification)
- SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut AB (organisme de recherche)
- BOVERKET (organisme national du logement)
- Träbyggnadskansli (agence de promotion de la construction en bois)

³³ Crédits photographiques **Figure Erreur ! Document principal seulement.** : Suède, Maisons traditionnelles : Sweden-Norrhult_station_BY Peter Kuiper – CC 0 / Sweden-Maison – CC 0 / Sweden Rashult Birthplace of Linnaeus BY Lars Aronsson - CC BY-SA

5.13.8 Bibliographie et webographie

- [Forest Industries](#)
- CTBA, Y. Benoît, T. Paradis, Constructions de maisons à ossature bois, Eyrolles, 2007 Nordic Workshop: « The forest sector in the Biobased Economy – Perspectives from policy and economic sciences », Swedish University of Agricultural Sciences, 2013
- New Bio-based Materials, Products and Services, SIO programme description, 2013
- Environmental considerations for biobased materials in modern methods of construction, EcoBuild – SP, 2014
- Swedish Research and Innovation Strategy for a Bio-based Economy, Formas, 2012
- Sweden National Bioeconomy Profile, European Commission, 2014
- Environmentally Sustainable Construction Products and Materials – Assessment of release, Norden, 2014
- Traditional Building Materials of the Baltic Sea Region, Baltic Sea States, 2003
- A strategic research and innovation agenda for new businesses focusing on renewable resources, Swedish Forest Industries Federation, 2013
- Taxes on natural resources reduce use of raw materials, European Commission, 2011
- The potential of hemp buildings in different climates, Uppsala University, 2014
- Hemp Concretes – Mechanical Properties using both Shives and Fibres, Swedish University of Agricultural Sciences, 2008
- Exploring industrialization of straw bale building in Sweden, Chalmers – University of Technology, 2015
- Etude européenne bois-construction, MEDDE – CSTB – FCBA, 2010

5.13.9 Atouts / Faiblesses / Opportunités / Risques

<p>ATOUTS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Forte disponibilité de la ressource bois et maturité de la filière • Acceptation culturelle • Capacité R&D et programmes dédiés aux matériaux biosourcés • Implication importante des acteurs publics et privés (Etat, Recherche, Industriels de la filière bois) 	<p>FAIBLESSES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Forte dominance du bois • Faible diversité des essences de bois • Pas de cadre législatif limitatif pour le recyclage des déchets issus de la construction
<p>OPPORTUNITES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Perspectives d'utilisation de la paille et du chanvre en tant que matériaux de construction • Politique de recyclage des textiles • Volonté de développer une bio-économie • Fiscalité environnementale 	<p>RISQUES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Faible diversification des matériaux biosourcés

5.13.10 Radars Synthèses

Critères de notation : voir Radars synthèse des pays : Critères de notation page 162

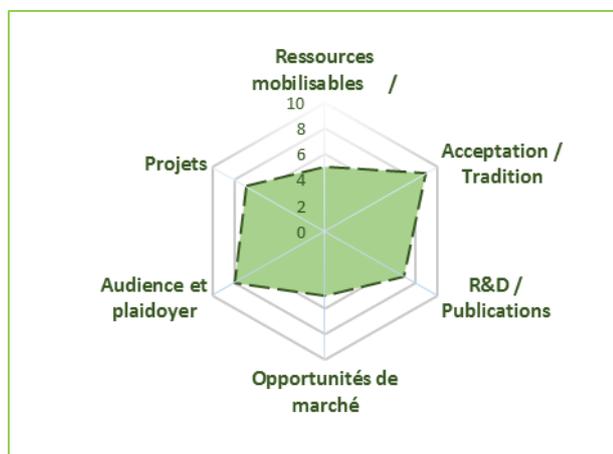


Figure 137 : Suède – Synthèse situation actuelle

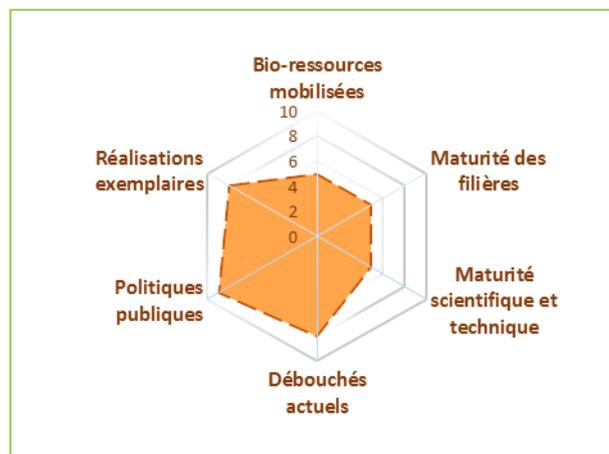


Figure 136 : Suède - Synthèse perspectives

5.13.11 Perspectives

Du fait de son climat et de son désir d'indépendance énergétique, la Suède a développé son économie autour de ses ressources en biomasse. Connue pour ses politiques environnementales incitatives et ses investissements importants en bio-économie, notamment sur la recherche en technologies innovantes, la Suède a su s'imposer en référence concernant la construction. La rénovation du bâti existant en Suède devrait représenter plus de 60 % de l'activité du secteur constructif d'ici quelques années pour répondre aux objectifs européens de réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Le secteur de la construction suédois est dominé par le bois, qui est le matériau naturel le plus utilisé étant donné les ressources du pays. Néanmoins, la Suède éprouve des difficultés à développer l'utilisation d'autres matériaux de construction biosourcés, les marchés étant peu développés.

Ces freins devraient cependant être levés sous peu grâce au développement de plusieurs initiatives dont le Programme SIO qui devrait permettre dans les prochaines années le renforcement et la diversification de la filière des matériaux de construction biosourcés ainsi que la promotion de la bio-économie, notamment dans le secteur de l'industrie. La recherche grandissante travaille actuellement sur des solutions adaptées concernant l'utilisation des matériaux de construction biosourcés dans un pays au climat difficile. En ce qui concerne le bois, le pays compte doubler sa production d'ici 2035 via le programme Ekoportal afin de répondre aux besoins croissants en termes d'énergie et de construction.

Enfin, désireuse de s'imposer comme *leader* du développement durable, la Suède a mis en place plusieurs programmes ambitieux autour des villes durables. En effet, Stockholm a été la première ville à remporter le titre de « capitale verte européenne » mis en place par l'UE en 2011 et vise à ne plus avoir recours aux énergies fossiles d'ici 2050. La ville septentrionale d'Umea s'est fixé l'objectif de devenir *leader* en matière de construction durable en climat froid à l'horizon 2020 grâce notamment à l'intermédiaire des pouvoirs publics qui ont initiés en 2008 la formation d'un réseau d'acteurs dédiés : le *Network for sustainable construction and real estate management in cold climates*.

6 Documents de référence

6.1.1 The Bioeconomy to 2030

Designing a Policy Agenda, Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), 2009 :

Définition et état des lieux de la bio-économie en 2009 et prospective stratégique de son développement d'ici 2015 et 2030. L'étude présente notamment les facteurs qui seront susceptibles d'influencer son développement : démographie, richesse, changement climatique et consommation énergétique, agriculture, prix de la

nourriture, eau, santé et nouvelles technologies. Elle donne des pistes d'actions pour orienter le développement de la bio-économie dans trois secteurs stratégiques : production primaire, industrie et santé, notamment au travers des politiques publiques à mettre en place.

