

République algérienne démocratique et populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
Université Abderrahmane Mira – Bejaia



Faculté de Technologie
Département d'Architecture

Thème :
**Évaluation de la durabilité des constructions à
travers leurs matériaux**

Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master II en Architecture
« Architecture, ville et territoire »

Préparé par :

ACHERCHOUR Lahcen

KERBOUCHE Mohamed Amine

KHAROUNE Makhoulf

Année Universitaire 2014 - 2015

Remerciement

Nos sincères remerciements à notre encadreur monsieur Abd El Kader MERZEG qui a bien voulu diriger ce travail et surtout pour son aide et sa contribution réelle qui a permis de mener à terme ce travail.

Nos remerciements s'adressent aussi aux membres du jury de nous avoirs honorés en acceptant de juger ce modeste travail.

On exprime notre profonde gratitude à l'ensemble des enseignants qui ont contribué à notre formation à l'enceinte de l'université de Bejaia.

On remercie particulièrement, nos familles pour leur soutien, leur confiance, et leur amour.

Dédicace

On dédie ce travail à :

Nos chers parents à qui on doit tout

Nos chers frères et sœurs qui nous ont toujours soutenus.

Tous nos amis

Sommaire

LISTE DES TABLEAUX.....	VII
LISTE DES FIGURES	VIII
ACRONYMES	IX
RESUME	XI
LE CHAPITRE INTRODUCTIF.....	13
1. INTRODUCTION GENERALE	13
2. PROBLEMATIQUE GENERALE	15
3. LES HYPOTHESES.....	15
4. LES OBJECTIFS	16
5. METHODOLOGIE DE RECHERCHE	16
6. STRUCTURATION DE LA RECHERCHE :	16
CHAPITRE 01 : NOTIONS SUR LE DEVELOPPEMENT DURABLE	19
1. HISTORIQUE DU DEVELOPPEMENT DURABLE	19
1.1. <i>Naissance d'un concept</i>	19
1.2. <i>Représentation d'un concept</i>	21
2. LES PRINCIPES FONDATEURS DU DEVELOPPEMENT DURABLE.....	25
2.1. <i>Le principe éthique</i>	25
2.2. <i>Le principe de précaution</i>	25
2.3. <i>Le principe de prévention</i>	26
2.4. <i>Le principe de responsabilité : base du principe "pollueur-payeur"</i>	26
2.5. <i>Le principe d'amélioration continue</i>	26
3. LES ENJEUX DU DEVELOPPEMENT DURABLE.....	26
3.1. <i>Les enjeux environnementaux du développement durable :</i>	26
3.2. <i>Les enjeux sociaux du développement durable :</i>	27
3.3. <i>Les enjeux économiques du développement durable :</i>	27
4. LES APPROCHES D'ÉVALUATION DE DEVELOPPEMENT DURABLE :.....	28
4.1. <i>L'approche d'un jeu d'indicateur</i>	28
4.2. <i>L'approche d'axes prioritaires</i>	29
4.3. <i>L'approche d'indicateur intégré</i>	29

5. LES INDICATEURS DE DEVELOPPEMENT DURABLE.....	29
6. DEVELOPPEMENT DURABLE EN ALGERIE	31
6.1. <i>Historique et constat</i>	31
6.2. <i>Définition algérienne du concept</i>	32
6.3. <i>Lois et décrets juridiques sur le développement durable en Algérie</i>	32
6.3.1. Lois relative à la protection de l'environnement	32
6.3.2. Lois relatives à l'efficacité énergétique	33
CONCLUSION	33
CHAPITRE 02 : CONSTRUIRE AVEC LE DEVELOPPEMENT DURABLE....	35
I. L'ARCHITECTURE DURABLE	35
1.1. <i>Définition</i>	35
1.2. <i>Les courants de l'architecture durable</i>	36
1.3. <i>Les différents paramètres pour réussir une architecture durable</i>	36
1.4. <i>Types de conceptions durables « écologique »</i>	37
1.4.1. Les bâtiments bioclimatiques	37
1.4.2. Les maisons Basses consommation	38
1.4.3. Les maisons autonomes ou maisons zéro énergie	39
1.4.4. Les maisons passives.....	39
1.4.5. Les maisons à énergie positive	40
II. LA CONSTRUCTION DURABLE	41
II.1. <i>La définition de la construction durable</i>	41
II.2. <i>Les dimensions de la construction durable</i>	41
II.2.1. La dimension écologique de la construction durable.....	41
II.2.2 La dimension sociale de la construction durable	42
II.2.3 La dimension économique de la construction durable	42
II.3. <i>Les aspects de la construction durable</i>	43
II.4. <i>La collaboration de l'architecte entre différents niveaux de la construction durable</i>	44
CONCLUSION	45
CHAPITRE03 : LES MATERIAUX DE CONSTRUCTION	47
1. GENERALITES SUR LES MATERIAUX.....	47

1.1. Introduction	47
1.2. Définitions.....	47
2. LES MATERIAUX DANS LE DOMAINE DE L'ARCHITECTURE	48
2.1. L'évolution des matériaux de construction.....	49
2.2. Type de matériaux.....	51
2.2.1. La famille des matériaux minéraux.....	51
2.2.2. La famille des matériaux métalliques	52
2.2.3. La famille des matériaux organiques.....	52
2.2.4. Les matériaux composites	53
2.3. Les matériaux les plus utilisés dans la construction	53
2.3.1. Le ciment.....	53
2.3.2. Le béton	54
2.3.3. Le verre	56
2.3.4. La brique	58
2.3.5. L'Acier.....	60
2.3.6. L'aluminium	61
2.3.7. Le bois	62
3. LES CRITERES DE CHOIX D'UN MATERIAU	64
3.1 Les propriétés physiques et mécanique des matériaux	65
3.2 L'aptitude au façonnage des matériaux	66
3.3 Les critères environnementaux	66
3.4 Des matériaux peu coûteux	67
CONCLUSION	67
CHAPITRE 04 : METHODES ET OUTILS D'EVALUATION DES	
CONSTRUCTIONS.....	70
I. LES METHODES D'EVALUATION ENVIRONNEMENTALES DES BATIMENTS	70
1.1. Définition de la méthode d'évaluation des bâtiments	70
1.2. Types de méthodes d'évaluation des bâtiments	71
1.2.1. La méthode BREEAM	71
1.2.2. La méthode LEED	74
1.2.3. La méthode SBTool	78

I.2.4. la méthode HQE.....	80
II. LES OUTILS D’EVALUATION DES MATERIAUX DE CONSTRUCTION	83
II.1. Définition d’un outil d’évaluation des matériaux de construction	83
II.2. Types d’outils d’évaluation des matériaux de construction	83
II.2.1. l’analyse de cycle de vie (ACV).....	83
II.2.1.1. Définitions	83
II.2.1.2. Les étapes de l’analyse de cycle de vie.....	84
II.2.2. Analyse de cycle de vie des bâtiments	87
II.2.3. Méthode des éco indicateurs	89
II.2.4. Le Sac A dos Ecologique Material Intensity per Service Unit (MIPS).....	89
CONCLUSION	90
CHAPITRE 05 : ELABORATION D’UNE METHODE D’EVALUATION	93
1. METHODOLOGIE.....	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.
1.1. Définition du thème	93
1.2. Définition d’indicateur	94
2. CHOIX DES THEMES RETENUS DANS CHAQUE METHODE.....	95
3. CLASSIFICATION DES THEMES RETENUS	96
4. DEFINITION DES THEMES FINAUX.....	97
4.1. Intégration du bâtiment dans son environnement.....	97
4.1.1 Explication et but de chaque indicateur	97
4.2. Matériaux	98
4.2.1. Explication et but de chaque indicateur	99
4.3. Confort et santé :.....	101
4.3.1. Explication et but de chaque indicateur	101
4.4. Gestion écologique	103
4.4.1. EXPLICATION ET BUT DE CHAQUE INDICATEUR.....	103
5. INDICATEURS FORMULES POUR CHAQUE THEME	107
CONCLUSION	108
CONCLUSION GENERALE.....	110
BIBLIOGRAPHIE.....	112

Liste des tableaux

TABLEAU 1 : BERNARD GUIBERT. ADOPTION PAR L'EUROPE D'INDICATEURS DE DEVELOPPEMENT DURABLE..	30
TABLEAU 2: LES BATIMENTS DURABLES ET LEURS PRINCIPAUX ASPECTS.	43
TABLEAU 1: LES MATERIAUX PLASTIQUE.	52
TABLEAU 2: PROPRIETE PHYSIQUE ET MECANIQUE DU VERRE FLOTTE.	58
TABLEAU 3: LES PROPRIETES PHYSICO –MECANIQUES DES BRIQUES CREUSES ET PERFOREES.	59
TABLEAU 4: LA RESISTANCE THERMIQUE DES BRIQUES PLEINE, CREUSES ET PERFOREES.	59
TABLEAU 5: LES PRINCIPAUX IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DES METAUX.	62
TABLEAU 6 : COMPARAISON ENTRE MATERIAUX D'ISOLATION D'ORIGINES ORGANIQUES ET D'ORIGINES MINERALES.	64
TABLEAU 5: LES 14 CIBLES DE QUALITE ENVIRONNEMENTALES DU BATIMENT.	83
TABLEAU 6: CLASSIFICATION DES IMPACTS.	86
TABLEAU 7: ETAPE DE L'ANALYSE DE L'ACV	87
TABLEAU 8: LOGICIELS POUR L'ACV DES BATIMENTS.	88
TABLEAU 9: THEMES RETENUS DANS CHAQUE METHODE.	95
TABLEAU 10: CLASSIFICATION DES THEMES RETENUS.	96
TABLEAU 11: INDICATEUR FORMULE POUR CHAQUE THEME.	107

Liste des figures

FIGURE 1 : LES GRANDES DATES DU DEVELOPPEMENT DURABLE.	21
FIGURE 2: SCHEMA DEFINISSANT LE DEVELOPPEMENT DURABLE.	24
FIGURE 3: DIFFERENTES IMAGES DE DEVELOPPEMENT DURABLE.	24
FIGURE 4: MAISON BIOCLIMATIQUE (SUNDGAU PRES DE BELFORT).	38
FIGURE 5: SYSTEME BBC (CAPTEUR SOLAIRE POMPE A CHALEUR).	38
FIGURE 6: MAISON ZERO ENERGIE.	39
FIGURE 7: MAISON PASSIVES AU LAC GRANDERKISEE.	40
FIGURE 8: BUREAUX A ENERGIE POSITIVE (LA TOUR ELITHIS A DIJON).	40
FIGURE 9: MATERIAUX PRESENTS DEPUIS LES CIVILISATIONS ANCIENNES.	50
FIGURE 10: MATERIAUX PRESENTS DEPUIS LES CIVILISATIONS MODERNES.	51
FIGURE 11 : SCHEMA DU PROCESSUS DE FABRICATION DU VERRE FLOTTE.	57
FIGURE 12: SCHEMA DU PROCESSUS DE FABRICATION DE LA BRIQUE.	58
FIGURE 13: SCHEMA DE FABRICATION DE TOLES EN ACIER.	61
FIGURE 14 : SCHEMA DU CYCLE DE VIE DE L'ALUMINIUM.	62
FIGURE 16: PRINCIPE DE L'ANALYSE DU CYCLE DE VIE.	84
FIGURE 17: REPRESENTATION D'UN INVENTAIRE DU CYCLE DE VIE.	85
FIGURE 18: SCHEMA GENERAL DE L'OUTIL D'EVALUATION.	93
FIGURE 19: STRUCTURATION DE L'OUTIL D'EVALUATION.	94

Acronymes

WBSD : World Business Council for Sustainable Development

UICN : Union Internationale pour la Conservation de la Nature

PNUE : Programme des Nations Unies pour l'Environnement

PNUD : Programme des Nations Unies pour le développement

CMED : Commission Mondiale sur l'Environnement et le Développement

CNUED : Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le Développement

RSE : Responsabilité Sociétale des Entreprises

ONG : Organisations Non Gouvernementales

AFNOR : l'Association Française de Normalisation, organisme officiel français de normalisation

ISO : l'Organisation Internationale de Normalisation

FMN : Fonds Mondial pour la Nature

WWF : World Wide Fund

UICNR : Union Internationale pour la Conservation de la Nature et de ses Ressources

OMC : l'Organisation Mondiale du Commerce

OCDE : L'Organisation de Coopération et de Développement Economiques

ONU : Organisation des Nations-Unies

PIB : Produit Intérieur Brut

IFEN : l'Institut Français de l'Environnement

PNAE-DD : Plan National d'Action pour l'Environnement et le Développement Durable

BBC : Bâtiment a Basse Consommation

CSTB : Centre Scientifique Technique des Bâtiments

BTP : Bâtiment Travaux Public

CPA : Ciment Portland pur

CPJ : Ciment Portland composé

CCV : Composite Ciment Verre

BREG : BuildingResearch Establishment Global

BREEAM : BuildingResearch EstablishmentEnvironmental Assessment Method

USGBC : US Green Building Council

LEED : Leadership in Energy and Environment

GBTool : Green Building Tool

SBTool : Sustainable Building Tool

GBC : Green Building Challenge

SBC : Sustainable Building Challenge

HQE : Haute Qualité Environnementale

ADEME : L'Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

LCA : Life Cycle Assessement

ACV : Analyse de Cycle de Vie

SETAC : Society for Environmental Toxicology and Chemistry

GWP : Global Warning Potentiel

EPS : Environment Priority Strategy

MIPS : Material Intensity per Service Unit

Résumé

Aujourd'hui, la conception et la gestion d'ouvrages, de bâtiments sont devenues des enjeux majeurs dans nos sociétés auxquelles la durabilité des bâtiments et leurs matériaux de construction sont fortement liés. Actuellement nous avons à notre disposition d'innombrables matériaux de différentes caractéristiques qui participent à la construction, à l'image, aux ambiances et au confort du bâtiment. Pour atteindre la durabilité de ce bâtiment, les outils et les méthodes d'évaluation sont essentiels pour les acteurs des projets architecturaux. Le matériau de construction n'est pas considéré comme un point majeur dans ces évaluations d'où la nécessité d'une méthode d'évaluation qui permet de conjuguer les données sur les matériaux de construction dans les principes et concepts du développement durable.

Mots clés : les méthodes d'évaluation, les matériaux de construction, la durabilité.

CHAPITRE INTRODUCTIF

Le chapitre introductif

1. Introduction générale

Depuis la nuit des temps, l'homme n'a cessé de se battre pour surpasser les entraves d'une vie meilleure (sécurité, stabilité, confort, etc.), et chaque génération d'être humain à apporter son lot dans la modernité et l'évolution actuelle.