6.1.2 The Emerging Biobased Economy

A multi-client study assessing the opportunities and potential of the emerging biobased economy, Informa Economics, Inc, 2006 :

État des lieux sur la situation et les potentiels de développement d'une bio-économie en 2006 et étude des politiques gouvernementales et privées dans plusieurs régions du monde (États-Unis, Canada, Union Européenne, Amérique du Sud et Asie) concernant l'utilisation de la biomasse (partenariats, certifications, etc.) et les procédés technologiques associés à sa transformation (fermentations, biocatalyseurs, conversion thermochimiques, traitements, etc.). Analyse du marché des produits biosourcés selon plusieurs

échelles et selon les produits (biocarburants, composants chimiques biosourcés, bioplastiques, fibres de cellulose, etc.), conduite d'analyses de cycle de vie pour les principaux produits et focus sur les bio raffineries existantes et émergentes. Enfin, analyse de l'offre et de la demande concernant la bio-économie, du rôle que l'agriculture pourrait y jouer, et des impacts que pourraient avoir une augmentation du prix du pétrole ou un soutien par des politiques publiques.

6.1.3 Global Bioenergy Supply and Demand Projections

A working paper for REmap 2030, International Renewable Energy Agency (IRENA), 2014 :

Cette étude présente les différents puits de biomasse (productions agricoles, coproduits agricoles, sylviculture, déchets, etc.) pouvant être utilisés dans la bioénergie ainsi que le marché actuel et à court terme dans différents secteurs : énergétique, manufacturier, transports et construction. La deuxième partie est consacrée à une étude prospective du marché des bioénergies à l'horizon 2030 : estimation de la demande par pays et par secteur, comparaison avec d'autres

études, impacts possibles sur le marché de l'énergie, etc. La question de la viabilité et de la durabilité de l'utilisation de la biomasse dans ces secteurs est analysée en fin de document au travers des problématiques environnementales, sociétales et économiques. Enfin, des pistes d'actions sont données pour favoriser la mise en place de réglementations permettant de soutenir le marché des bioénergies et des énergies renouvelables.

6.1.4 Les contributions possibles de l'agriculture et de la forêt à la lutte contre le changement climatique,

Conseil Général de l'Alimentation, de l'Agriculture et des Espaces Ruraux (CGAAER), 2015 :

Publié à quelques mois de la COP21, ce document présente les rôles que pourront jouer les secteurs agricoles et forestiers dans l'atténuation du changement climatique. En effet, les deux peuvent participer à la réduction des émissions de GES grâce à leur capacité de stockage du carbone et jouent également un rôle d'amortisseur climatique (caractère renouvelable et sobriété de ces systèmes n'utilisant que l'énergie du soleil). Il est donc prioritaire d'assurer une meilleure gestion des forêts et une restauration des terres

agricoles dégradées afin d'éviter l'érosion des sols et les émissions de GES. La suite du document se concentre essentiellement sur l'analyse de la situation française, les émissions de GES de ces deux secteurs, les leviers d'action pouvant permettre la réduction de ces émissions, leurs rôles faces aux risques environnementaux, naturels, climatiques et sanitaires. Enfin, trois thèmes, « Climat et sécurité alimentaire », « Adaptation et atténuation » et « Nord et Sud » sont développés pour étayer les réflexions.

6.1.5 World Agriculture: Towards 2015/2030

An FAO perspective, FAO, 2003 :

Après un état des lieux de l'agriculture mondiale en 2003, le document s'intéresse aux perspectives de productions de plusieurs filières : agriculture, élevage, foresterie, pisciculture. Il détaille également les potentialités de développement économique qui pourraient être induites par le développement agricole sur la période 2015/2030 ainsi que le système global de production alimentaire (commerce, politiques,

environnement, etc.), tout en analysant et détaillant les problématiques qui y sont liées. Enfin, l'étude soulève plusieurs enjeux auxquels l'agriculture va devoir faire face à l'horizon 2030 : l'adaptation au changement climatique, le respect de l'environnement, la lutte contre le réchauffement climatique et l'autosuffisance alimentaire de la planète et les solutions qui peuvent y être apportées.

6.1.6 Rapport de Mission – « Les usages non alimentaires de la biomasse »,

MEDDE – MAAF – Ministère du Redressement Productif, 2012 :

Mission lancée pour préparer la transition vers une économie décarbonée donnant une importance à la biomasse et posant des questions sur l'équilibre entre ses usages et la pérennité des ressources. Le rapport est décomposé en trois parties, la première est consacrée à l'analyse multi échelle (monde, Europe, France) d'enjeux planétaires (démographie, climat, alimentation, énergie et environnement) sur la période 2010/2050 afin de mieux comprendre le contexte planétaire et ses possibles évolutions à moyen terme. Dans la seconde partie, les auteurs analysent les stratégies et les politiques publiques en place et attendues à l'horizon 2020 en France, Allemagne et Europe, notamment sur les thématiques du bois et des biocarburants alors que la dernière partie s'attache à la période post-2020, principalement sur les filières des carburants de 2^e génération et du biométhane.

6.1.7 Buildings and Climate Change

Summary for Decision-Makers, United Nations Environment Programme (UNEP), 2009 :

Synthèse pour les décideurs politiques de la contribution des bâtiments au changement climatique en termes d'émission de gaz à effet de serre, de consommations énergétiques, de freins à la réduction des émissions, etc. Elle donne également les bases de développement de stratégies de réduction des émissions de GES dans le secteur de la construction (instruments de contrôle, instruments économiques ou fiscaux, programmes de

communication et de soutien, etc.), propose différents exemples de politiques publiques et de coopérations internationales pouvant conduire à ces réductions et décrit les actions principales permettant de se rapprocher de la neutralité énergétique dans ce secteur, selon le décisionnaire (international, national, communal, ONG, société civile, etc.).

6.1.8 Pour des bâtiments performants : quels matériaux pour construire et rénover ?

Ademe, 2011 :

Guide d'aide à la décision à destination des particuliers sur les matériaux de construction. Explication des concepts utiles à la décision (caractéristiques techniques, performance environnementale, certifications et labels, critères sanitaires, etc.) et

conseils pour bien choisir les matériaux. Le document présente le cas des éco-matériaux et les matériaux biosourcés (définition, idées reçues, normes en cours d'élaboration).

6.1.9 Sustainable Construction Materials and Technologies

Taylor & Francis Group, 2007 :

Recueil d'une centaine de publications scientifiques concernant les matériaux et les technologies de la construction durable. Les publications couvrent les caractéristiques des produits (en incluant des matériaux

comme le ciment), leur fabrication, leur fin de vie, les différentes utilisations d'un même matériau ou les technologies pouvant être utilisées dans la construction durable.

6.1.10 Promoting Energy Efficiency in Buildings : Lessons learned from international experience

United Nations Development Programme (UNEP), 2009 :

Document à destination des décideurs présentant plusieurs politiques publiques permettant de promouvoir et de favoriser la recherche de l'efficacité énergétique dans les bâtiments. Les politiques publiques sont classées selon trois catégories, les outils de régulation comme les codes de la construction, les

standards des matériaux etc., les outils d'information et de publicité comme les campagnes publiques, les labels et les certifications, et les outils d'incitations financière, taxes, prêts à taux réduits, subventions, etc. Pour chaque moyen d'action, des exemples d'application sont pris dans différents pays du monde ayant mis en place des

outils efficaces. Il est rappelé l'importance de la commande publique pour promouvoir l'efficacité énergétique des bâtiments et des pistes d'action

permettant à chaque pays de choisir et créer les politiques publiques les plus efficaces possibles.

6.1.11 Matériaux ligno-cellulosiques : « Élaboration et caractérisation »,

Edwige Privas – École supérieure des Mines de Paris, 2014. :

Thèse présentant les techniques de transformation de la biomasse en matériaux ligno-cellulosiques. Les matériaux, les procédés de transformation et les caractéristiques mécaniques et physiques (microstructure, rhéologie, comportement avec l'eau, flexion, traction etc.) sont présentés de manière générale, puis déclinés pour chacun des matériaux proposés : les panneaux ligno-cellulosiques, les

composites hybrides biosourcés, et la cellulose compactée/déstructurée sous haute pression. Des perspectives d'évolution de chacun de ces matériaux telles que l'amélioration des propriétés matricielles grâce à la chimie, ou celle des propriétés fibreuses via la sélection des variétés de plantes utilisées sont proposées en fin de document.

6.1.12 Étude Européenne bois construction – Étude comparative sur l'usage et le développement du bois construction en Europe

MEDDE – CSTB – FCBA, 2010 :

Étude française sur la filière bois construction dans quatre pays d'Europe (Allemagne, Royaume-Uni, Suède et Suisse). L'étude commence par un état des lieux général de la filière bois (de la ressource forestière au marché de la construction bois) pour ensuite décrire les institutions et les textes normatifs et réglementaires mis en place dans les différents pays et les initiatives récentes des pouvoirs publics en faveur du

développement de la filière bois construction. Les parties suivantes sont destinées à la description de l'organisation des industriels au Royaume-Uni et en Suède, et à l'analyse des freins (culturels, législatifs ou techniques) du secteur du bois construction. L'étude se conclut par une analyse générale de chacun des pays en termes de spécificités, points forts et points faibles.

6.1.13 Le bois dans la construction

Étude bibliographique, Emmanuel Fleury, Martin Chiche – CSTB, 2006 :

Document présentant la filière de la construction bois en France ainsi que les solutions bois proposées. Le comportement du bois dans son milieu (humidité, étanchéité, etc.) ainsi que ses caractéristiques physiques et mécaniques sont également décrits pour comprendre les essences et les systèmes constructifs pouvant être

utilisés, ainsi que les normes en vigueur dans le secteur de la construction. La dernière partie est dédiée à la filière bois-énergie, ses enjeux, ses applications et les différentes formes de combustibles pouvant être utilisés.

6.1.14 Exploring climate impacts of timber buildings

The effects from including non-traditional aspects in life cycle climate impact assessment, Diego Penaloza – KTH Royal Institute of Technology, 2015 :

Thèse s'intéressant aux analyses du cycle de vie utilisées traditionnellement et à la prise en compte de critères non traditionnels (albédo, analyse du cycle de vie dynamique, prise en compte des particularités de chaque projet, etc.). Le chercheur compare les résultats obtenus selon les différentes ACV et montre qu'ils

peuvent présenter des différences significatives. Il insiste donc sur le fait que l'ACV est un outil pratique utilisé dans le calcul des impacts environnementaux mais qu'il faut garder à l'esprit qu'il est à moduler selon les contextes et les situations.

6.1.15 Bâti vernaculaire et développement urbain durable

Nomadéis – ARENE Ile-de-France, 2012 :

Étude décomposée en trois phases distinctes réalisant une analyse du rôle de l'architecture vernaculaire dans le développement urbain durable. La première phase consiste en un benchmark international de 42 projets afin d'étudier les potentialités du bâti vernaculaire dans le développement durable et la deuxième en une analyse

approfondie de 8 projets sélectionnés. La dernière phase étudie trois scénarios tendanciels et met en évidence les leviers d'actions potentiels pour favoriser le développement de ces modes constructifs en milieu urbain.

6.1.16 Market Developments of and Opportunities for bio based products and chemicals

NOVA Institute for Ecology and Innovation, 2013:

Étude présentant les marchés et les tendances de l'économie biosourcée (volumes, développements attendus des filières, principales applications, etc.), plus particulièrement des NFC (Natural Fibre reinforced Composites) et des WPC (Wood-Plastic Composites), et comparant les prix entre les différents matériaux

biosourcés et leurs équivalents issus de ressources fossiles. Un zoom est effectué sur la place du marché néerlandais pour le développement d'une bio-économie. Elle se clôture par une analyse des politiques publiques pouvant favoriser le développement du marché des produits biosourcés.

6.1.17 Etat des lieux des connaissances actuelles sur le Fonctionnement Hygrothermique des matériaux biosourcés

C&B, 2012 :

Document technique définissant le concept de matériaux biosourcés et présentant les différents produits à l'étude ainsi que les caractéristiques hygrothermiques (humidité relative, porosité, changement de phase, capacité thermique, transfert d'humidité, etc.) de ces matériaux et les modèles utilisés

pour l'étude. Les études réalisées concernant les bétons végétaux, la construction en paille, le bois massif ou les isolants (en vrac comme en panneaux) sont ensuite synthétisées pour comprendre le fonctionnement hygrothermique de ces différents types de matériaux à l'échelle du composant ou du bâtiment.

6.1.18 Review of the Environmental Impacts of Bio based Materials

Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy, 2012 :

Méta-analyse de 44 études concernant des Analyses du Cycle de Vie (ACV) des matériaux biosourcés, et de leurs impacts environnementaux. L'étude démontre que les matériaux biosourcés permettent le stockage de carbone et peuvent ainsi participer à l'atténuation du changement climatique. Ils présentent en général des impacts sur l'environnement plus faibles que leurs homologues conventionnels mais peuvent avoir des

effets négatifs sur la destruction de la couche d'ozone et l'eutrophisation des milieux, principalement du fait des produits phytosanitaires utilisés sur les productions agricoles qui les composent. Les auteurs proposent à la fin de l'étude des pistes d'actions permettant l'expansion de l'utilisation de ces matériaux, tout en limitant leurs impacts environnementaux.

6.1.19 Benchmark international des dispositifs de soutien aux produits biosourcés et applicabilité à la France

Nomadéis & BIO by Deloitte, 2015 :

L'étude se découpe en trois parties distinctes. La première consiste en un état des lieux international des mesures de soutien apportées aux produits biosourcés et a une analyse de leur efficacité. Dix dispositifs les plus pertinents sont sélectionnés et approfondis, par exemple le programme Biopreferred de l'USDA, l'obligation d'utiliser des sacs biodégradables et compostables en Italie, le programme d'aide à la

production de produits chimiques biosourcés en Malaisie ou encore le programme d'aide à l'introduction sur le marché des produits isolants biosourcés en Allemagne. La seconde partie est dédiée à un élargissement de la veille à des mesures pouvant potentiellement être appliquées à la filière biosourcée, et la dernière partie à une analyse de l'applicabilité à la France des mesures les plus efficaces recensées.

6.1.20 Le soutien apporté aux produits biosourcés dans le cadre des marchés publics

Analyse comparative dans 8 pays, Direction Générale du Trésor, 2014 :

Analyse comparative des dispositifs de soutien aux produits biosourcés dans 8 pays du monde : Allemagne, Brésil, États-Unis, Irlande, Italie, Malaisie, Pays-Bas et

Suède. Le document compile les réponses de chaque pays à un questionnaire établi par la DG Trésor.

7 Annexes

7.1 Partenaires de l'étude

7.1.1 ADEME



L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME) participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable. Afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale, l'agence met à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, ses capacités d'expertise et de conseil. Elle aide en outre au financement de projets, de la recherche à la mise en œuvre et ce, dans les domaines suivants : la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, la qualité de l'air et la lutte contre le bruit.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle du ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie et du ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche. / www.ademe.fr

7.1.2 ARENE Île-de-France



L'ARENE Île-de-France accompagne les territoires franciliens dans leurs démarches énergie climat. Elle met en œuvre les principes du développement durable pour contribuer au déploiement d'une culture énergie climat, pour accompagner les acteurs dans leurs projets d'efficacité énergétique et d'énergies renouvelables, afin de favoriser le développement de projets de territoires.