À l'heure où l'on se rend compte des limites de notre planète l'homme doit faire face aux différentes contraintes (mauvaise gestion des ressources naturelles, inégalité sociale,...etc.) qui menacent son bien-être. Cela a poussé l'homme à envisager une approche qui peut avoir un impact positif sur les enjeux environnementaux, économiques et sociaux à l'échelle locale et internationale, ce qui a donné naissance à la notion de développement durable. Défini par le rapport Brundtland de 1987 comme un « *développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs* »¹, C'est-à-dire encourager le développement socio-économique sans porter atteinte à l'environnement et le préserver pour les générations futures. Popularisé par le Sommet de la Terre de Rio de Janeiro en 1992, le développement durable s'affirme comme un concept à la mode qui se répand dans l'opinion mais qui devient aussi une composante de l'action publique, un enjeu des relations internationales et un objet d'enseignement et de réflexion scientifique et citoyenne.

Walter Gropius disait « *construire signifie concevoir des processus de vie* »², les bâtiments ont un impact social, environnemental et économique considérable sur la vie des citoyens, d'après le conseil des architectes d'Europe « *nous passons 90% de notre vie dans des bâtiments. Nous créons notre environnement bâti, puis il nous "façonne" pendant des décennies* »³ cela confirme l'importance des constructions sur le plan socio-économique, mais malheureusement la dimension environnementale est souvent délaissée. Selon les chiffres du World Business Council for Sustainable Development, le secteur du bâtiment représente plus de 40% de la consommation d'énergie primaire dans le monde, et il est responsable de 20% des émissions mondiales de gaz à effet de

¹ LA COMMISSION MONDIALE SUR L'ENVIRONNEMENT ET LE DEVELOPPEMENT dite Rapport de Brundtland. *Notre avenir à tous*, 1987.

² KREBS, Jan. *Concevoir l'habitat*. Bâle : Birkhäuser_éditions d'architecture, 2007, p71.

³ CONSEIL DES ARCHITECTES D'EUROPE, 29 avril 2013, p1.

serre. L'architecte se positionne comme un acteur clé dans la prise en compte de l'impact négatif des constructions sur l'environnement, pour Gianluca Gelmini « *l'architecture ne peut sauver le monde, mais elle peut donner l'exemple.* »⁴. En cherchant une architecture respectueuse de son environnement, où les bâtiments doivent non seulement être économes en énergie ou construits à l'aide de matériaux recyclés, mais aussi posséder un climat intérieur sain et confortable et être sûres et accessibles, les coûts de construction, d'entretien et ceux qui sont liés au cycle de vie jouent un rôle non négligeable, cette architecture peut être décrite comme durable en présentant un équilibre entre les trois dimensions du développement durable.

Le secteur de la construction joue un rôle clé dans toute politique visant un développement durable pour le 21^{ème} siècle. La révolution industrielle a profondément bouleversé le monde de la construction, en l'inondant de nouveaux matériaux.

Les évolutions des sciences, des techniques, des modes de production ont multiplié les innovations qui ont considérablement fait accroître le nombre de matériaux anciens tels que : L'utilisation de l'ardoise, de la brique, du chaume, de la pierre, de la terre, du bois, du ciment, du plâtre, de la chaux, etc. À l'apparition de l'emploi massif de nouveaux matériaux comme : l'acier, l'aluminium, PVC, verre, etc. Devant cette multitude de choix, les architectes se trouvent dans une situation où les informations sont nombreuses, où règne la confusion au sein des différents critères de sélection. Toutefois aucun matériau n'arrive à satisfaire la totalité de ces critères. Il n'existe pas de matériau qui soit à la fois très performant sur le plan technique, peu coûteux à l'investissement et à l'entretien et très respectueux de l'environnement et de la santé.

Par rapport à tous ces constats cités antérieurement, notre travail consiste principalement à l'élaboration d'une méthode d'évaluation de la durabilité des bâtiments à travers ses matériaux de construction. En s'appuyant sur une quête de connaissance et de données liées à la construction dans le cadre du développement durable, aux matériaux dans le domaine de la construction, et en se basant sur différents outils et méthodes d'évaluation de la durabilité les plus utilisés à l'échelle internationale.

⁴GELMINI, Gianluca. Alvaro, Alto. Arles : Actes sud, 2008, p89.

2. Problématique générale

Le secteur du bâtiment est aujourd'hui confronté à un enjeu de taille pour atteindre une réelle pratique de développement durable, l'urbanisation massive, ainsi que l'augmentation rapide de la population avaient des répercussions négatives sur la qualité de la construction et de l'environnement.

Afin de pallier ces problèmes, de multiples démarches (outils et méthodes d'évaluation) ont vu le jour en se basant sur les principes du développement durable, qui se préoccupent essentiellement des impacts environnementaux liés au secteur du bâtiment.

L'absence d'une méthode d'évaluation des constructions à travers ses matériaux via plusieurs critères qui nous mènent à un meilleur choix de produits. Cette négligence a engendré des dégradations environnementales et des pertes économiques (extraction, fabrication des matériaux, déchets en phase de construction, d'utilisation et de démolition, consommation d'importantes quantités de l'énergie, transport et mise en œuvre...). Cela confirme le rôle important des matériaux de construction pour réussir un bâtiment durable.

Notre travail s'inscrit dans une optique globale de recherche sur l'amélioration de la durabilité de la construction à travers les matériaux qui la constituent, nous allons essayer de répondre aux préoccupations suivantes :

- De quelle manière interviennent les matériaux de construction dans l'amélioration de la durabilité d'une conception architecturale ?
- Comment évaluer la durabilité d'une construction à travers ces matériaux ?

3. Les hypothèses

En vue de répondre aux questions posées, nous avons construit deux hypothèses :

- Pour progresser dans la direction de la durabilité des constructions, il faut intégrer les matériaux de construction de manière telle que ces derniers soient en mesure de satisfaire la totalité des critères de choix, de performances et de leurs utilisations.
- Les efforts mis en œuvre pour construire un bâtiment durable sont en grandes parties motivées par l'adaptation des méthodes de mesures et des outils d'évaluation des matériaux de construction.

4. Les objectifs

Ainsi, les questions posées et les hypothèses formulées, cette recherche poursuit l'objectif suivant : Parvenir à une approche théorique qui semble nécessaire pour saisir la définition du développement durable dans le cadre de la construction et cela par la mise en œuvre d'un ensemble de concepts que nous aborderons dans ce travail de recherche tels que ; les matériaux de construction utilisés et enfin la création d'un outil d'évaluation.

5. Méthodologie de recherche

D'après notre thème de recherche, on a d'abord décortiqué le thème en plusieurs sous-thèmes : durabilité des constructions et évaluation des matériaux. On a essayé de comprendre la relation entre les sous-thèmes, et cela en se focalisant premièrement sur le développement durable et la construction durable, à travers une recherche thématique citant les définitions, les concepts et les principes ... et deuxièmement sur les matériaux de construction, leurs caractéristiques économiques, physique, mécaniques et leurs impacts environnementaux...

Dans le but d'établir un meilleur choix du matériau, une évaluation de ce dernier est nécessaire dont l'objectif principal est de réussir une construction durable. Cela nous a poussés à rechercher d'avantages sur les méthodes et outils d'évaluation de la durabilité du matériau.

Cette recherche nous a permis d'élaborer une méthode d'évaluation de la durabilité des constructions à travers leurs matériaux.

6. Structuration de la recherche :

Le développement de notre thème ayant comme centre d'intérêt l'évaluation de la durabilité des bâtiments à travers les matériaux de construction.

Ce présent mémoire de recherche sera structuré autour de cinq (05) chapitres :

- Le 1^{er} chapitre : ce chapitre sera consacré à la présentation du développement durable à l'aide d'éléments théoriques qui se rapportent aux concepts, aux définitions, aux principes, enjeux, et indicateurs du développement durable,

- Le 2^{ème} chapitre : nous cherchons dans ce chapitre comment parvenir à intégrer le développement durable dans le domaine de la construction en se référant à l'architecture durable, ses objectifs et ses types de conceptions.
- Le 3^{ème} chapitre : il nous semble évident dans ce présent chapitre de présenter tout ce qui traite de matériaux de construction, c'est-à-dire, un aperçu sur ses types, ses comportement, ses rôles et enfin sa mise en œuvre.
- Le 4^{ème} chapitre il nous semble important d'étudier les outils d'évaluation des matériaux et méthodes d'évaluation de la durabilité des bâtiments les plus utilisés à l'échelle internationale.
- Le 5^{ème} chapitre : pour répondre à la problématique posée, nous élaborons une méthode d'évaluation de la durabilité des bâtiments à travers ses matériaux de construction.

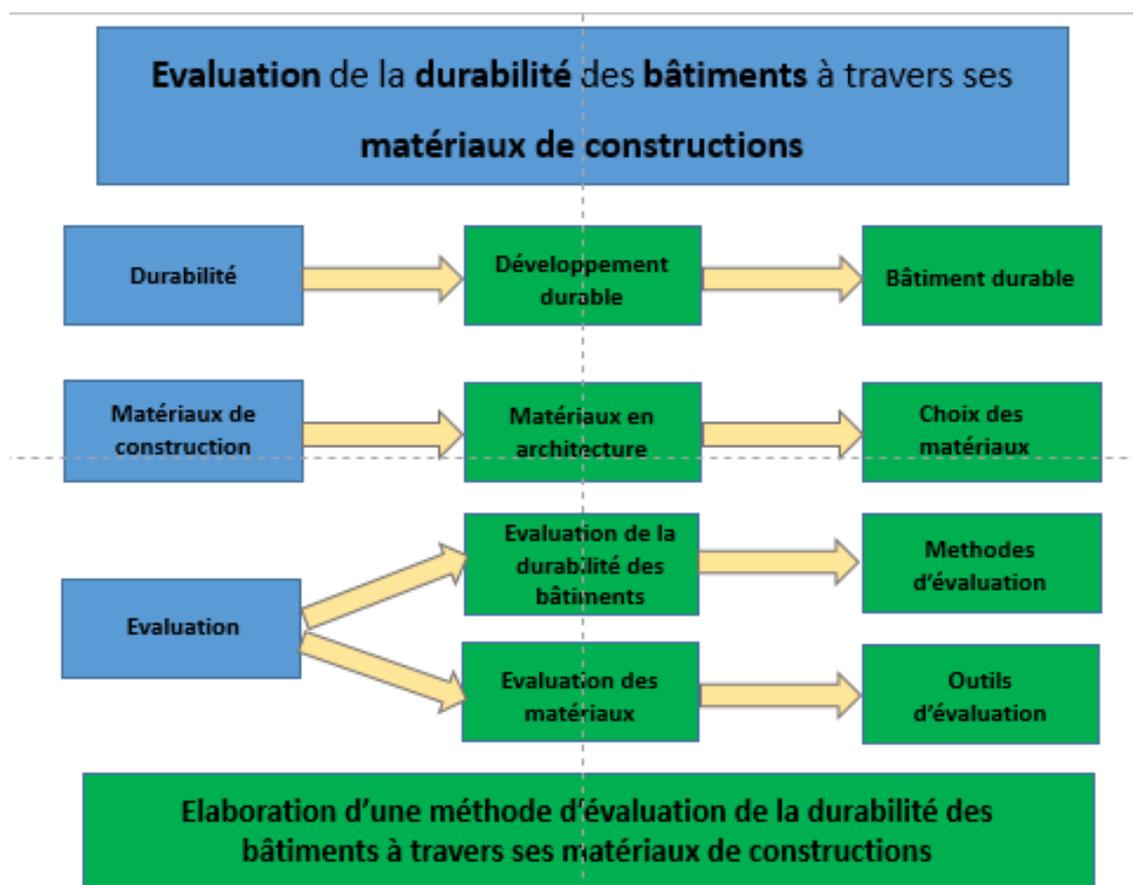


Figure 1: schéma montrant la structuration des chapitres

CHAPITRE 01 : Notions sur le développement durable

Chapitre 01 : Notions sur le développement durable

1. Historique du développement durable

1.1. Naissance d'un concept⁵

La réflexion sur la relation entre activités humaines et écosystèmes n'est pas récente. Mais ce n'est que dans la deuxième partie du XXe siècle qu'elle trouve un début de réponse, pour finalement se traduire au travers du concept de développement durable, progressivement construit au cours des trois dernières décennies du siècle.

Dès 1951, l'UICN (Union Internationale pour la Conservation de la Nature) publie le premier rapport sur l'état de l'environnement dans le monde, rapport précurseur dans sa recherche de réconciliation entre économie et écologie. Les années 60 ayant été marquées par un sale constat que les activités économiques génèrent des atteintes à l'environnement (déchets, fumées d'usines, pollutions des cours d'eau, ...etc.), le Club de Rome dénonça en 1970 (*Halte à la croissance*) le danger que représente une croissance économique et démographique exponentielle du point de vue de l'épuisement des ressources (énergie, eau, sol), de la pollution et de la surexploitation des systèmes naturels. Le développement économique et la protection de l'environnement sont présentés comme contradictoires.

À la veille de la Conférence des Nations Unies sur l'Environnement humain de Stockholm (1972), le réexamen des liens entre environnement et développement animé par Maurice Strong, son organisateur, permet d'introduire un modèle de développement économique compatible avec l'équité sociale et la prudence écologique, qui serait basé sur la satisfaction des besoins plutôt que sur une augmentation incontrôlée de l'offre. Le concept d'écodéveloppement est né, repris par le français Ignacy Sachs, qui y voit le moyen de réconcilier le développement humain et l'environnement, indissociables l'un de l'autre, et qui affirme la nécessité de remettre en cause les modes de développement du Nord et du Sud, générateurs de pauvreté et de dégradations environnementales.

⁵ SOMMET MONDIAL POUR LE DEVELOPEMENT DURABLE. *Dossier d'information pour Johannesburg*, éd : Ministre de l'écologie et du développement durable, 2002.

La Conférence de Stockholm sur l'environnement humain s'ouvre donc modestement aux questions du développement : elle aboutit à la création du Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE), complément du Programme des Nations Unies pour le développement (PNUD). Si la notion d'écodéveloppement est rapidement écartée du vocabulaire international, l'idée d'un développement qui ne soit pas uniquement guidé par des considérations économiques, mais également par des exigences sociales et écologiques va poursuivre son chemin, notamment grâce à l'action des associations de protection de l'environnement.