L'ARENE détecte et valorise les bonnes pratiques, expérimente et dissémine les démarches innovantes, défriche de nouveaux sujets qu'elle partage au sein des réseaux qu'elle anime. Elle contribue aux niveaux national et international en apportant son expertise dans différents groupes de travail et au sein de réseaux tels que le RARE et la FEDARENE.

Le plus grand nombre d'acteurs doivent partager ces enjeux cruciaux pour l'évolution de notre région ; l'ARENE y contribue au quotidien. Son site web présente l'ensemble de son action et donne des clés pour agir : www.arenidf.org, compte Twitter : @ARENEIDF

7.1.3 Arts et Métiers- Campus de Cluny

Arts et Métiers est une grande école technologique publique. Etablissement national territorialisé, Arts et Métiers comprend 8 campus et 4 antennes répartis sur le territoire



français et coordonnés par une Direction générale. Ce réseau lui confère une proximité exceptionnelle avec le milieu industriel en régions. Elle forme plus de 6000 étudiants par an au génie mécanique, génie industriel et génie énergétique. Ses activités de recherche contractuelle et de valorisation sont très denses et ces activités sont très proches des problématiques du monde socio-économique. Arts et Métiers porte l'institut Carnot ARTS depuis 2006.

Son campus de Cluny, qui accueille plus de 500 étudiants en formation initiale et continue, est spécialisé dans les techniques de mise en forme des matériaux, de l'usinage de grande vitesse et de grande précision, de l'immersion virtuelle et de l'imagerie 3D, ainsi que celles de l'industrie du bois.

Le campus de Cluny se veut un acteur dans le domaine de l'écoconstruction et pour renforcer et développer les activités liées à cette thématique, il bénéficie depuis 2016 d'une extension de ses ateliers avec la Halle Bois Ecoconstruction.

www.artsetmetiers.com/campus-Cluny

7.1.4 BioBuild Concept



Pour faire face aux enjeux environnementaux et socio-économiques, le secteur de la construction est aujourd'hui en pleine évolution. Les créateurs de BioBuild Concept, impliqués depuis de nombreuses années dans le domaine de la construction durable ainsi que dans les stratégies de développement d'entreprises et de filières, ont souhaité réunir leurs compétences au sein d'un cabinet d'étude pour accompagner les différents acteurs dans une mutation incontournable.

BioBuild Concept mène donc des missions d'analyse et de conseils auprès des entreprises, des filières et des collectivités publiques. BioBuild Concept pilote ou participe également à des études visant à améliorer les connaissances et la compréhension des sujets de son domaine de compétences, comme c'est le cas pour le programme Bio World Resource Benchmark.

Par ailleurs, afin de conforter son expertise, BioBuild Concept réalise une veille en continue visant ses centres d'intérêts. Cette veille permet aussi d'alimenter VEGETAL(E), portail numérique de référence sur les matériaux de construction biosourcés, qui regroupe et rend accessible les actualités, des dossiers thématiques et des bases de données du domaine.

www.biobuild-concept.com / www.vegetale.com

7.1.5 Direction de l'habitat, de l'urbanisme et des paysages



La Direction de l'habitat, de l'urbanisme et des paysages (DHUP) fait partie de la Direction générale de l'aménagement, du logement et de la nature rattachée au Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie et au Ministère du logement, de l'égalité des territoires et de la ruralité. Cette Direction prépare et met en œuvre la politique du gouvernement dans le domaine de l'habitat, de l'urbanisme et des paysages. Depuis 2010, la DHUP accompagne la structuration et le développement des filières de matériaux de construction biosourcés en France, dans un objectif de réduction de l'empreinte environnementale des bâtiments et de revitalisation des territoires par la création de valeur ajoutée et d'emplois non-délocalisables. Cela s'est traduit par la mise en œuvre d'un plan d'actions visant à lever les obstacles au développement économique des filières, puis à partir de 2014, à la mise en place de 4 groupes de travail portant sur la formation des professionnels de la construction, l'accès au marché des produits biosourcés, la sécurité incendie et la R&D.

7.1.6 Nomadéis



Créé en 2002, Nomadéis est un cabinet de conseil indépendant, spécialisé en environnement et développement durable des territoires. Nomadéis accompagne l'Etat, les collectivités territoriales et les entreprises pour le développement des filières stratégiques de l'économie verte. Depuis plus de 5 ans, Nomadéis a mené, au niveau national, plusieurs études de référence sur les filières de matériaux biosourcés pour la construction. Nomadéis est également présent sur ces thématiques dans plus de la moitié des régions françaises pour les accompagner à définir et mettre en œuvre des politiques publiques facilitant la mobilisation des bioressources, le soutien à une offre locale créatrice d'emplois et le déploiement de ces matériaux dans des programmes ambitieux de rénovation énergétique. En 2014, avec le soutien de l'ADEME et du Ministère de l'Environnement, Nomadéis a créé une plateforme d'enquête auprès des entreprises artisanales du bâtiment pour mieux connaître leurs perceptions, pratiques et attentes vis-à-vis de ces matériaux. / www.nomadeis.com

7.2 La bioéconomie et le climat

La bio-économie, c'est la transformation des produits de la photosynthèse végétale en aliments, matériaux, bases chimiques, fertilisants organiques et bio-énergies. Elle peut remplacer partiellement et sobrement l'usage de ressources et de productions épuisables d'origine fossile (pétrole, gaz, charbon...). Ces « filières vertes », sobres et pourvoyeuses d'emplois et d'innovations, abordent avec d'excellentes performances les différents marchés des matériaux, de la chimie, des fertilisants et des énergies (compétitivité, bilans énergétiques, bilans CO₂, emplois...).

Alors, même si l'agriculture et la forêt, avec leurs biofilières, constituent bien des secteurs émissifs de gaz à effet de serre / GES, comme les rapports successifs du GIEC le montrent dans une vision partielle, toutes ces biofilières sont d'abord et avant tout des sources exceptionnelles et sans égal d'absorption de CO₂ atmosphérique, (puits), de fixation et de stockage du carbone via la photosynthèse, ainsi que des solutions sobres de substitution d'usages à des ressources fossiles.

La bio-économie fut, tout au long de l'histoire, le fondement de notre civilisation avec l'eau, le vent et les minéraux, afin de fournir à l'homme, outre son alimentation (une autre forme d'énergie... !), des produits divers et des énergies indispensables, infiniment variés. Après les deux révolutions industrielles du 19^e siècle, nées du charbon puis des hydrocarbures (au détriment de la biomasse...), la France a fait à nouveau le pari de la bio-économie, notamment depuis les années 1980, puis clairement depuis 2003. Les gouvernements successifs ont en effet misé, dès les années 2000, sur un développement accru des usages de la biomasse pour l'énergie, les matériaux et la chimie : c'est le choix du « carbone vert », choix qui vise à la fois à réduire l'empreinte carbone de l'économie française, à conforter l'indépendance énergétique du pays, à trouver les voies d'une nouvelle croissance verte et à ouvrir de nouveaux marchés diversifiés pour notre agriculture et notre sylviculture tout en favorisant l'innovation, l'emploi et le développement des territoires.

Face à la diversité de ces biofilières, qui toutes opèrent plus ou moins en concurrence à partir des mêmes bioressources pour contribuer à la maîtrise du changement climatique et des bilans énergétiques, on comprend toutefois qu'il soit fondamental d'évaluer et d'organiser tous les besoins et tous les marchés de ce « carbone vert », qui ne font que croître. La recherche de mécanismes de gouvernance et de synergies entre ces filières, entre leurs professions et parmi les administrations concernées (agriculture, énergie, industrie, écologie...) est donc indispensable pour réussir à « ne pas déshabiller Paul en habillant Pierre... », ceci en optimisant l'allocation et le renouvellement des bioressources..

Car ces valorisations du « carbone vert » pèsent lourd ! Elles alimentent, en France, d'ores et déjà, environ 5% des marchés globaux de l'énergie, de la chimie et des matériaux de notre pays, et beaucoup plus encore pour ce qui concerne le bois et le papier (lesquels correspondent, par exemple, à 10% des matériaux de construction et à 20% des emballages et 100% des supports d'écriture et d'impression).

Partant de ces 5% de parts de marchés, un objectif global de 10% (soit un doublement) de l'économie « biosourcée » est visé à l'horizon 2030, où la biomasse devrait supporter en outre plus de 50% de nos ambitions énergétiques renouvelables. Toutes ces valorisations de la biomasse présentent enfin un potentiel et des externalités positives très importants, notamment en termes d'emplois.

Depuis les années 2003 et 2010, ces feuilles de route (qui sont évolutives et principalement orientées vers l'énergie) sont donc en vigueur en France et en Europe. Le Paquet énergie climat 2020 / 2030 porte des engagements de résultats contraignants pour la France v.s. L'Union Européenne. L'objectif du facteur 4 en revanche, à l'horizon 2050, n'est qu'indicatif et volontaire pour les Etats. Mais dans les deux cas, la bio-économie prend une place croissante dans ces perspectives futures

. Que ce soit donc pour répondre aux enjeux de l'horizon 2020, puis 2030 ou 2050, ou aux échéances du « paquet énergie-climat » européen et du « Facteur 4 », la France ne part pas de rien, notamment depuis la « renaissance » de la bio-économie dans les années 1980, puis, surtout, depuis qu'une politique résolue fut adoptée en France après 2003, comme nous l'avons vu (NB. plan biocarburants, plan biocombustibles, plan chimie du végétal...).

La France se situe depuis, en effet, et sur tous ces marchés, pour ces technologies et dans ces stratégies de développement, parmi les cinq pays les plus « bio-économiques » au Monde certainement, avec les Etats-Unis, le Brésil, la Chine et l'Allemagne.

Outre l'agro-alimentaire (CA de 140 mds €/an et 400 000 emplois) et la filière bois traditionnelle (CA de 35 mds €/an et 200 000 emplois), de nouvelles filières de la bio-économie se sont développées depuis 20 ans (néomatériaux, chimie, carburants, biocombustibles) . Et ces néofilières « pèsent » déjà, en France, 14 milliards de chiffre d'affaires annuel et 70 000 emplois supplémentaires, avec de l'ordre de 2000 nouvelles entreprises créées.... Nous prévoyons précisément le doublement de ces performances à l'horizon 2030, et leur quadruplement à l'horizon 2050 (facteur 4) !

Alors, avec neuf ou dix milliards d'habitants-consommateurs annoncés sur notre planète au milieu de siècle, il est certain que tous les pays, dont la France en particulier, ont et auront une obligation pressante de produire beaucoup, « dans les champs comme dans les bois », puis de mobiliser et de valoriser durablement des ressources croissantes de productions alimentaires, de biomasse et de « carbone vert ».

La productivité agricole et forestière est donc appelée à redevenir un axe stratégique majeur du concept de développement durable, fût-ce à l'encontre des dogmes écologiques en vigueur. « L'économie verte » doit en effet véritablement être mise au service d'une nouvelle croissance soutenable adaptée aux besoins de 10 milliards d'habitants.

« Produire beaucoup » sera donc de plus en plus une obligation, ne serait-ce que pour l'alimentation et le bois, mais aussi pour l'adaptation de l'agriculture et de la sylviculture au changement climatique. C'est également un enjeu fondamental pour la régulation climatique.

Mais nous devons nous imposer également de produire sobrement, en préservant notamment les sols, et ceci tout en diversifiant dans le même temps nos systèmes de mise en valeur des terres pour une plus grande résilience.

On mesure plus nettement l'énorme potentiel d'atténuation et de substitution des émissions des GES que détiennent les biofilieres...

Si l'on convertit en « équivalent CO₂ », avec recul et simplicité, les données actuelles et futures qui sont présentées précédemment pour les biofilieres, on peut parvenir à évaluer avec approximation les impacts et les bilans « carbone » des filières bois énergie et biogaz, biocarburants, biomatériaux et chimie biosourcée (effets stockage de carbone et substitution de GES).

Notons que, hormis pour les biocarburants (ACV), de tels calculs n'ont jamais été effectués rigoureusement, ni publiés officiellement. C'est donc avec prudence que les chiffres suivants peuvent être proposés ici pour la France, sommairement :

>>> La filière bois énergie (biogaz compris) substitue de fait, actuellement, 9 Mtep/an nets d'hydrocarbures en évitant l'émission annuelle d'environ 35 M tonnes de CO₂ (1 tep # 4 tCO₂). Nous pouvons considérer prudemment, pour le bois énergie (biogaz compris), à l'échéance 2030, une perspective de substitution nette d'hydrocarbures qui atteindrait 13 ou 14 Mtep/an, soit # 55 Mt CO₂ évités à cet horizon !

>>> Les biocarburants, avec un rendement énergétique global de leur filière de 200% à 300% selon les productions. (NB. Ce même rendement n'est que de 80% pour les carburants fossiles...), substituent de fait, actuellement, et en valeur nette, # 1,5 Mtep/an d'hydrocarbures en évitant l'émission annuelle d'environ 6 M tonnes de CO₂ (1 tep # 4 tCO₂) ... L'objectif 2020/2030 viserait globalement à doubler ces objectifs de production, y compris peut être avec la 2^e génération attendue pour ces produits. Il en résulte une perspective probable de substitution nette d'émissions pouvant aller jusqu'à l'équivalent de 12 Mt CO₂ (pour 4 à 5 Mtep brutes produites annuellement).

>>> La filière bois-fibres matériaux transforme en France 35 M m³ /an de bois français (récolte forestière annuelle de bois d'oeuvre- 22 M m³- et de trituration-13 M m³-), auxquels s'ajoutent environ 10 M m³/an de bois-fibres importés.

Les rendements matière des process de transformation de cette filière sont de l'ordre de 50% à 60% (recyclage des co-produits en panneaux et pâtes compris) ce qui peut permettre d'évaluer à 25 M m³/an environ les volumes annuels bruts de produits finaux en bois-fibres qui sont effectivement mis en œuvre chaque année (charpentes, construction, agencements, emballages, cartons, outils, etc.). Sachant que 1 m³ de bois équivaut à une tonne de CO₂, c'est ainsi un stock additionnel brut (hors déconstruction) de # + 25 M t CO₂ qui se trouve immobilisé chaque année, et pour des durées variables, dans les produits du bois. On peut avancer (à titre d'hypothèse) que l'économie nette d'émissions par substitution pourrait atteindre alors, en moyenne, 1,5 t CO₂ par m³ de bois mis en œuvre, soit, ici, environ 35 M t CO₂/an environ.