En 1980, suite aux catastrophes qui auraient lieu, l'exigence d'une solidarité planétaire en matière d'environnement est en route. En 1987, la publication du rapport *Notre Avenir à tous* de la Commission Mondiale sur l'Environnement et le Développement (Commission dite Brundtland, du nom de Mme Gro Harlem Brundtland qui l'a présidée) consacre le terme de "Sustainable Development", proposé par l'UICN en 1980 dans son rapport sur la Stratégie Mondiale de la Conservation, et successivement traduit en français par 'développement soutenable' puis 'développement durable' ou

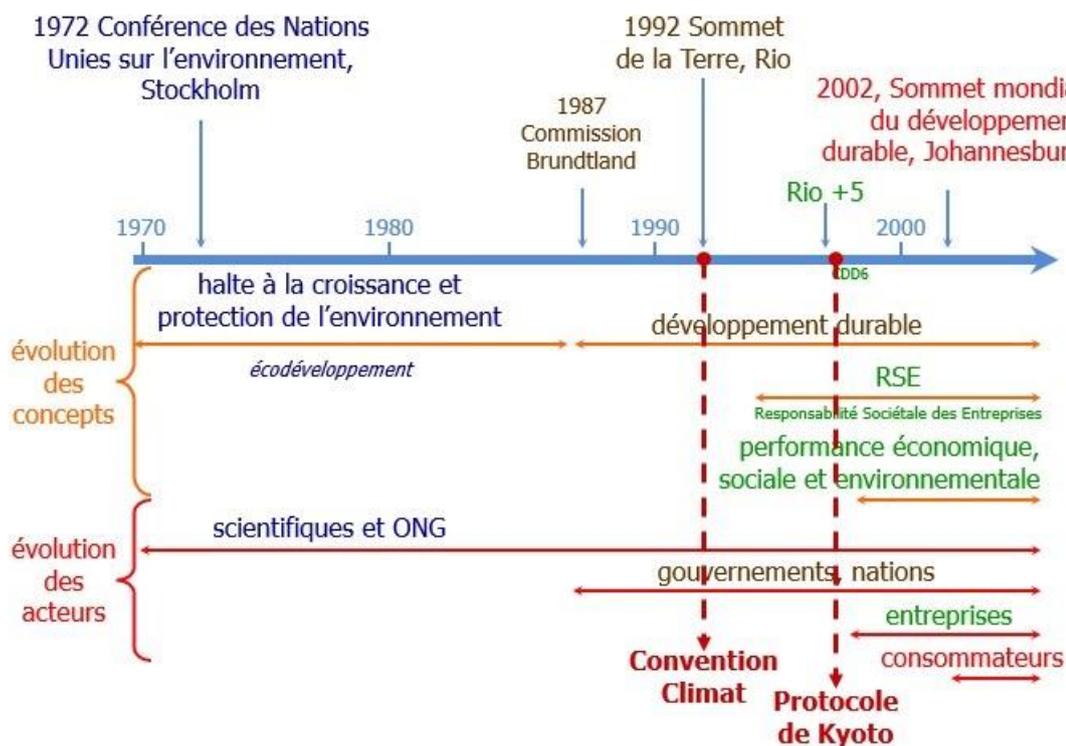


Figure 2: Les grandes dates du développement durable. Source AFNOR.

‘développement viable’. Le développement durable sera consacré par 182 Etats lors de la Conférence des Nations Unies sur l’environnement et le Développement (CNUED, ou sommet de la planète Terre) en 1992 à Rio de Janeiro.

Figure 3 : les grandes dates du développement durable. Source AFNOR.

D’après ce schéma établi par AFNOR (l’Association Française de Normalisation, organisme officiel français de normalisation, elle représente la France auprès de l’organisation internationale de normalisation ISO.), on constate deux (02) périodes principales sur lesquelles le concept de développement durable s’est évolué :

- La 1^{ère} période (de 1970 à 1987) : le 1^{er} sommet de la terre a eu lieu à Stockholm en 1972 où l’écodéveloppement est apparu comme concept qui a pour objectif la protection de l’environnement et la dénonciation de la croissance économique. Ce concept a évolué par le travail coopéré des scientifiques et de différentes organisations (ONG, UICN,...).
- La 2^{ème} période (de 1987 à 2002) : le concept de développement durable se définit comme concept qui réconcilie entre la dimension économique, sociale et environnementale lors de la conférence de la commission mondiale sur l’environnement et le développement. Dans cette période les différents acteurs (gouvernements, nations entreprises et usagers...) ont participé à l’évolution de ce concept et de son application.

1.2. Représentation d’un concept

Le développement durable s’est imposé comme une nouvelle manière de penser le monde, de définir un projet de société et de faire face à de nombreux défis contemporains : l’efficacité économique, l’équité sociale et la prudence environnementale.

Avant de définir le développement durable, on doit d’abord savoir ce que le mot « développement » signifie, selon le dictionnaire Larousse « fait pour quelque chose de progresser de s’accroître, de prendre de l’importance ; essor, expansion ». Le terme « développement durable » fait référence au terme anglais de « Sustainable Development ». Cette expression a été critiquée comme se prêtant à des interprétations parfois antinomiques. La confusion a été favorisée par le fait que l’on employait indifféremment « développement durable », « croissance durable » et « utilisation durable », comme si ces expressions revêtaient une signification identique. Tel n’est pas

le cas. La notion de « croissance durable » comporte en effet une contradiction dans les termes, puisque rien de physique n'est susceptible de croître indéfiniment. Quant à la formule « utilisation durable », elle s'applique par définition exclusivement aux ressources renouvelables : elle implique une utilisation respectant la capacité de renouvellement⁶.

On trouve plusieurs représentations de ce concept à travers le monde :

- Selon la définition communément admise et qui figure dans le rapport Brundtland (CMED, 1987) : Le développement durable est un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs⁷.»

Deux concepts sont indissociables à cette notion :

- Le concept de « besoins », plus particulièrement des besoins essentiels des plus démunis, à qui il convient d'accorder la plus grande priorité ;
- L'idée des limitations que l'état de nos techniques et de notre organisation sociale imposent sur la capacité de l'environnement à répondre aux besoins actuels et à venir.

Cela signifie que le développement durable doit répondre essentiellement aux nécessités indispensables de la tranche sociale la plus démunie de façon plus équitable entre les générations (l'équité entre les générations doit également se manifester à l'intérieur d'une même génération), sans compromettre l'environnement par une exploitation plus raisonnable des ressources. Un développement qui se fait au détriment de la qualité de l'environnement ne peut pas être viable à long terme. Un développement basé sur l'exploitation des ressources, pour être durable, devra respecter le taux de renouvellement des ressources, dans le cas d'une ressource renouvelable, ou devra prévoir un échéancier de remplacement de la ressource, dans le cas d'une ressource non renouvelable.

- Selon UICN, PNUE, FMN (WWF), *Sauver la planète : Stratégie pour l'Avenir de la Vie* définit le développement durable par le fait d'améliorer les conditions

⁶ UNION INTERNATIONALE POUR LA CONSERVATION DE LA NATURE ET DE SES RESSOURCES, 1991.

⁷ La Commission Mondiale sur l'Environnement et le Développement dite Rapport de Brundtland. *Notre avenir à tous*, 1987.

d'existence des communautés humaines tout en restant dans les limites de la capacité de charge des écosystèmes.

- Selon la déclaration de Rio adoptée par les représentants de plus de 170 pays en 1992, stipule que le développement durable est centré sur le droit des êtres humains à une vie saine et productive en harmonie avec la nature, et que le droit au développement doit être réalisé de façon à satisfaire équitablement les besoins relatifs au développement et à l'environnement des générations présentes et futures.

D'après ces diverses définitions, on constate que le développement durable est un processus de développement quiconcilie l'environnement, l'économie et le social et établit un cercle vertueux entre ces trois pôles : c'est un développement, économiquement efficace, socialement équitable et écologiquement efficient. Il est respectueux des ressources naturelles et des écosystèmes, support de vie sur terre, qui garantissent l'efficacité économique, sans perdre de vue les finalités sociales du développement que sont la lutte contre la pauvreté, contre les inégalités, contre l'exclusion et la recherche de l'équité. Une stratégie de développement durable doit être gagnante de ce triple point de vue économique, sociale et écologique.

- **L'efficacité économique** : prenant en compte la globalisation des coûts et une bonne gestion de projets pour une productivité optimale.
- **L'équité sociale** : Au présent, en prenant des mesures concrètes contre l'inégalité sociale ; en mobilisant les citoyens, créant un contexte géopolitique d'entraide. Sur le long terme, en préservant les intérêts des générations futures.
- **La prudence environnementale** : Donnant la priorité à une politique préventive plutôt que curative concernant les ressources naturelles et les impacts

sur la biodiversité et les écosystèmes.

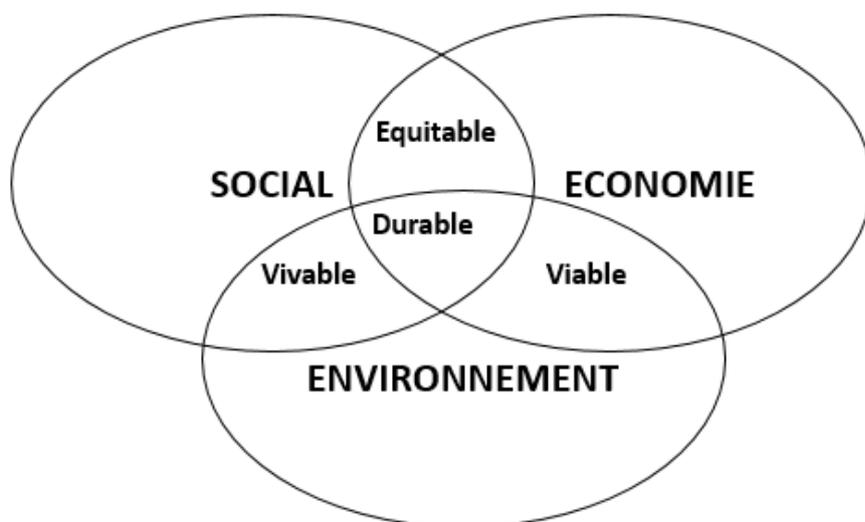


Figure 4: Schéma définissant le développement durable selon l'Agence Régionale pour l'Environnement ARPE 2001.

L'interprétation de la notion du développement durable dépend aussi fortement de la discipline à laquelle appartient une personne, comme le montre la figure 04.



Figure 5: Différentes images de développement durable selon Khalfan 2002.

En fonction des individus, la perspective n'est pas la même ; elle est fortement liée à la capacité d'agir individuelle. La vision de chacun est donc déformée par son métier et il sera par exemple plus difficile pour un économiste de concevoir que le développement durable doit être envisagé sous la forme d'action à mener pour sauvegarder l'écosystème plutôt que sous la forme d'un nouveau mode de développement économique à mettre en place afin de réduire les inégalités⁸.

La réussite d'un développement durable repose essentiellement sur une bonne gouvernance, où la mobilisation et la participation de tous les acteurs de la société (politiciens, citoyens, professionnels du métier...) aux processus de décision. Le développement durable encourage la démocratie participative et renouvel l'approche citoyenne.

2. Les principes fondateurs du développement durable⁹

Le développement durable est fondé sur des principes à appliquer au quotidien :

2.1. Le principe éthique

Il est fondé sur la défense et la promotion des valeurs universelles, à partir de "bonnes pratiques". L'éthique est le seul élément incontournable ; il réunit l'ensemble des autres principes. Le principe d'éthique, décliné de plus en plus dans les organisations, revient à préserver la dignité et la justice. La notion de dignité est inscrite dans le premier article de la convention européenne.

2.2. Le principe de précaution

Le principe de précaution introduit la prise en compte de l'avis scientifique minoritaire, traitant les éventualités comme des certitudes. Son application justifie ou rend impératif de limiter, d'encadrer ou d'empêcher certaines actions présentant un danger grave, sans attendre que le danger soit scientifiquement établi de façon certaine. Il cherche à établir une norme de dommage zéro. En prenant en compte l'irréversibilité des décisions, et en maintenant les options ouvertes.

⁸CHERQUI, Frédéric. *Méthodologie d'évaluation d'un projet d'aménagement durable d'un quartier*. Méthode ADEQUA, 2005.

⁹ANGATSHA. *Présentation du développement durable*, Vélizy Villacoublay, juillet 2008.

2.3. Le principe de prévention

La prévention, à l'inverse de la précaution, consiste à contrôler les risques avérés et à en réduire les impacts, en utilisant les meilleures techniques disponibles à un coût économiquement acceptable.

2.4. Le principe de responsabilité : base du principe "pollueur-payeur"

L'exercice de la responsabilité repose sur un engagement global et universel, intemporel, individuel et local. Son application passe par le respect de cinq commandements :

- Traiter les éventualités comme des certitudes,
- Engager notre responsabilité sur le futur, dont nous sommes les otages,
- Dans la course au progrès, nous conduire selon une éthique de l'actuel et, en même temps, une éthique de l'être,
- Être responsable de soi-même, mais aussi des actes des autres,
- Agir de telle façon que les effets de notre action soient compatibles avec la permanence d'une vie authentiquement humaine sur terre.

2.5. Le principe d'amélioration continue

Le principe d'amélioration continue vise :

- L'adhésion à des principes et des valeurs, ainsi que l'engagement de moyens pour les mettre en œuvre.
- Une approche globale de la décision et de la gestion, accompagnée d'indicateurs, et de processus d'évaluation et de reporting.
- La pratique de la subsidiarité, confiant la décision et l'action à l'échelon le plus approprié, ainsi que celle de la transversalité.

3. Les enjeux du développement durable¹⁰

Les enjeux du développement durable peuvent être classés en trois catégories qui correspondent aux trois piliers : environnementaux, sociaux et économiques.

3.1. Les enjeux environnementaux du développement durable :

En 2002, selon le WWF*, le bilan global des écosystèmes naturels fait état d'une diminution de 30% des richesses naturelles de la Terre entre 1970 et 1995. Les forêts

¹⁰ibid

ont perdu 12% de leur richesse biologique en trente ans et les écosystèmes marins, 30% ! Un milliard d'hectares de terre autrefois cultivable ne le sont plus à cause des divers pesticides déversés massivement. La part des transports dans l'augmentation annuelle des émissions de gaz à effet de serre est entre 70 et 80%. À l'échelle mondiale, cette exploitation des ressources dépasse de 20% les capacités biologiques de la Terre. Ces enjeux sont :

- La biodiversité.
- Les déchets.
- L'eau.
- L'énergie.
- La pollution chimique.
- Le réchauffement climatique.
- Les ressources naturelles.
- Les transports.