L'objectif 2020/2030 pourrait viser globalement pour le bois matériau et l'industrie de la cellulose à augmenter de 150% les résultats ci-dessus de la filière, (ce qui reste élevé, vu le contexte). Ceci conduit aux prévisions plus modérées qui suivent, vers 2020/2030 :

- une perspective plus probable de développement de +130 à +140% de la filière.
- une augmentation proportionnelle du stockage de CO₂ dans les produits- bois (en passant par exemple de 25 M t CO₂ à 35 M t CO₂/an),
- une augmentation également proportionnelle de l'effet de substitution au niveau des émissions (en passant par exemple de 35 M t CO₂ à 50 M t CO₂/an)

>>> L'approvisionnement de la filière chimie du végétal, composites et fibres occupe, à la production, 400 000 ha environ de grandes cultures variées (amylacés, textiles, oléagineux, betteraves, etc.), pour aboutir à des productions de matières premières utiles et valorisables de 1 à 1,5 Mt/an et pour déboucher à l'aval sur 5 à 7% de parts de marché en approvisionnement dans les principaux secteurs de la chimie, de la cosmétique, des polymères et des composites.

Par approximation, ces filières permettraient une réduction d'émissions par substitution de l'ordre de 5 t CO₂ par hectare, ou encore, actuellement, une réduction nette totale de 2 M t CO₂ d'émissions de GES en France. L'objectif 2020/2030 qu'avait prévu le plan chimie du végétal de 2007 était de multiplier par trois ces productions en 10 à 15 ans. Quoique très ambitieux, cet objectif permet de compter en principe, vers 2025, sur une substitution suffisamment efficace de la chimie du végétal pour réduire les émissions de GES de 6 M t CO₂/an environ.

On mesure donc la puissance de « l'amortisseur climatique » qui est dû aux biofilières et à la bio-économie. Et cette attractivité est renforcée encore par la capacité de ces filières à créer de l'emploi et à conforter notre indépendance énergétique. Cela justifie notamment la place importante qui est faite à ces stratégies dans les politiques énergétiques et industrielles européennes et françaises (croissance verte, paquet énergie climat, transition énergétique...), avec le dynamisme des entreprises qui y participent.

En rappelant en outre les externalités attractives nombreuses de ces biofilières (créations nettes d'emplois, réductions des importations, réduction des risques, modération carbone...), on comprend à quel point la bio-économie constitue désormais une priorité d'action majeure pour l'agriculture et la forêt, comme pour les marchés de l'énergie carbonée, des matériaux (dont la construction bois) et pour la chimie. C'est également un champ majeur d'innovation, largement pris en compte désormais par les autorités. Mais c'est aussi, de surcroît, une ouverture profitable et vertueuse vers un futur sobre et renouvelable, facteur de développement. Une question reste posée : avec quelle compétitivité ?

Si la compétitivité des produits de la biomasse (comme celle des « renouvelables » en général) est parfois contestée, il faut bien retenir, pour terminer, que la compétitivité dont on parle est celle de produits RENEUVELABLES (qui financent donc le coût de leur propre renouvellement...). Or, on prétend mesurer cette compétitivité par comparaison avec les performances de produits ou d'énergies conventionnels qui, eux, sont EPUISABLES et NON RENEUVELABLES, et qui plus est sont fortement EMISSIFS de GES... Ces produits conventionnels ne rémunèrent pas, de fait, le coût collectif de l'épuisement de leurs gisements d'approvisionnement ! Veillons donc à ne comparer que des choses comparables !

Claude Roy / Max Magrum / CLUB des Bioéconomiste / Note préparatoire à la conférence sur le Climat COP21

Source : <http://leclubdesbioeconomistes.com/la-bioeconomie-et-le-climat/>

7.3 Radars synthèse des pays : Critères de notation

7.3.1 Situation actuelle

- **Bioressources mobilisées** : quantité et diversité des ressources utilisées pour la conception de matériaux de construction biosourcés ;
- **Maturité des filières** : maturité des filières existantes et diversité de ces filières ;
- **Maturité scientifique et technique** : nombre de publications scientifiques, quantité, développement de produits et innovations observés par les entreprises du secteur ;
- **Débouchés actuels** : débouchés nationaux, ne prend pas en compte la capacité à l'export ;
- **Politiques publiques** : nombre et diversité des politiques publiques existantes ;
- **Réalisations exemplaires** : nombre, notoriété et pertinence de projets de constructions réalisés intégrant des matériaux biosourcés.

7.3.2 Perspectives

- **Ressources mobilisables** : diversité et potentiel de production des ressources utilisables pour la conception de matériaux de construction biosourcés ;
- **Acceptation/Tradition** : potentiel d'acceptation par la société et les filières de l'utilisation de matériaux de construction biosourcés ;
- **R&D/Publications** : efficacité de la recherche, quantité de publications en relation avec ces matériaux ;
- **Opportunité de marchés** : débouchés nationaux futurs, ne prend pas en compte la capacité à l'export ;
- **Audience et plaidoyer** : Implication et pouvoir d'action de la population et des services publics sur la problématique des matériaux biosourcés ;
- **Projets** : nombre, notoriété et pertinence de projets de constructions futurs intégrant des matériaux biosourcés.

8 Synthèse et conclusion

8.1 Contexte de l'étude : motivations, objectifs et méthodologie

Face aux besoins croissants en matières premières, à la prise de conscience de la finitude des ressources minérales et aux conséquences sur le développement durable, de nombreux secteurs d'activités se tournent vers les potentiels offerts par la biomasse. On assiste à un redéploiement de la bio-économie. Le monde de la construction – qui consomme près de 60% des matières minérales extraites – ne peut échapper à cette tendance et les initiatives se multiplient.

Pour en avoir une vision plus précise, les Arts et Métiers - Campus de Cluny - et BioBuild Concept ont mené cette étude s'appuyant sur un panel de quatorze pays. Cette étude, Bio World Resource Benchmark, a été soutenue par l'ADEME³⁴, la DHUP³⁵ et l'ARENE Île de France³⁶. Elle a également bénéficié de l'expertise du cabinet Nomadéis.

L'ambition est double : d'une part, acquérir, à l'échelon international, un premier niveau de connaissance sur les ressources disponibles, la maturité – scientifique, technique, réglementaire, économique – des filières ou encore sur les politiques publiques. D'autre part, l'objectif est d'attirer l'attention sur la problématique des matériaux de construction et d'évaluer le potentiel de réponses de la bio-économie.

Le choix des pays composant le panel a tenu compte d'une répartition géographique ainsi que de différenciations significatives concernant différentes données (PIB, urbanisation, consommation d'énergie, production de gaz à effet de serre, vulnérabilité au changement climatique, etc...). L'étude a ensuite été menée selon deux axes :

- en évaluant, pour chacun des pays du panel, la situation actuelle ainsi que les potentiels et les perspectives de développement en ce qui concerne les matériaux de construction biosourcés,
- en procédant à des analyses thématiques sur quatre sujets : les ressources, l'innovation, les politiques publiques et la valorisation des techniques de construction vernaculaires par une architecture innovante. De nombreux exemples de bonnes pratiques viennent conforter chacune de ces thématiques.

L'étude est complétée par la présentation de vingt documents de référence.

³⁴ Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie

³⁵ La Direction de l'habitat, de l'urbanisme et des paysages (DHUP) fait partie de la Direction générale de l'aménagement, du logement et de la nature rattachée au Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie et au Ministère du logement, de l'égalité des territoires et de la ruralité

³⁶ Agence régionale de l'environnement et des nouvelles énergies d'Île de France.

8.2 Les ressources

L'utilisation de matériaux d'origine minérale a augmenté de façon exponentielle dans la construction depuis le milieu du XX^e siècle, entraînant de nombreuses conséquences environnementales et socio-économiques ; ce phénomène est appelé à s'accroître dans les décennies à venir. La situation est particulièrement prégnante dans les pays dont la démographie et l'urbanisation croissent rapidement mais l'explosion des besoins en matériaux de construction dépasse très largement ce périmètre.