3.2. Les enjeux sociaux du développement durable :

Dans le domaine social et au niveau mondial, le développement durable est une notion qui recouvre des problèmes de développement (lutte contre la faim, pour l'accès à l'eau, la santé, conditions hygiéniques et sécurité de travail ...). Dont on trouve essentiellement :

- Le travail des enfants.
- La faim dans le monde.
- La santé.
- Le sida.

3.3. Les enjeux économiques du développement durable :

Sur un plan économique, le développement durable concerne les conditions de la croissance et les échanges mondiaux. La durabilité économique nécessite des règles pour établir un équilibre entre les pays du Nord et ceux du Sud, pour une répartition équitable de richesses et œuvrer pour que la croissance économique ne se fasse pas au

* WWF (FMN) : Le Fonds mondial pour la nature³, en anglais *World Wide Fund* (WWF), initialement le *World Wildlife Fund* (en français : Fonds mondial pour la vie sauvage) créé en 1961, rebaptisé en 1986 *World Wide Fund for Nature* puis simplement WWF en 2001, est une organisation non gouvernementale internationale de protection de l'environnement, fortement impliquée dans le développement durable.

détriment de l'environnement et du social. Les enjeux économiques les plus importants sont :

- Le développement des pays du Sud.
- La délocalisation.
- La réglementation de l'OMC.
- Le commerce équitable.
- Les partenariats publics/privés.
- L'agriculture.
- Les déchets.
- Les médicaments.

4. Les approches d'évaluation de développement durable :

Pour piloter ou évaluer les politiques de développement durable, de nombreux Etats et organisations internationales (OCDE, Eurostat, ONU, Banque mondiale, etc.) tentent de définir des indicateurs de développement durable¹¹.

Les indicateurs de développement durable doivent répondre à certains critères. En particulier, ils doivent reposer sur des données aisément accessibles, être facilement compréhensibles de façon à être utilisés dans des actions de communication à l'échelle internationale. Plusieurs approches peuvent être utilisées pour définir de tels indicateurs, dans la collectionle HARMATTAN, version 2008, p111 « le développement durable » Jean-Claude Van Duysen et Stéphanie Jumel ont cité trois approches :

4.1. L'approche d'un jeu d'indicateur

Elle consiste à définir un jeu d'indicateurs pour chacun des trois "piliers" du développement durable. Par exemple, le taux de chômage et le taux d'alphabétisation, pour le social ; les quantités d'émission de gaz à effet de serre et la quantité d'engrais utilisée, pour l'environnement ; le PIB par habitant et la balance commerciale, pour l'économie. Cette approche ne permet pas de se prononcer ni sur l'évolution globale dans chacun des trois thèmes, ni sur la qualité globale de la politique de développement durable appliquée. Car les indicateurs engendrent individuellement des résultats différents.

¹¹ La définition de tels indicateurs est une recommandation d'Agenda 21 (chapitre 40).

4.2. L'approche d'axes prioritaires

Elle consiste à sélectionner des axes prioritaires de travail et à définir, pour chacun d'eux, un jeu d'indicateurs économiques, sociaux et environnementaux. Par exemple, en France, l'Institut français de l'environnement (IFEN) a regroupé des indicateurs selon cinq axes : croissance soutenable, satisfaction des besoins des générations présentes, long terme et générations futures, etc. Cette approche souffre du même inconvénient que la précédente.

4.3. L'approche d'indicateur intégré

Elle consiste à définir un "indicateur intégré" qui regroupe au travers d'une formule mathématique un jeu d'indicateurs élémentaires ayant trait à l'économie, au social et à l'environnement ; le choix de la formule permet de donner le poids voulu à chacun des indicateurs élémentaires retenus. Un indicateur intégré vise à renseigner sur la qualité globale d'une politique de développement durable. Par exemple, l'indicateur *Wellbeing/Stress Index** est largement accepté. Ce dernier indicateur a été développé par Robert Prescott-Allen, il prend en compte 36 indicateurs sociaux (éducation, santé, criminalité, etc.) et 51 indicateurs environnementaux (qualité de l'eau et de l'air, etc.). Appliqué à 180 pays, il montre que seuls 37 sont sur le point d'équilibrer le bien-être de la population et la bonne santé de l'environnement¹².

5. Les indicateurs de développement durable

Thèmes	Sous-thèmes	Indicateurs de niveau
Développement économique	<ul style="list-style-type: none"> • investissement, • compétitivité, • emploi 	Taux de croissance du PIB par habitant
Pauvreté et exclusion sociale	<ul style="list-style-type: none"> • pauvreté monétaire, • accès au marché de l'emploi, • autres aspects de l'exclusion sociale. 	Taux du risque de pauvreté après transferts sociaux
Vieillesse de la société	<ul style="list-style-type: none"> • adéquation des pensions, • variations démographiques, • viabilité des finances publiques. 	Taux de dépendance vieillesse
Santé publique	<ul style="list-style-type: none"> • protection de la santé humaine et 	Espérance de vie en bonne

* LE WELLBEING/STRESS INDEXa été développé avec le support de la *World Conservation Union* et de l'*International Development Research Centre*.

¹²R. Prescott. Allen. *The wellbeing of nations: à country-by-country index of quality of life and the environment*. Washington D.C.:IDRC/Island Press, 2001.

	<p>modes de vie,</p> <ul style="list-style-type: none"> • sécurité et qualité alimentaires, • gestion des produits chimiques, • risques sanitaires liés à l'environnement. 	<p>santé à la naissance, par Sexe</p>
Changement climatique et énergie	<ul style="list-style-type: none"> • changement climatique, • Énergie. 	<ul style="list-style-type: none"> • Émissions totales de gaz à effet de serre • Consommation intérieure brute d'énergie, par Combustible
Modes de production et de consommation	<ul style="list-style-type: none"> • Éco-efficacité, • structures de consommation, • agriculture, • responsabilité des entreprises. 	<ul style="list-style-type: none"> • Consommation totale de matières • Consommation intérieure de matières
Gestion des ressources naturelles	<ul style="list-style-type: none"> • biodiversité, • écosystèmes marins, • ressources en eau douce, • utilisation des sols. 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Indice de biodiversité</i> • Évolution de la population d'oiseaux des champs • Prise de poisson sur les stocks en dehors des « limites biologiques de sécurité »
Transports	<ul style="list-style-type: none"> • croissance des transports, • prix des transports, • impact social et environnemental des transports. 	<ul style="list-style-type: none"> • Indice véhicules km • Consommation totale d'énergie des transports
Bonne gouvernance	<ul style="list-style-type: none"> • cohérence des politiques, • participation du public. 	<p>Niveau de confiance des citoyens dans les institutions de l'UE</p>
Partenariat global	<ul style="list-style-type: none"> • globalisation des échanges, • financement du développement durable, • gestion des ressources. 	<p>Aide publique au développement</p>

Tableau 1 : Bernard Guibert. Adoption par l'Europe d'indicateurs de développement durable. P78.

6. Développement durable en Algérie

6.1. Historique et constat

L'Algérie avec son territoire qui s'étend sur une superficie de 2 381 741 km² recèle des ressources naturelles importantes. Cependant, ce large espace est caractérisé par sa vulnérabilité qui résulte non seulement d'effets naturels (vulnérabilité écologique) mais surtout d'effets des actions et pratiques algériennes (facteurs anthropiques). Cette situation a atteint un niveau de dégradation et d'aggravation mettant en cause la durabilité de ces espaces.

Depuis l'indépendance jusqu'à nos jours, on constate que les différentes stratégies menées par l'Algérie, en matière d'aménagement du territoire par l'exploitation abusive de ses ressources naturelles : agriculture, forêt, minerais, énergie, eau et autres ressources biologiques.

Cependant, ces stratégies n'ont pas donné des résultats espérés ; elles ont plutôt entraîné la dégradation de l'environnement et du milieu naturel (l'érosion affecte ou menace douze (12) millions d'hectares dans les zones montagneuses, la forêt a reculé d'un (01) million d'hectares entre 1955 et 1997 et huit (08) millions d'hectares de steppes sont désertifiés ou sensibles à la désertification)¹³. La gravité des problèmes environnementaux en Algérie affectent la santé et la qualité de vie de la population, la productivité et la durabilité du capital naturel, de même que l'efficacité de l'utilisation des ressources et la compétitivité de l'économie. Le coût des dommages (ou coût économique et social) de la dégradation de l'environnement en Algérie a été estimé à 5,82 % du PIB algérien de 1998 (7,02 % en tenant compte des impacts sur l'environnement global).

Trente années après avoir pris en main l'exploitation et la gestion directe de ses ressources minières et pétrolières, vingt ans après l'élaboration de la loi-cadre pour l'environnement de 1983, et dix ans après la Conférence des Nations Unies sur l'Environnement et le Développement (CNUED) de Rio de Janeiro au Brésil. La stratégie du développement durable verra le jour en l'an 2002 par l'élaboration du plan national d'action pour l'environnement et le développement durable (PNAE-DD) pour remédier à cet état de crise généralisé. L'approche adoptée consiste à passer en revue les principaux enjeux et défis que connaît l'Algérie de manière à mettre en relief les

¹³MINISTÈRE DE L'AMENAGEMENT DE TERRITOIRE ET DE L'ENVIRONNEMENT. *Plan National d'Action pour l'Environnement et le Développement Durable*, janvier 2002.

défaillances institutionnelles (au sens large, c'est-à-dire incluant les politiques et autres mesures d'accompagnement) ainsi que les résultats auxquels ces dernières ont mené. L'analyse met l'accent sur les performances de l'économie et les impacts socio-économiques tels qu'ils se manifestent sur la santé et la qualité de vie, sur la conservation et la productivité des ressources naturelles ainsi que sur l'efficacité et la compétitivité des différents secteurs de l'économie.

6.2. Définition algérienne du concept

Selon le journal officiel de la république algérienne : Le développement durable est un concept qui vise la conciliation entre le développement socio-économique permanent et la protection de l'environnement, c'est-à-dire l'intégration de la dimension environnementale dans un développement qui vise à satisfaire les besoins des générations présentes et futures¹⁴.

6.3. Lois et décrets juridiques sur le développement durable en Algérie

6.3.1. Lois relative à la protection de l'environnement

- Loi n° 03-10 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable : Cette loi a pour objet la mise en œuvre d'une politique nationale de protection de l'environnement dans le cadre du développement durable. Elle fixe les principes fondamentaux et les règles de gestion de l'environnement : la protection, la restructuration et la valorisation des ressources naturelles ; la restauration des milieux endommagés, la prévention et la lutte contre toute forme de pollution et nuisance ; l'amélioration du cadre et de la qualité de la vie, la promotion de l'utilisation rationnelle des ressources naturelles disponibles. Elle est formée par 114 articles répartis en 8 titres.
- Décret exécutif n° 07-207 réglementant l'usage des substances qui appauvrissent la couche d'ozone, de leurs mélanges et des produits qui en contiennent : En application des dispositions de l'article 46 de la loi n°03-10 du 19 juillet 2003, le présent décret a pour objet de réglementer l'usage des substances qui

¹⁴LE JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 43. Loi n° 03-10 TITRE 1, *DISPOSITIONS GENERALES* Art. 4.2011.

appauvrissent la couche d'ozone, de leurs mélanges et des produits qui en contiennent.

- Décret exécutif n° 06-138 réglementant l'émission dans l'atmosphère de gaz, fumées, vapeurs particules liquides ou solides. Ainsi que les conditions dans lesquelles s'exerce leur contrôle : En application des dispositions de l'article 47 de la loi n°03-10 du 19 juillet 2003, le présent décret a pour objet de réglementer l'émission dans l'atmosphère de gaz, fumées, vapeurs particules liquides ou solides. Ainsi que les conditions dans lesquelles s'exerce leur contrôle et fixe les prescriptions techniques relatives aux installations et les modalités de contrôle des rejets atmosphériques visant à assurer leur conformité aux valeurs fixées en annexe du présent décret.

6.3.2. Lois relatives à l'efficacité énergétique

L'Algérie a intégré leur développement dans sa politique énergétique par l'adoption d'un cadre juridique favorable à leur promotion et à la réalisation d'infrastructures y afférentes. Le développement des énergies renouvelables est encadré par un ensemble de textes législatifs :

- La loi n°99-09 du 28 juillet 1999 relatives à la maîtrise de l'énergie.
- La loi n°02-01 du 5 février 2002, relative à l'électricité et la distribution publique du gaz par canalisations.
- La loi n° 04-09 du 14 août 2004, relative à la promotion des énergies renouvelables dans le cadre du développement durable.

Conclusion

Le développement durable ne peut se réduire à une simple question d'arbitrage technique ni même à un pur débat de normes. Il s'agit bien d'un enjeu de société associée à une ambition culturelle, économique et environnementale qui vise à créer les conditions de vie, le confort et le bien-être le plus harmonieux. Il implique donc une allure de progrès continu, fondée sur les retours d'expérience, le savoir-faire et l'échange entre toutes les parties prenantes et nourrie par l'innovation et la créativité.

CHAPITRE 02 : Construire avec le développement durable

Chapitre 02 : Construire avec le développement durable

Introduction :

La prise de conscience de l'impact du cadre bâti sur l'environnement remonte au premier choc pétrolier de 1974. Les politiques d'économies d'énergie conduisent à construire des bâtiments plus efficaces énergétiquement. Les autres aspects, non moins importants, de l'impact des bâtiments sur l'environnement seront progressivement révélés et traités : impacts sur la consommation de matériaux de construction, sur la consommation d'eau et impacts de l'environnement intérieur sur la santé (amiante, peinture au plomb, pollution diverse intérieure).

Dans les années 90, sous l'impulsion des pouvoirs publics, ces problématiques s'élargissent. La construction est alors abordée dans son ensemble et sous l'angle du développement durable. L'objectif est d'appliquer les concepts du développement durable au bâtiment afin de réduire les impacts sur l'environnement lors de la construction et du fonctionnement du bâtiment.

Dans le secteur du bâtiment, le besoin d'évaluer quantitativement les effets environnementaux des opérations de construction est devenu une condition pratique pour obtenir une construction durable.

I. L'architecture durable

I.1. Définition

L'architecture durable, écologique ou environnementale : quels que soient les termes en usage. Une architecture respectueuse de l'environnement vise notamment à réduire la pollution par la diminution de la consommation énergétique, la réutilisation de l'eau ou l'utilisation de matériaux écologiques. Une architecture respectueuse de l'environnement naturel se présente comme une nécessité de toute urgence pour notre nouveau siècle. Pour ce faire, les populations doivent leurs intérêts à court terme dans la perspective d'un profit à long terme¹⁵.