Face à ces besoins, on note une disponibilité importante de biomasse dans presque tous les pays y compris dans les zones arides ou semi-arides³⁷. Globalement, si la forêt reste la ressource la plus exploitée par le secteur de la construction, les co-produits de l'agriculture (par ex. les pailles de céréales et d'oléagineux), le recyclage (papier et carton) ainsi que les écosystèmes naturels sont des gisements très importants et peu valorisés dans le domaine.

Les volumes issus de l'agriculture et de la forêt sont relativement connus mais l'augmentation des besoins peut entraîner une concurrence entre les usages devant faire l'objet d'arbitrages stratégiques. Dans l'ordre des priorités, les matériaux, « *qui prolongent la durée de vie du stock de carbone* »³⁸, devraient se placer en deuxième position, derrière l'alimentation et devant la production d'énergie.

Les ressources offertes par les écosystèmes naturels sont par contre peu identifiées et assez mal connues. Elles représentent pourtant des disponibilités très importantes, peu concurrentes des usages alimentaires, et une valorisation respectueuse des exigences écologiques peut, de plus, être positive sur différents plans environnementaux, économiques et sociaux³⁹.

Le recyclage des papiers et cartons représente également une ressource significative, inégalement valorisée alors que la pertinence environnementale et les performances techniques des produits d'isolation qui en sont issus (ouate de cellulose) sont connues de longue date⁴⁰. A noter que des matières non biosourcées issues de la réutilisation et du recyclage – hors du champ de cette étude (par.ex. plastique) - représentent également des gisements considérables pour le secteur de la construction.

Ces ressources, très variées par leurs origines et par leurs caractéristiques (bois, paille de céréales, graminées, plantes à fibres, bambous, roseaux, algues, etc.) sont en mesure, en s'appuyant sur les technologies traditionnelles ou totalement nouvelles, de fournir des matériaux et produits de construction répondant aux exigences de différentes fonctions de la construction : structures, couverture, isolation thermique, phonique, etc.

³⁷ Parmi les pays étudiés, seul les Emirats Arabes Unis ne disposent pas de ressources mobilisables sur leur territoire. A contrario, au Maroc, dont 90% du territoire se situent en zone aride et semi-aride, les alfatières couvrent 3,2 millions d'hectares et sont peu exploitées alors qu'une valorisation raisonnée pourrait fournir un million de tonnes de fibres par an. Dans le bush australien (8 millions d'hectares) comme dans la savane sénégalaise (5 millions d'hectares) une exploitation maîtrisée pourrait non seulement fournir des quantités conséquentes de matières premières mais permettrait également de lutter contre les feux de brousse et leur cortège de nuisances environnementales, économiques et sociales, dont la désertification.

³⁸ CGAAER, Rapport 15056 *Dynamiques de l'emploi dans les filières biosourcées*, Claude Roy et Jacques Teyssier d'Orfeuille, Avril 2016. Voir en particulier page 7 au sujet de la priorité dans l'usage des bioressources.

³⁹ Cf note de bas de page ci-dessus concernant les zones semi-arides (alfatières, bush, savanes). A noter également le cas des roseaux (typha, phragmites, arundo) qui peuvent avoir des comportements très invasifs mais qui sont susceptibles de fournir des quantités importantes de matières premières et qui font l'objet de programmes de développement (Finlande, Canada, Sénégal, Italie, etc.)

⁴⁰ Comme par exemple au Royaume-Uni, au Canada et particulièrement aux Etats-Unis qui utilisent massivement la ouate de cellulose comme isolant depuis le milieu du XX^e siècle.

8.3 L'innovation technologique

Si les matériaux biosourcés sont très largement utilisés dans le bâti vernaculaire, ils n'en ont pas moins un fort potentiel d'innovation qui mobilise de plus en plus le monde de la recherche et l'on constate depuis quelques années une augmentation sensible des programmes et des publications.

Cette recherche est marquée, en premier lieu, par sa diversité. Les travaux s'appuient en effet sur une ressource en matière première très variée (voir ci-dessus). D'autre part, ils visent de nombreuses typologies de matériaux⁴¹ et d'usages⁴². De plus, au-delà des travaux concernant les matériaux transformés mécaniquement (fibres et granulats), on constate également le déploiement d'un ensemble de programmes concernant la transformation à l'échelle moléculaire (chimie du végétal).

Pour ce qui est des matériaux transformés mécaniquement, l'innovation s'articule largement autour de leur porosité, caractéristique essentielle qui influence directement les performances et le fonctionnement de la majeure partie des matériaux issus de la biomasse. Des domaines tels que l'acoustique, la mécanique ou le fonctionnement hygrothermique sont directement impactés par la porosité de ces matériaux, pouvant engendrer des ruptures technologiques au point que l'on peut parler « d'ingénierie du vide ».

Autre point caractéristique de la recherche dans le domaine, une approche multiphysique marque une rupture avec les solutions consistant à spécialiser les produits (isolant, structure, couverture, remplissage, etc.) et à les additionner pour obtenir les performances attendues. Le fait que différentes performances – mécanique, acoustique et thermique – soient réunies dans un même matériau a engagé les chercheurs dans une approche transversale innovante visant à optimiser des matériaux « multifonctions ».

Enfin, on note que, si les travaux sont très largement dominés par des spécialistes du bâtiment, certains programmes bénéficient de l'expertise de biologistes.

Globalement, il apparaît que le développement des filières de matériaux de construction biosourcés peut et pourra s'appuyer sur une production scientifique active et dynamique. Il reste que, pour en tirer les bénéfices, il faudra que les transferts de technologie soient effectifs, y compris en France où les filières s'approprient difficilement les résultats d'une recherche qui se positionne pourtant en leader au plan international⁴³.

8.4 Les politiques publiques

Que ce soit en Allemagne, au Brésil, aux Etats-Unis, ou encore au niveau de l'Union Européenne et dans bien d'autres pays, on ne compte plus les rapports, directives et plans de développement visant le redéploiement de la bio-économie.

Schématiquement, cinq grandes catégories d'instruments de politiques publiques peuvent être mobilisées pour favoriser le développement des filières :

- Les mesures réglementaires ;
- Les mesures fiscales et financières ;
- Les campagnes d'information, de communication et de formation ;
- Les politiques d'achats publics préférentiels ;
- Les mesures d'organisation de filières.

⁴¹ Panneaux, bétons, matériaux de structure, etc.

⁴² Thermique, phonique, étanchéité, etc.

⁴³ Dans le paysage international de la recherche sur les matériaux de construction biosourcés, les acteurs français font preuve d'un dynamisme notoire en signant plus de 50% des publications recensées dans Science Direct entre 2012 à 2015.

Mais, si ces outils permettent d'affirmer une volonté politique de soutenir le développement de la bio-économie, ils ne sont que rarement accompagnés de mesures opérationnelles de soutien au marché.

Au sein de ces démarches, il existe peu de mesures spécifiques à un secteur d'activité particulier et les matériaux de construction, même s'ils profitent de la dynamique, sont loin d'être considérés comme un enjeu prioritaire.

Toutefois des politiques publiques autres que celles qui visent directement la bio-économie peuvent inciter à l'utilisation des matériaux de construction biosourcés. Le poids des bâtiments en termes de consommation d'énergie est largement identifié dans tous les pays et les politiques d'efficacité énergétique positionnent ce secteur comme une cible prioritaire.

Sur le plan environnemental, le développement d'analyses globales du cycle de vie des bâtiments fait ressortir le poids des matériaux - en particulier en ce qui concerne les impacts sur le climat. Cette approche devrait entraîner l'émergence de réglementations favorables à l'emploi de matériaux biosourcés. Cette tendance est perceptible en France dans les travaux en cours sur l'évolution de la Réglementation Thermique – laquelle s'oriente vers une Réglementation Bâtiment Responsable (RBR 2020) - et au travers de l'apparition de labels spécialisés, d'origines publiques ou privées, tels que le label Bâtiments Biosourcés ou le label BBCA (Bâtiment Bas Carbone).