¹⁵Représentation du cours sur le développement durable, donné par J.-F. Roger France, destiné aux stagiaires de l'ordre des architectes belges. Source:

I.2. Les courants de l'architecture durable

L'architecture durable est traversée par plusieurs courants, dans le domaine de l'architecture écologique, on distingue essentiellement deux écoles de pensée :

- L'école de Norman Foster : qui dit que l'on peut résoudre les problèmes écologiques avec plus de technologies.
- L'école de Soleri : qui dit « pas de technologie » je ne veux pas changer notre style de vie ou retourner à l'âge de pierre, mais si nous sommes préparés à accepter qu'il fasse plus chaud en été et plus frais en hiver, je suis convaincu que nous pouvons atteindre un degré acceptable de confort en suivant les règles de la nature¹⁶.

I.3. Les différents paramètres pour réussir une architecture durable

En suivant l'approche bioclimatique pour répondre à la réflexion du rapport étroit qui existe entre l'architecture et l'environnement. Cette approche est une réponse à la mise en relation entre l'homme, son architecture, son climat et sa recherche sur le confort. De ce fait, l'architecture bioclimatique devient une dimension indispensable à la qualité de la construction, c'est dans ce sens qu'elle s'intéresse aux conceptions durables.

L'homme modeste s'n'intéresse qu'à sa nature et à ses matériaux pour se loger, et que ces derniers lui détermine la forme de sa maison qui dispose de matériaux auxquels la nature pourvoit. Mais cela ne suffit pas pour avoir une architecture durable, qui impose de remplacer ce constructeur modeste par un spécialiste en la matière, un maître d'œuvre voire un architecte qui va énumérer les différents paramètres de la conception durable, c'est-à-dire :

- **L'implantation** : qui se réfère aux critères de choix d'un site d'implantation, on peut citer Vitruve dans l'ouvrage « les dix livres d'architecture » qui notent « Quand on veut bâtir une ville, la première des choses qu'il faut faire est de choisir un lieu sain, il doit être élevé, qu'il ait une bonne température d'air, qu'il ne soit exposé ni aux grandes chaleurs ni aux grands froids... »¹⁷. Une

http://ordevanarchitecten.be/fr/from_stagiaires/déscriptif.html (page consultée le 25 novembre 2014).

¹⁶ Behnisch Stefan. *Prix de littérature durable*, chercheur et pionnier en architecture durable et écologie urbaine, bâtisseur et enseignant. Cité par Gauzin-Muller D., *l'architecture écologique*, Paris : Le moniteur, 2001, p17.

¹⁷ IZARD. *Archi bio*, parenthèses, 1979 p96.

bonne implantation tient compte du relief, de l'ensoleillement, des vents locaux. Elle détermine l'éclairage, les déperditions, les apports solaires, les possibilités d'aération¹⁸.

- **La compacité** : elle est calculée comme le rapport entre le volume et la surface de déperdition correspond à l'enveloppe extérieure du bâtiment¹⁹. Parmi les objectifs de la compacité, il s'agira de privilégier les mitoyennetés et elle se traduit à travers la lecture des tissus urbains.
- **L'orientation** : elle dépend de l'utilisation et de la destination du bâtiment, de ses besoins en lumière naturelle, de l'intérêt ou non du rayonnement solaire, de l'existence des vents qui vont contribuer à rafraîchir en été par exemple.
- **La ventilation naturelle** : elle permet de renouveler l'air vicié par de l'air frais et sain, elle participe aussi au confort thermique, comme elle permet le refroidissement de la masse interne des bâtiments.
- **La recherche du confort thermique** : il est défini comme un état de contentement et d'équilibre de l'homme vis-à-vis de l'environnement thermique.

I.4. Types de conceptions durables « écologique »

On distingue cinq types de conceptions²⁰ :

I.4.1. Les bâtiments bioclimatiques

Une maison bioclimatique vise, par sa conception architecturale, à optimiser les ressources du milieu pour en profiter de façon passive. Cela permet de limiter les équipements techniques « actifs », consommateurs d'énergie primaire : les systèmes de chauffage, de transformation de l'énergie solaire en électricité, etc.

¹⁸ LIEBARD, A. *Traité d'architecture et d'urbanisme climatique*, le moniteur, 2004 p64.

¹⁹ GAUZIN-MULLER. *Construire un bâtiment compact*, guide pratique pour la construction et la rénovation durable de petits bâtiments, février 2007.

²⁰ RANCK, Louise. *Maisons écologiques*, Paris : Eyrolles, 2008, p07.



Figure 6: Maison bioclimatique (Sundgau près de Belfort).

I.4.2. Les maisons Basse consommation

Le concept du bâtiment à basse consommation (BBC) met l'accent sur les économies d'énergie et l'aspect thermique. Selon certains, le plus important est de commencer par améliorer l'enveloppe du bâtiment pour limiter les déperditions thermiques. Cette démarche est depuis peu référencée sous la forme d'un label dénommé « BBC-Effinergie », qui atteste d'une consommation de 50 KWh/ m²/an d'énergie primaire (avec des variantes selon la zone climatique et l'altitude). D'après l'association Effinergie, ces objectifs peuvent être atteints sans difficulté et à des coûts raisonnables avec des techniques et des matériaux actuels éprouvés.



Figure 7: Système BBC (capteur solaire pompe à chaleur) source CSTB le futur en construction.

I.4.3. Les maisons autonomes ou maisons zéro énergie

Le principe des maisons autonomes est de produire directement l'énergie nécessaire au chauffage et à l'éclairage, sans dépendre d'un fournisseur extérieur, et de gérer son approvisionnement en eau (récupération de l'eau de pluie, des cours d'eau, etc.), ainsi que son traitement (par lagunage : l'eau est filtrée par les racines des plantes). Cette démarche va de pair avec une réduction de ses besoins et l'utilisation d'équipements peu gourmands en énergie.



Figure 8: Maison zéro énergie, source CSTB le futur en construction.

I.4.4. Les maisons passives

C'est en Allemagne qu'a été développé le concept de «Passiv Haus ». Comme le label BBC français, il concerne des maisons à très faible consommation d'énergie, dont les performances, fixées par le Passiv haus de Darmstadt, sont une consommation de 15 kWh/m²/an pour le chauffage, une consommation en énergie primaire inférieure à 120 kWh/m²/an et une excellente étanchéité à l'air. Ces résultats sont rendus possibles par une isolation renforcée et des apports en chauffage passif.



Figure 9: Maison individuelle selon la méthode de construction des maisons passives au lac Granderkisee.

I.4.5. Les maisons à énergie positive

Elles produisent plus d'énergie qu'elles n'en consomment grâce à des équipements de production d'électricité (panneaux solaires, éoliennes, etc.). Le principe généralement appliqué est de revendre l'électricité produite à Électricité De France à un prix avantageux, ce qui permet d'éviter les problèmes de stockage et d'acheter l'électricité du réseau en cas de besoin.

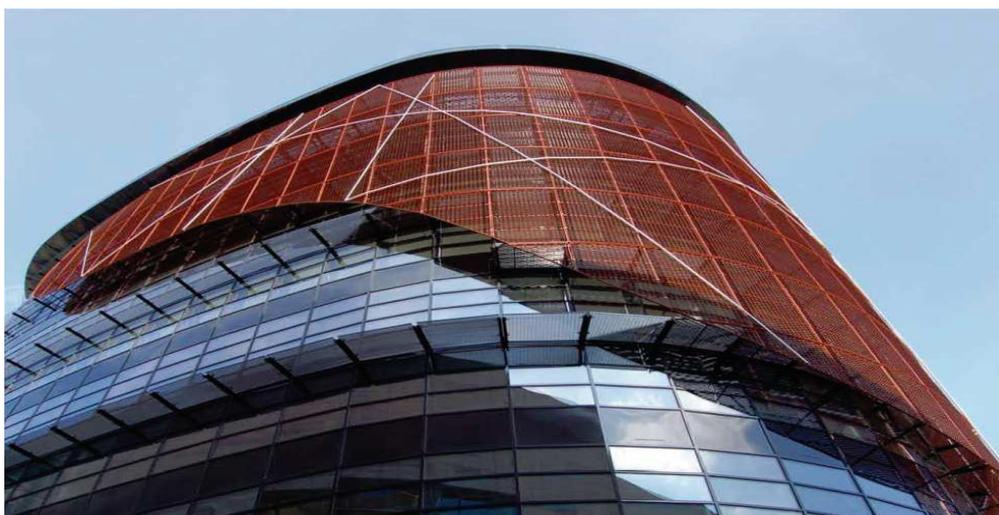


Figure 10: Bureaux à énergie positive (la tour Elithis à Dijon).

II. La construction durable

II.1. La définition de la construction durable

Dans la société actuelle, le terme « durable » semble associé à tous les domaines : paix durable, entreprise durable, construction durable qui peut être décrite, sur la base d'une interprétation intégrale, comme la recherche de bâtiments présentant un équilibre entre les trois dimensions du développement durable. Selon cette approche, pour être considérés comme durables, les bâtiments doivent non seulement être économes en énergie ou construits à l'aide de matériaux recyclés mais aussi posséder un climat intérieur sain et confortable et être sûrs et accessibles. Les coûts de construction, d'entretien et ceux qui sont liés au cycle de vie jouent enfin un rôle non négligeable.

II.2. Les dimensions de la construction durable²¹

Plus que jamais, le secteur de la construction doit faire face à des enjeux sociétaux, économiques et environnementaux :

II.2.1. La dimension écologique de la construction durable

Bien que le thème de la construction durable ne puisse être limité à sa dimension écologique, on ne peut nier que l'acte de bâtir possède un important impact environnemental :

- Le secteur de la construction est responsable d'environ 50 % de la consommation mondiale en matières premières
- Le secteur de la construction est un grand producteur de déchets (déchets de construction et de démolition).

Il ne faut pas négliger la biodiversité, celle-ci peut être protégée, d'une part en ne construisant principalement que sur des terrains ne possédant qu'une faible valeur environnementale, d'autre part, en réalisant des efforts afin de préserver la faune et la flore.

²¹VAN DESSEL, J. PUTZEYS, K. Centre Science et Techniques de la Construction.

II.2.2 La dimension sociale de la construction durable

Étant donné que l'on passe en moyenne 90 % de notre temps à l'intérieur des constructions, il n'est pas surprenant que notre qualité de vie soit fortement dépendante de la qualité du bâtiment où on se trouve.

Afin de disposer d'un climat intérieur sain, un certain nombre de conditions doivent être remplies au sein du bâtiment en matière de qualité de l'air et de confort thermique, visuel et acoustique. Dans ce contexte, soulignons que les exigences portant sur le confort thermique et la qualité de l'air ont récemment été reprises dans la directive sur la performance énergétique deviendront bientôt plus sévères. Outre le fait que les bâtiments qui ne sont pas correctement conçus exercent une influence négative sur la santé des utilisateurs et des habitants, ceux-ci peuvent également entraîner des coûts d'entretien et de chauffage très élevés, ce qui constitue un désavantage supplémentaire pour les groupes socialement plus faibles. L'accessibilité du bâtiment pour les personnes à mobilité réduite et la protection de celui-ci contre l'effraction constituent des aspects sociaux qui profitent à la qualité.

II.2.3 La dimension économique de la construction durable

Afin de permettre la conservation et le renouvellement de l'environnement bâti, il importe de pouvoir compter sur une gestion d'entreprise économe accordant d'attention aux développements innovants. À la lumière de l'urbanisation toujours grandissante, la transformation d'un immeuble de bureaux en un complexe de logements pourrait faire partie des défis du maître d'ouvrage.

Une analyse fonctionnelle approfondie des dispositions constructives et du coût des travaux doit permettre de déterminer si le projet est ou non réalisable. Dans ce cadre, on tient entre autres compte du retour sur investissement attendu et des risques liés au projet. Il est en effet important de ne pas perdre de vue les conséquences économiques de la solution proposée (le choix d'un matériau respectueux de l'environnement). Dans ce contexte, on accorde un intérêt grandissant aux coûts du cycle de vie du bâtiment.

II.3. Les aspects de la construction durable

Aspects environnementaux	Aspects sociaux	Aspects économiques
Variations climatiques : <ul style="list-style-type: none"> ▪ gaz à effet de serre. ▪ acidification. ▪ appauvrissement de la couche d'ozone. 	Bien-être des utilisateurs : <ul style="list-style-type: none"> ▪ climat intérieur et confort ▪ perception de l'espace ▪ santé et facilité d'utilisation 	Financement et gestion : <ul style="list-style-type: none"> ▪ analyse des fonctions d'utilisation ▪ analyse des risques
Biodiversité : <ul style="list-style-type: none"> ▪ pollution due aux engrais. ▪ conservation de la biodiversité. 	Accessibilité : <ul style="list-style-type: none"> ▪ le bâtiment et ses alentours. ▪ transports publics. ▪ trottoirs et pistes cyclables. 	Valeur du cycle de vie : <ul style="list-style-type: none"> ▪ coûts du cycle de vie. ▪ valeur du bâtiment et adaptabilité. ▪ facilité d'entretien.
Matières premières : <ul style="list-style-type: none"> ▪ origine et utilisation des matériaux. ▪ prévention des déchets. ▪ consommation en eau. ▪ utilisation du sol et du territoire. 	Valeur sociale et culturelle : <ul style="list-style-type: none"> ▪ emploi au niveau local et mesures sociales. ▪ politique d'achat éthique. ▪ impact sur les environs. ▪ qualité esthétique du bâtiment. 	Facteurs externes : <ul style="list-style-type: none"> ▪ utilisation de produits et de services fabriqués au niveau local. ▪ image du bâtiment.

Tableau 2: les bâtiments durables et leurs principaux aspects selon l'ENSE 3 (l'École nationale supérieure de l'énergie, de l'eau et de l'environnement).

Mais avant d'accomplir une construction durable, plusieurs éléments seront considérés lors d'un projet, le premier étant son site d'implantation, une construction durable doit s'assurer qu'elle ne constitue pas une agression de son environnement écologique et humain, le choix du site, de l'architecture, des matériaux, mais également la manière, dont seront menés les travaux, est autant d'éléments qu'il faut prendre en compte :

- Adapter le bâtiment à son environnement naturel.
- Choix des matériaux de construction.
- Réduction des nuisances des chantiers.
- Eco-gestion du bâtiment.
- L'énergie et l'eau.
- Qualité sanitaire et confort.