La France fait en effet partie des pays « bio-dynamiques » bénéficiant de politiques publiques, émanant de l'État et des collectivités locales, spécifiques au développement des matériaux de construction biosourcés. Toutefois, ces politiques ne comportent pas de soutiens financiers ou fiscaux d'envergure qui permettraient une réelle massification du secteur en accompagnant la montée en puissance des filières jusqu'à leur seuil de compétitivité économique⁴⁴.

8.5 Bâti vernaculaire et architecture innovante

Les matériaux biosourcés sont omniprésents dans le bâti vernaculaire de presque toutes les régions du monde et ils sont, par ailleurs, fortement ancrés dans leur territoire de production. Les deux notions, biosourcée et vernaculaire, entretiennent donc des liens étroits. Reléguées au rang de solution du passé, elles ont, pendant une longue période, été ignorées par la recherche et par la formation, amplifiant une image low-tech et dévalorisante. Différents paramètres tendent à modifier cette situation et de nombreuses réalisations contemporaines se réfèrent et utilisent des solutions vernaculaires biosourcées.

En premier lieu, dans une vision « durable » de la construction, l'adaptation aux spécificités des territoires – en termes de ressources, de conditions climatiques, d'organisation sociale et de culture – prend une importance accrue et plaide en faveur de l'utilisation des matériaux et des savoir-faire locaux. Cette tendance trouve ses sources dans la tradition mais n'en est pas moins un terrain d'innovation sur tous les plans.

D'un point de vue économique, elle est un vecteur de revitalisation des territoires et s'inscrit dans les approches d'écologie industrielle et territoriale. D'autre part, comme cela est évoqué plus haut, le monde de la recherche fait preuve d'un intérêt croissant pour les matériaux de construction biosourcés et intègre couramment dans ses travaux les spécificités des productions et savoir-faire locaux. Enfin, conscients de la pertinence technique et écologique, de la cohérence avec le milieu et de la portée culturelle des solutions vernaculaires biosourcées, les architectes se les approprient et les valorisent, parfois en développant des techniques spécifiques. On assiste donc à la production de bâtiments de référence où le bambou, le chaume ou la paille de céréale affichent leur identité et à l'émergence d'une « architecture du végétal » où tradition et innovation sont intimement liées.

Toute cette dynamique tend à estomper l'image dévalorisante de constructions du passé, réservées aux populations les plus défavorisées et les moins développées. Le développement reste toutefois confidentiel et les avancées sont très différentes suivant les territoires.

⁴⁴ Les coûts de développement et d'accès au marché (R&D, évaluation technique, certification, marketing, logistique, commercialisation, etc.) imputent lourdement les marges des produits et limitent leur capacité de développement. D'autres secteurs ont bénéficié d'aides substantielles : par exemple, selon la Cour des Comptes, les consommateurs ont participé au développement des agrocarburants à hauteur de 3 milliards d'euros sur la période 2005-2010 au travers du système de taxation.

Schématiquement, on constate que dans les zones rurales faiblement urbanisées, un des freins essentiels est la disparition des structures sociales qui permettaient de construire et d'entretenir des maisons traditionnelles. Le déploiement passe donc par des innovations autant technologiques que sociales. Dans les zones urbaines, les difficultés d'approvisionnement en matériaux locaux viennent amplifier la problématique. Enfin, au moins pour ce qui concerne les constructions « normées »⁴⁵, l'utilisation des techniques vernaculaires biosourcées se heurte aux exigences de réglementation et de normalisation établies à l'échelle nationale ou internationale et intégrant difficilement toutes les spécificités locales.

8.6 Potentiels et perspectives

Si le poids énergétique et environnemental du fonctionnement des bâtiments fait l'objet de nombreuses statistiques nationales et internationales, nous disposons de peu de données concernant les matériaux de construction (production, transport, mise en décharge, etc.). Nous n'en n'avons pas moins la certitude qu'ils pèsent très lourdement sur au moins trois aspects : la consommation d'énergie, les impacts sur le climat et l'épuisement des ressources difficilement renouvelables. Les démarches d'efficacité énergétique et la nécessité de faire face à la croissance démographique laissent présager que les volumes de matériaux de construction devraient continuer à croître de façon exponentielle pendant les décennies à venir⁴⁶, comme cela est le cas depuis la moitié du XX^e siècle. Le recours à des ressources moins « impactantes » est donc une obligation face aux exigences du développement durable. Pour répondre à cette obligation le développement des solutions biosourcées paraît incontournable comme le sont les démarches de réutilisation et de recyclage⁴⁷.

Les bioressources sont en effet disponibles en quantité importante, y compris dans les écosystèmes naturels dont on ne connaît que partiellement le potentiel. La valorisation de ces ressources doit faire l'objet de stratégies raisonnées pour éviter la surexploitation et fixer les priorités, sachant que les valorisations « matière » sont les plus pertinentes sur les plans environnementaux et socio-économiques.

La valorisation passe également par l'innovation. Si la recherche scientifique dans ce domaine est entrée dans une phase active, les besoins restent énormes. D'une part, la diversité des ressources et des utilisations multiplie les travaux nécessaires, d'autre part, cette recherche doit être relayée par des transferts de technologie efficaces. De plus, les besoins ne se limitent pas à l'innovation technologique : elle doit également être architecturale, structurelle, normative, réglementaire, organisationnelle, commerciale, etc.

Sur ces derniers points les politiques publiques revêtent une importance particulière, tant sur le plan du financement de la recherche que sur celui des mesures réglementaires. De nombreux pays semblent bien engagés dans cette voie même si l'on peut regretter que peu de démarches ciblent précisément le développement des matériaux de construction biosourcés⁴⁸ et que, face aux enjeux et aux potentiels, les moyens mis en œuvre ne soient pas plus ambitieux.

Au-delà de ces constats, l'émergence d'une « architecture du végétal » est sans doute la manifestation la plus concrète de la pertinence du sujet. Cette architecture - innovante bien qu'en rupture avec un modernisme dévolu au béton-verre-acier - se déploie sur tous les continents en s'intégrant aux territoires, ce qui facilite son acceptation.

Les conditions d'un développement significatif des constructions biosourcées sont donc bien réunies. La cohérence entre les leviers et la mise en synergie des actions déterminera la rapidité de l'émergence.

⁴⁵ Par opposition à la construction « informelle » qui représente une part importante de la construction dans les zones de forte urbanisation (p.ex. : 50 à 80% selon estimation pour la ville de Dakar)

⁴⁶ La réduction des surfaces par habitant est le paramètre essentiel qui pourrait atténuer la croissance des besoins en matériaux de construction mais les tendances actuelles vont nettement dans l'autre sens et seraient plutôt un facteur d'amplification. La « réduction », prônée par l'économie circulaire, semble donc un objectif lointain dans ce domaine.

⁴⁷ L'économie circulaire s'appuie sur le principe des 3 R : Réduction, Réutilisation et Recyclage

⁴⁸ La France se positionne, dans ce domaine comme dans celui de l'innovation, parmi les pays les plus dynamiques.



MINISTÈRE
DE L'ÉCOLOGIE,
DU DÉVELOPPEMENT
DURABLE
ET DE L'ÉNERGIE

MINISTÈRE
DU LOGEMENT,
DE L'ÉGALITÉ
DES TERRITOIRES
ET DE LA RURALITÉ