Pour atteindre cet objectif, la construction durable implique l'intervention de divers acteurs (entreprises, concepteurs, maîtres d'ouvrage, entrepreneurs, sous-traitants, utilisateurs, habitants, monde scientifique, pouvoirs publics, ...). Afin de mener à bien la collaboration entre tous les partenaires, des outils d'aide ont été mis au point à différents niveaux.

II.4. La collaboration de l'architecte entre différents niveaux de la construction durable

La collaboration de l'architecte semble plus approfondie et plus imposante dans le domaine de réussir une construction durable, et elle s'accomplit dans ses objectifs suivants :

-Allonger la durée de vie d'un bâtiment : sa conception doit prévoir l'évolution des besoins des usagers actuels et futurs, la flexibilité de ces bâtiments reste une propriété pour l'architecte, avec l'irrésistible émergence d'une démarche thématique qui retrouve des motivations qui se diversifient en :

- Motivation d'ordre économique (réduction des coûts de rénovation ou de transformation ...)
- Motivation d'ordre sociologique (désir d'intervenir sur son propre milieu de vie par des processus d'auto-construction...)
- Motivation d'ordre environnemental. (réductions des gènes de la production de déchets consécutifs aux travaux de rénovations...)

Cette flexibilité permet de recycler directement l'entièreté du bâtiment et de réduire les impacts environnementaux des opérations de réhabilitation.

-Choisir un produit de construction : pour aider les architectes à orienter au mieux leurs choix en ajoutant d'autres critères de sélection qui devraient être aussi pris en compte :

- Favoriser l'utilisation de matériaux contenant des matières renouvelables, recyclables ou recyclées : ainsi, les déchets issus du chantier pourront facilement être valorisés.
- Préférer des matériaux issus de productions locales pour réduire la part engendrée par les transports des matières premières et des produits finis vers le chantier.
- Privilégier des produits de construction dont le contenu énergétique est le plus

faible possible sachant qu'il existe pour la plupart des matériaux une corrélation forte entre l'énergie grise et leurs émissions de gaz à effet de serre.

- Appliquer le principe de précaution pour les produits de construction dont les connaissances actuelles ne permettent pas de connaître précisément les impacts en matière de santé.
- Utiliser tout particulièrement des matériaux de construction permettant d'apporter une plus-value en matière de confort d'usage (confort thermique, visuel ou acoustique) et permettant de réduire autant que possible les besoins énergétiques du bâtiment
- Vérifier que les opérations d'entretien ou de maintenance des produits de construction seront compatibles.

Conclusion

La philosophie de l'architecture durable se concrétise à travers différentes pratiques qui ont pour objectifs de réduire l'impact négatif d'un bâtiment sur son environnement et de prendre soin la qualité de vie des utilisateurs et des communautés riveraines. La mise en œuvre d'une architecture durable se manifeste par un ensemble de choix de techniques, des méthodes de gestion, la sélection des matériaux employés et l'organisation interne des fonctions et des espaces, afin de maîtriser, en particulier, la consommation d'énergie et l'aménagement du cadre de vie des utilisateurs. Les coûts des produits et installations écologiques pour une architecture durable sont souvent supérieurs aux techniques classiques, mais les économies sur le long-terme permettent souvent de rentabiliser ces investissements.

Chapitre 03 : Matériaux de construction

Chapitre03 : Les matériaux de construction

1. Généralités sur les matériaux

1.1. Introduction

Les matériaux font partie intégrante de l'architecture. Ils participent à sa construction, à son image, à ses ambiances, à son confort, ... Il est par conséquent nécessaire de penser la matière dans sa globalité : à travers l'esthétique, l'acoustique, la thermique, les divers aspects constructifs, la réglementation, le coût, l'usage, mais aussi il est très important de penser aussi à l'impact environnemental des matériaux.

Pour remplir à la fois la fonction constructive, la maîtrise du coût, l'économie d'énergie, le respect des principes du développement durable, ... une connaissance des propriétés physicochimiques permettent de mieux apprécier et choisir.

1.2. Définitions

- **Définition d'un matériau :** Un matériau désigne toute matière utilisée pour réaliser un objet au sens large. Ce dernier est souvent une pièce d'un sous-ensemble. C'est donc une matière de base sélectionnée en raison de propriétés particulières et mise en œuvre en vue d'un usage spécifique. La nature chimique, la forme physique (phases en présence, granulométrie et forme des particules, par exemple), l'état de surface des différentes matières premières, qui sont à la base des matériaux, leur confèrent des propriétés particulières.
- **Définition d'un matériau de construction :** C'est un matériau utilisé dans le secteur de la construction : bâtiment et travaux publics (souvent désigné par le sigle BTP). La gamme des matériaux utilisés dans la construction est relativement vaste. Elle inclut principalement le bois, le verre, l'acier, l'aluminium, les matières plastiques (isolants notamment) et les matériaux issus de la transformation de produits de carrières, qui peuvent être plus ou moins élaborés. On trouve ainsi les dérivés de l'argile, les briques, les tuiles, les carrelages, les éléments sanitaires.

- **Définition d'un éco matériau :** parfois dit « matériau écologique » ou « matériau biosourcé » et parfois aussi qualifié de « matériau sain ». C'est un matériau de construction qui répond aux critères techniques habituellement exigés des matériaux de construction (performances techniques et fonctionnelles, qualité architecturale, durabilité, sécurité, facilité d'entretien, résistance au feu, à la chaleur, etc.), mais aussi à des critères environnementaux ou socio-environnementaux, tout au long de son cycle de vie (c'est-à-dire de sa production à son élimination ou recyclage).
- **Définition d'un matériau intelligent :** C'est sensible, adaptatif et évolutif. Il possède des fonctions qui lui permettent de se comporter comme un capteur (détecter des signaux), un actionneur (effectuer une action sur son environnement) ou parfois comme un processeur (traiter, comparer, stocker des informations). Ce matériau est capable de modifier spontanément ses propriétés physiques, par exemple, sa forme, sa connectivité, sa couleur, en réponse à des excitations naturelles ou provoquées venant de l'extérieur ou de l'intérieur du matériau. Par exemple, des variations de température, des contraintes mécaniques, de champs électriques ou magnétiques. Le matériau va donc adapter sa réponse, signaler une modification apparue dans l'environnement et dans certains cas provoquer une action de correction.

2. Les matériaux dans le domaine de l'architecture

Dans le domaine de l'architecture, les matériaux jouent un rôle décisif concernant l'apparence et l'expressivité d'une construction. Ils sont le lien, l'intermédiaire entre l'homme et le bâtiment. Ils illustrent et explicitent la forme. Ils renseignent sur la construction et sa structure. Ils éveillent chez l'homme des sensations, des émotions qui sont perçues par nos sens : vue, toucher, ouïe et odorat. Les matériaux sont un langage, un moyen d'expression pour le concepteur. Le choix des matériaux détermine de manière décisive la représentation et la perception que nous avons des bâtiments. Les formes sont conçues grâce à des matériaux, les matériaux déterminent la forme²².

²² Vittone, René. *Manuel de la construction, Bâtir*. Lausanne : Presse polytechnique et universitaire romande, p87.

La liberté d'expression des architectes, leur façon de concevoir, est dépendante des matériaux qu'ils utilisent. La conception se fait selon la gamme disponible et sans ces matériaux appropriés certains projets ne peuvent être envisagés.

Lorsque la gamme disponible ne suffit pas, les fabricants sont sollicités pour améliorer certains matériaux : coût, souplesse, solidité, légèreté, finesse, esthétique... la recherche tente de répondre à la demande.

Ils mettent au point, parfois en plusieurs dizaines d'années, des améliorations permettant souvent de réaliser ce qui aurait été inconcevable auparavant.

Il existe ainsi une interaction entre la conception architecturale et l'évolution des matériaux : les conceptions architecturales amènent à créer de nouveaux matériaux et les nouveaux matériaux permettent de concevoir de manière différente. "Quels que soient les matériaux, c'est le souci de leur demander plus en exploitant mieux ou autrement leurs propriétés qui guident l'innovation : on peut parler d'approche fonctionnelle de la matière"²³.

Actuellement, nous avons à notre disposition d'innombrables matériaux. Cette multitude de matières s'accroît avec les recherches technologiques et l'approche environnementale qui relance l'engouement pour des matériaux parfois oubliés comme la paille²⁴ la terre²⁵.

2.1. L'évolution des matériaux de construction

Dans les civilisations anciennes, la pratique de la construction s'articulait autour de trois structures rudimentaires :

- Les cavernes existantes dans l'environnement naturel. Elles pouvaient être creusées dans de la terre ou taillées dans de la pierre,
- Les huttes. Ces constructions étaient la plupart du temps réalisées en bois trouvé sur le site de construction,
- Les tentes. Ces structures étaient en bois recouvertes de peaux de bêtes.

²³CSTB. *Panorama des techniques du bâtiment, 1947-1997* 1997 Ch. I.

²⁴GRUBER, Astrid et GRUBER, Herbert, 2003, *Construire en paille aujourd'hui*. Mens : Terre vivante, 2003, 128 p.

²⁵HOUBEN, Hugo. GUILLAUD, Hubert. *Traité de construction en Terre*, 3^{ème} édition, Paris : Parenthèses, 2006, 355 p.

Peu de matériaux étaient disponibles pour l'Homme. Les quatre principaux étaient le bois, la terre, la pierre et les métaux. Ils ne subissaient aucun traitement particulier. Ils étaient utilisés dans leur état naturel. Les savoir-faire se transmettaient de génération en génération. Malgré des moyens rudimentaires, ces constructions pouvaient atteindre des dimensions spectaculaires (pyramides en Égypte, Muraille de Chine, aqueducs).



Figure 11: Matériaux présents depuis les civilisations anciennes.

L'ère de l'industrialisation a apporté une modification et une évolution des moyens de production. Elle offre de nouveaux matériaux dans des dimensions et des quantités importantes. Cette industrialisation de la production permet d'utiliser et de donner de nouvelles fonctions à certains matériaux (pour exemple, les structures métalliques étaient économiquement très difficiles à réaliser avant l'ère de l'industrialisation). Les savoir-faire et la mise en œuvre évoluent parallèlement à l'élargissement du panel de choix des matériaux en architecture. Cette introduction de nouveaux matériaux a permis de faire progresser les modes de construction traditionnelle et d'accroître la palette de matière disponible.

Le XXI^e siècle propose une variété significative de matériaux au concepteur en architecture. Nous avons à notre disposition des matériaux nouveaux (nanomatériaux, nouvelles technologies,...), des matériaux traditionnels (bois, terre,...) réappropriés à travers une évolution dans leur mise en œuvre²⁶, des matériaux industriels (verre,

²⁶GUILLAUD, Hubert. *Evolution de la culture constructive et architecturale du pisé*, Les construction en terre massive, pisé et bauge : échanges transdisciplinaires sur les constructions en terre crue. Montpellier : l'Espérou, 2007, p277 – 310.

acier,...). Viennent s'y mêler les matériaux écologiques ou environnementaux dont la prise en compte ces dernières années est importante²⁷ : paille, chaux, chanvre.

Figure 12: Matériaux présents depuis les civilisations modernes.



2.2. Type de matériaux

Un matériau est une matière d'origine naturelle ou artificielle que l'homme façonne pour en faire des objets. La palette de matériaux utilisables dans le bâtiment est très large et ils peuvent être regroupés en trois familles de base :

- les matériaux minéraux.
- Les matériaux métalliques.
- Les matériaux organiques.

2.2.1. La famille des matériaux minéraux

On trouve :

- Les matières premières : granit, marbre, ardoise, amiante...

²⁷EVARD, Arnaud. *Bétons de chanvre, synthèse des propriétés physiques*. 2003.

- Les matériaux artificiels : céramique, terre cuite, verre, laines minérales...

2.2.2. La famille des matériaux métalliques

Il est à noter que tout métal est obtenu à partir de minerai, les minerais appartenant à la famille des minéraux. Ils sont considérés comme une famille à part entière étant donné leur utilisation très importante. On trouve :

- Les métaux obtenus par simple fonte de minerai tels que le cuivre, le zinc, le titane, l'aluminium...
- Les alliages ; les plus usités étant obtenus à base de fer ou de cuivre : acier, fonte, bronze, laiton... il existe aussi des alliages à base d'aluminium mais moins répandus que les aciers.

2.2.3. La famille des matériaux organiques

On trouve :

- Les matériaux organiques naturels : bois brut, textiles, bitume...
- Les matériaux organiques de synthèse, généralement issus de la pétrochimie.

Les matériaux plastiques offrent une très large gamme de matériaux dans laquelle on distingue les thermoplastiques, les thermodurcissables, et les élastomères.

Catégorie	Propriété	Avantage	Inconvénient	Exemple
Thermoplastique	C'est un plastique qui se déforme lorsqu'il est exposé à la chaleur	Facile à mettre en forme	Il ne supporte pas des températures trop élevées	PVC Nylon Polystyrène
Thermodurcissable	C'est un plastique qui durcit sous l'effet de la chaleur	Ne se déforme pas lorsqu'il est exposé à la chaleur	On ne peut pas les recycler	Polyamide Époxy
Élastomère	C'est un plastique qui, une fois déformé, reprend sa forme initiale	Résistant, il se déforme et reprend sa forme initiale rapidement	On ne peut pas les recycler	Caoutchouc Néoprène

Tableau 3: Les matériaux plastique.

À ces trois grandes familles, une autre, un peu particulière doit être rajoutée : les matériaux composites.

2.2.4. Les matériaux composites

"Un matériau dit composite est un assemblage d'au moins deux matériaux non miscibles. Le concept clé des composites est l'union de deux ou plus matériaux, qui permet d'assurer non seulement une bonne qualité de matériau mais aussi d'excellentes propriétés. Dans la famille des matériaux composites, on retrouve : fibre de verre, fibre de carbone, béton, béton armé, bois contreplaqués, poutre bois à âme métallique, panneau ciment-bois... Les possibilités de combiner les matériaux entre eux sont très étendues.

Les matériaux composites sont composés d'une matrice organique – polymère therm durcissable ou thermoplastique - et d'une structure de renfort pouvant se présenter sous forme de particules, de mâts, de fibres courtes, longues ou continues. Les renforts les plus couramment utilisés sont les fibres, généralement de verre, de carbone ou d'aramide²⁸.

Le développement des composites modernes est essentiellement dû à la nécessité de satisfaire les exigences de leurs utilisateurs dans plusieurs secteurs :

- Le bâtiment : portes, cloisons, cellule d'habitation
- Aérospatial et aéronautique ;
- Sports mécaniques...

2.3. Les matériaux les plus utilisés dans la construction

2.3.1. Le ciment

Le ciment est un matériau de construction très ancien. Les Romains furent les premiers à fabriquer un liant hydraulique en mélangeant de la chaux avec des cendres volcaniques (pouzzolane). En 1756, un anglais a mis au point un produit à partir des pierres de l'île de Portland. On parlera pour la première fois de ciment, d'où l'origine du nom donné aujourd'hui au ciment (ciment portland).

²⁸ Béguin, Jean-Marc. *Les matériaux composites Dynamisme et innovation*, Les 4pages des statiques industriels, n°158-février 2002, 4p.

Le ciment est un liant hydraulique, car il a la propriété de s'hydrater et durcir en présence d'eau. Il est constitué d'un mélange de calcaire, argile et des adjuvants (alumine, slice...).

Il existe plusieurs types de ciments classés selon plusieurs critères : physique, chimique, mécanique... et leurs domaines d'utilisation. On cite comme exemple CPJ 35 et CPA 45 les plus employés en Afrique²⁹.

Le ciment est employé dans différents domaines et ouvrages (infrastructure, superstructure) grâce à ses diverses caractéristiques. Le ciment peut être utilisé :

- Comme enduit, chape et mortier ;
- En béton (armé, non armé), en maçonnerie, fondation, poteau, poutre ;
- Pour les blocs préfabriqués en mortier ou béton non armé par ex : hourdis (corps creux) ;
- pour les dallages industriels...

Les impacts environnementaux des ciments ne sont pas à négliger. La production du ciment portland nécessite une température de cuisson élevée (1450°C)³⁰, ce qui représente 0.28 t CO₂/ t ciments³¹. Le bilan des émissions pour les ciments portland est en moyenne de 0.8 t CO₂ / t ciments (varie de 0.6 à 0.9 suivant le ciment) ce qui fait de l'industrie cimentière une des principales industries émettrices de gaz à effet de serre³².

2.3.2. Le béton

Le béton est un matériau de construction employé à l'échelle mondiale. Il est essentiellement constitué de :

- Un mélange granulaire de sables et graviers.
- Un liant hydraulique, le ciment, assurant la cohésion entre les différents grains.
- Éventuellement, et en faible quantité, des produits d'addition, les adjuvants, influençant certaines propriétés ou comportements du matériau béton.

²⁹ BARAKAT, A. *Matériaux de carrière et de construction*. Béni Mellal, Maroc : Université Sultan Moulay Slimane.

³⁰ ESCADEILLAS, G. « Les eco-matériaux dans la construction : enjeux et perspectives », les journées scientifiques du regroupement francophone pour la recherche et la formation sur le béton (RF) 2 B, éditions n°7.2006, p58.

³¹ *Ibid.*

³² « Béton, ciment et environnement », Encyclo-Ecolo,

<<http://www.encyclo-ecolo.com/B%C3%A9ton, ciment et environnement>>(pageconsultée le 3 décembre 2014).

- L'eau est le réactif chimique provoquant la prise du ciment (hydratation)³³.

Ces dernières années, le béton nous a offert une large gamme d'innovations. Dans le moniteur du 25 avril 2003, un dossier intitulé "béton innovants - Le temps de l'audace" présentait déjà quelques exemples d'innovations remarquables :

- **Le béton fibré très haute performance** est un béton "additionné de fibres métalliques en vue d'obtenir un comportement ductile en traction et de s'affranchir de l'emploi d'armatures passives. Il possède des résistances en compression comprises entre 150 et 250 MPa,³⁴ alors que la résistance des bétons classiques est de l'ordre de 40 MPa.
- **Le béton autoplaçant** est un béton très fluide, "ne nécessitant plus l'utilisation de la vibration pour l'optimisation de l'arrangement granulaire, grâce notamment à l'utilisation de super-plastifiants"¹. Il permet un rendu de surface très lisse.
- **Le béton composite ciment verre** est constitué de panneaux préfabriqués renforcés de fibres de verre (CCV) pour l'habillage de façades. Associés à un isolant et une contre-cloison, ils permettent de gagner en rapidité de mise en œuvre.
- **Le béton autonettoyant** est un béton qui évite le dépôt des pollutions urbaines en surface : grâce à l'ajout de dioxyde de titane combiné à celle de l'eau de pluie, les salissures sont automatiquement nettoyées. Le traitement peut se faire en surface ou dans la masse.
- **Le béton conducteur d'électricité** est obtenu par adjonction de matériaux conducteurs dans le mélange. Résistant et peu coûteux, il rendrait inutiles les équipements de mise à la terre des ouvrages métalliques qu'il supporte et pourrait servir à la confection de routes ou de murs chauffants³⁵.
- **Le béton autonivellant** est également un béton très fluide, mais à la différence du béton autoplaçant, il ne s'applique que sur des surfaces horizontales, alors que le béton autoplaçant est adapté aux surfaces horizontales et verticales. Outre les propriétés techniques du matériau, des innovations esthétiques se développent également, notamment avec les bétons colorés.

³³LEGRAND, Pascal. J.M.TCHOUANI NANA. *Cours de béton armé suivant les Règles BAEL 91 Et modifications 99*. Institut international d'ingénierie de l'eau et de l'environnement (2ie), 2009, p7.

³⁴LABORATOIRE D'ETUDES, ESSAIS ET CONTROLES DES CIMENTS. « Études bétons », Sigma béton <http://www.sigma-beton.fr/etudes_betons> (page consultée le 25 décembre 2014).

³⁵CSTB. *Le bâtiment de demain et après-demain*. 1998

- **Le béton coloré** est un béton dans lequel des colorants minéraux sont introduits afin d'obtenir une coloration dans la masse. Il est ainsi possible d'obtenir des bétons de toutes les couleurs.

Du fait de l'utilisation du ciment Portland dans sa composition (dosage moyen de 270 kg/m³), et indépendamment du transport, le béton est directement concerné par les émissions de CO₂. Vu l'importance du béton dans la construction, plusieurs solutions paraissent possibles afin de remédier à ses impacts :

- Diminuer les pertes en favorisant la préfabrication en usine : on considère généralement que les pertes de béton sur chantier peuvent atteindre 5 à 10%. Or, en préfabrication, le même type d'élément de construction peut être réalisé avec un taux de perte de l'ordre de 3%.
- Optimiser les structures en utilisant des bétons à hautes ou très hautes performances : l'augmentation des résistances du béton, obtenue essentiellement par réduction d'eau et optimisation du squelette granulaire permet d'en diminuer le volume pour un même usage. En outre, la durée de vie des ouvrages est accrue.

2.3.3. Le verre

Le verre est considéré comme l'un des plus anciens matériaux façonnés par l'homme. L'origine de la fabrication du verre demeure à nos jours une énigme. Le développement de la technique d'étirage a permis, dès le I^{er} siècle de notre ère, de fabriquer des plaques de verre d'une taille allant jusqu'à 90 x 200 cm environ. À partir du XIX^e siècle, les serres, vérandas et jardins d'hiver sont à la mode dans le secteur résidentiel tandis que les grandes verrières qui éclairent les gares ou les palais de l'ère industrielle ouvrent de nouvelles perspectives (naissance des musées). Depuis quelques décennies, le verre étend son domaine à l'ensemble de la façade, devenant une «peau» lisse, transparente ou opaque, réfléchissante, brillante, colorée, qui est emblématique de l'architecture de la seconde moitié du XX^e siècle³⁶. La principale matière première utilisée pour la fabrication du verre flote (le verre le plus utilisé) est le sable siliceux, qui est présent en quantité excédentaire dans la nature. Les générations futures disposeront, elles aussi de

³⁶DU MERLE, Philippe. *Les nouveaux matériaux dans l'architecture contemporaine*. 2007-2008.p27

quantités suffisantes. Il faut également de la soude, de la dolomie (chaux) et d'autres matériaux bruts en petite quantité³⁷.

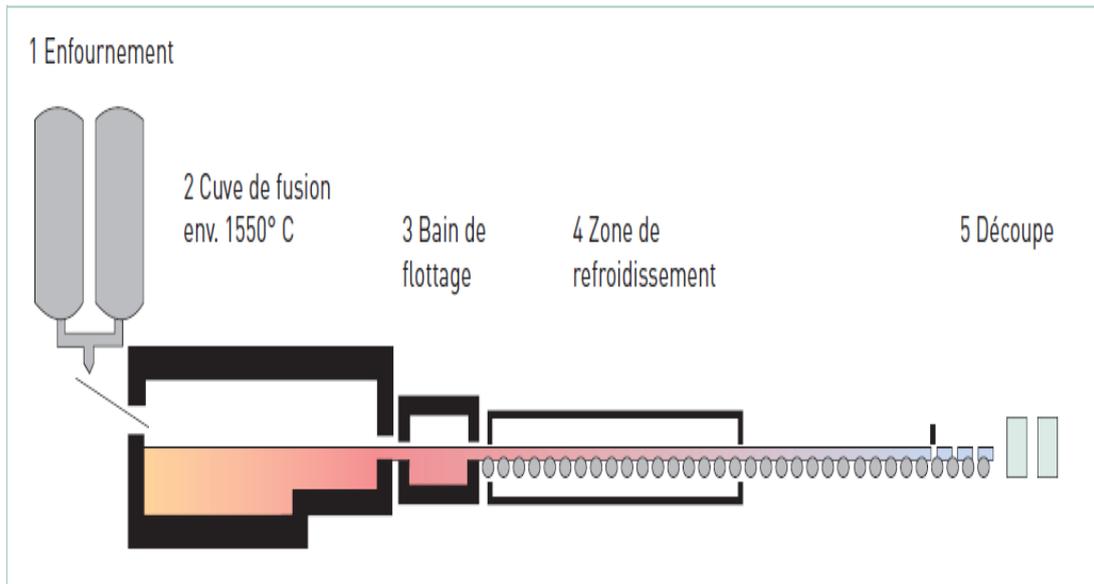


Figure 13 : Schéma du processus de fabrication du verre flotté.

Les verres de base dans la construction : verre flotté (le type de verre le plus utilisé), verre à vitre, verre décoratif ou verre coulé, verre décoratif armé, verre armé et verre armé poli, verre borosilicate, verre céramique, verre de protection contre les rayonnements, glace cristal, verre cristal, verre de quartz.

L'innovation technologique est scientifique ont participé à l'amélioration des caractéristiques du verre ce qui a permis d'utiliser le verre dans différents ouvrages de la construction. Le tableau suivant montrera ses caractéristiques :

Masse volumique	2.5kg/m ²		
Résistance à la compression	200 MPa		
Coefficient de la conductibilité thermique	1W/mK		
Indice d'affaiblissement acoustique pondère Rw	Pour 3 mm d'épaisseur Rw= 28 dB	Pour 3 mm d'épaisseur Rw= 28 dB	Pour 3 mm d'épaisseur Rw= 28 dB

³⁷GLAS TRÖSCH, AG. *Le verre et ses applications*. Glas Trösch Holding AG, Bützberg. 04.2013. p19.

La dureté superficielle à la rayure	5-6 HM
--	--------

Tableau 4: Propriété physique et mécanique du verre flotté.

2.3.4. La brique

La brique est un matériau couramment utilisé dans la construction des bâtiments et des travaux publics. Elle se constitue essentiellement d'argile (argile rouge 90% et argile vert 10%)³⁸, avec ou sans additifs. Le processus de production de la terre cuite se compose de différentes étapes : L'extraction des matières premières (argiles et limons), la préparation de l'argile, le façonnage, le séchage, la cuisson.

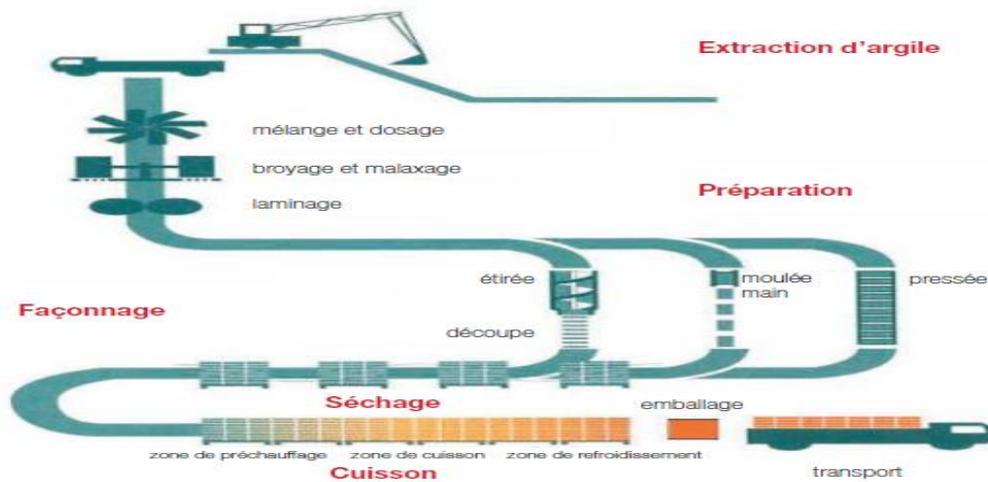


Figure 14: Schéma du processus de fabrication de la brique.

Sa forme est généralement parallépipède rectangle, on distingue 3 types principaux :

- **Brique pleine** : brique ne comportant aucune perforation et dont le format d'appellation le plus courant est 6x11x22 cm.
- **Brique perforée** : brique comportant des perforations perpendiculaires à la face de pose, la somme des sections des perforations étant inférieure ou égale à 50% de la section totale, et de largeur inférieure à 14 cm.
- **Bloc perforé** : brique de grand format, permettant de réaliser toute l'épaisseur brute du mur avec un seul élément, comportant des perforations perpendiculaires à la face de pose, dont la largeur est au moins de 14 cm, dont la hauteur est inférieure ou égale à 30 cm.

La somme des sections des perforations est inférieure ou égale à 60% de la section totale.

³⁸BARAKAT, A. Matériaux de carrière et de construction. Béni Mellal, Maroc : Université Sultan Moulay Slimane

- **Brique creuse de terre cuite** (Norme NF P 13- 301) : On distingue deux types de briques creuses :
 - Type C : Briques à faces de pose continues, destinées à être montées à joints de mortiers horizontaux continus.
 - Type R. J : Briques dites “ à Rupture de Joint ”, destinées à être montées à joints de mortiers horizontaux discontinus.

Caractéristiques de la brique : Les propriétés thermo- physico –mécaniques de brique de terre cuite sont indiquées dans les tableaux suivants³⁹ :

Masse volumique (kg/m ³)	Briques creuses	Briques perforées
		1750-2050
Absorption d'eau	<15%	30 - 80 %
Isolation acoustique	41 -58 dB	41 - 54 dB
Résistance à la compression	4 - 8 MPa	12.5 - 40 MPa

Tableau 5: les propriétés physico –mécaniques des Briques creuses et perforées.

Pleines		Perforées		Creuse	
Épaisseur (cm)	R (m ² . °C/W)	Épaisseur (cm)	R (m ² . °C/W)	Épaisseur (cm)	R (m ² . °C/W)
5.5	0.05	20	0.52	5	0.10
10.5	0.09	30	1.00	10	0.20
22	0.20	35	1.21	20	0.39

Tableau 6: la résistance thermique des briques pleine, creuses et perforées.

La conductivité thermique: des briques de terre cuite pleines égale 1.15 (W /m. °C).

L'utilisation de la brique dans le domaine de la construction est très large grâce à ses performantes propriétés (des bonnes résistances à la compression, un bon isolant thermique et acoustique) montrées au-dessus. Les briques servent à réaliser des :

- Cloisons ou colonne en brique.
- Parements intérieurs ou extérieurs avec ou sans enduits.
- Éléments de décorations.
- Mur en fondation en briques pleines.

³⁹ MEKHERMECHE, Abdessalam. *Contribution à l'étude des propriétés mécaniques et thermiques des briques en terre en vue de leur utilisation dans la restauration des Ksours sahariennes*, université kasdi merbah Ouargla, 2012, p9.

- Boisseaux pour les cheminées (conduite de fumée).

Point de vue environnemental : 90 % de la brique est constituée d'argile, ce qui rend la brique un matériau de construction recyclable et sans déchet nocif pour l'environnement. Les caractéristiques thermiques et acoustiques de la brique permettent d'économiser l'énergie. Les impacts environnementaux de la brique sont liés principalement à sa fabrication d'où il est cuit pendant 36 h à une température 900°C (phase de cuisson)⁴⁰.

2.3.5. L'Acier

L'acier peut être défini comme un matériau composé essentiellement de fer et présentant une teneur en carbone inférieur à 2 %. L'acier peut contenir aussi d'autres éléments en faible quantité qui sont soit des impuretés (soufre, phosphore), soit des introductions volontaires (silicium, nickel, chrome, cuivre, manganèse...) ajustables en fonction des qualités du produit recherché.

La construction métallique est un héritage du XIXe siècle. Au début du siècle, les matériaux utilisés étaient la fonte, le fer, puis l'acier. En 1997, plus de 90% des ouvrages en métal sont en acier, le reste étant en aluminium. Le développement de nouvelles industries (automobile, aéronautique) stimule la métallurgie qui met au point des produits sans cesse renouvelés pour s'adapter aux besoins. Les évolutions des matériaux sont très rapides et cette évolution permet d'optimiser la compétitivité du métal face à son concurrent, le béton⁴¹.

Le secteur de la construction au sens large emploie un acier standardisé et normalisé pour la réalisation d'ouvrages architecturale et d'ouvrages d'art. Il est un élément essentiel qui sert pour former le squelette des bâtiments, armer le béton, renforcer les fondations. Il est utilisé pour la tuyauterie, il habille les façades et les toitures. La popularité de l'acier dans la construction résulte de sa polyvalence, sa résistance, sa durabilité, son potentiel esthétique, sa capacité à bien se travailler avec d'autres matériaux et l'application de techniques industrielles dans la construction.

⁴⁰*Ibid.*

⁴¹CSTB. *Panorama des techniques du bâtiment*. 1947-1997 Ch.5.

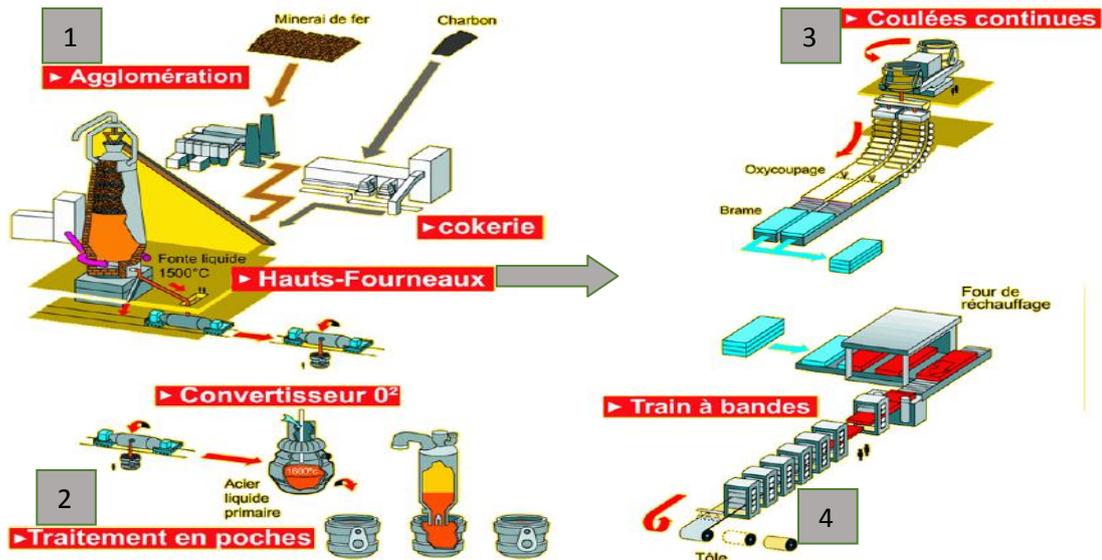


Figure 15: Schéma de fabrication de tôles en acier.

2.3.6. L'aluminium

L'aluminium est un métal très récent, extrait pour la première fois en 1854. Commercialement produit sous forme de métal précieux à partir de 1886, sa production industrielle en vue d'applications civiles n'a commencé qu'au cours des années 50. Sa première application célèbre dans le secteur de la construction remonte à 1898, lorsque le dôme de l'Église San Gioacchino de Rome était recouvert de feuilles d'aluminium. L'incroyable Empire State Building de style Art Déco à New York a été le premier bâtiment à intégrer, en 1931, des composants en aluminium anodisés. L'aluminium est aujourd'hui utilisé pour un large éventail d'applications dans le bâtiment et les travaux publics, et constitue le matériau de choix pour les murs rideaux, les cadres de fenêtre, les vérandas et d'autres structures vitrées. Il est largement utilisé pour les volets roulants, les portes, les bardages et les toitures, les plafonds suspendus, les panneaux muraux et cloisons, les équipements de chauffage et de ventilation, les dispositifs de protection solaire, les réflecteurs de lumière et les bâtiments entièrement préfabriqués. Les structures telles que les locaux d'habitation les plates-formes pétrolières, les ponts d'atterrissage pour les hélicoptères, les garde-corps, les échafaudages et les échelles sont également fabriqués en aluminium, d'une manière générale. Les raisons de ce succès durable, en particulier le cycle de vie "du berceau au berceau" et sa contribution à la performance énergétique des bâtiments.

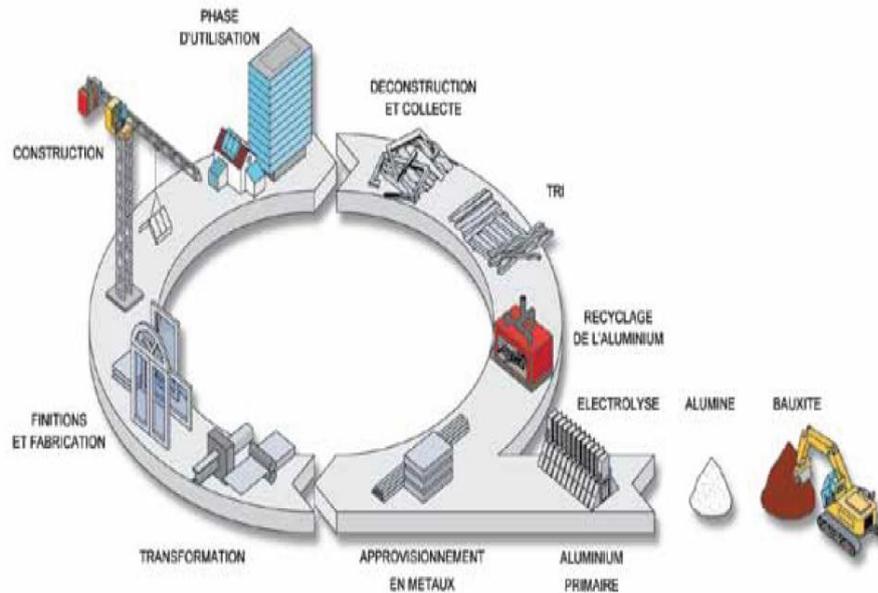


Figure 16 : Schéma du cycle de vie de l'aluminium.

Le tableau ci-dessous présent les principaux impacts environnementaux pouvant intervenir à chaque phase de production⁴².

Exploitation minière	Extraction à partir de minerai	Usinage et transformations
<ul style="list-style-type: none"> • Impact visuel des mines à ciel ouvert • Atteintes au sol, érosion • Déforestation • Perturbation de la faune et de la flore • Forte consommation de ressources minérales 	<ul style="list-style-type: none"> • Consommation d'énergie (électrolyse de l'aluminium, du cuivre, de l'étain...) • Émissions de dioxyde de carbone (CO₂) (utilisation de coke pour l'acier) • Polluants atmosphériques : polluants acidifiants ou photochimiques, micropolluants, poussières, métaux lourds... <p>Aluminium :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Boues rouges toxiques • Émissions de fluorures et de composés organiques volatils (COV). 	<ul style="list-style-type: none"> • Consommation d'énergie et émissions de gaz à effet de serre (transformation en produits semi-finis et finis, et transports des produits finis)

Tableau 7: les principaux impacts environnementaux des métaux.

2.3.7. Le bois

Il est composé d'environ 50 % de carbone, 43 % d'oxygène, 6 % d'hydrogène et 1 % d'azote. Tout le carbone contenu dans le bois provient du CO₂ atmosphérique utilisé par

⁴² « Matériaux et substance », ***Guide des achats professionnels responsables.*** <file:///G:/Nouveau%20mater/Guide%20des%20achats%20professionnels%20responsables.htm > (page consultée le 28 décembre 2014).

l'arbre par photosynthèse. Construire en bois, c'est stocker du carbone. Le bois est devenu à la mode. À l'ombre de ces architectes médiatisés, de petits cabinets se tournent vers le bois pour des raisons économiques, écologiques ou pour assouvir leur envie de créer par les détails. La conception et la réalisation d'une architecture intégrant du bois en structure ou en vêtue demandent rigueur, précision et ingéniosité. Malheureusement, très peu de maîtres d'œuvre ont été formés à ces techniques et le manque de connaissances sur le matériau représente une réelle entrave à l'utilisation du bois dans la construction. Traditionnellement, il est utilisé comme élément de franchissement du vide : poutre, planché, escalier. On le trouve aussi en enveloppe (couverture, bardage) et en revêtement intérieur (murs, sols). Un autre domaine privilégié est celui des menuiseries (portes, fenêtres).

Avantage des matériaux d'origine organique

L'utilisation des matériaux d'origine organique dans le domaine de la construction a permis d'avoir des résultats positifs. Les matériaux d'origine organique assurent un bilan de carbone positif grâce à cela grande capacité de stockage de gaz de CO₂. La comparaison entre une habitation traditionnelle et une maison privilégiant les matériaux d'origine végétale nous permet de mieux constater le rôle des matériaux d'origine organique dans la construction. Les résultats montrent une capacité de stockage de 1802 KgCO₂/m² habitable soit près de 9 fois à une maison traditionnelle⁴³.

Origine des matériaux	Matériaux	Conductivité thermique lambda (W/m. °C).
laines organiques	Le liège	0,034 W/m. °C – 0.04 W/m. °C ⁴⁴
	La laine de mouton	0,032 W/m. °C environ ⁴⁵

⁴³ LIEBARD, Alain. DE HERDE, André. *Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatique*. Paris : Le moniteur, décembre 2005, p366.

⁴⁴ VEISSEIRE, Maud et al. *Ma maison douce*, Aménager une maison économique et écologique. Paris : Vuibert, 2009, p62.

⁴⁵ DE HAUT, PAUL. *Chauffage, isolation et ventilation écologiques*. Paris : Eyrolles, p45.

Laine minérale	Laine de verre	0.041 W/m. °C ⁴⁶
	Laine de roche	0.041 W/m. °C ⁴⁷

Les matériaux de construction d'origine organique comme la laine de mouton, le liège, l'ouate de cellulose, la laine de coton, ce sont des matériaux très performants. Ils permettent une meilleure isolation thermique que les matériaux d'isolation traditionnels grâce à leurs coefficients lambda inférieurs par rapport aux isolants traditionnels d'origines minérales comme le montre le tableau suivant :

Tableau 8 : comparaison entre matériaux d'isolation d'origines organiques et d'origines minérales.

Lambda : coefficient de conductivité thermique (plus le coefficient est faible, plus l'isolant est efficace) exprimé en Watt par mètre et par degré Celsius (W/m. °C).

Les matériaux d'origine organique ont d'autres avantages :

- Recyclable.
- Légèreté.
- Non, polluante, coût économique (par exemple : la fibre de cellulose est un produit 100 % naturel, qui ne pollue pas, et qui n'est ni irritant ni toxique. Elle permet d'économiser au moins 25 % d'énergie par rapport à la laine de verre).

3. Les critères de choix d'un matériau

Le concepteur en architecture doit faire des choix entre une multitude de matériaux. Cette situation d'hyper choix est la conséquence ⁴⁸:

- d'une production industrielle entraînant une fragmentation conceptuelle (multitude de solutions et de procédés de mise en œuvre),
- d'un souhait d'atteindre certaines performances et innovations de plus en plus grandes (matériaux performants tout en étant respectueux de l'environnement et de l'Homme),
- de la recherche scientifique qui diminue le laps de temps entre la découverte de matériaux et son utilisation.

⁴⁶COUASNET, YVES. *Propriétés et caractéristique des matériaux de construction*. Paris : Le moniteur, 2005, p114.

⁴⁷*Ibid.*

⁴⁸KULA. TERNAUX, Elodie. HIRSINGER, Quentin. *Matériology. L'essentiel sur les matériaux et les technologies à l'usage des créateurs*. Bâle : Birkhäuser Frame, 2009, 336 pages.

Ces choix peuvent se révéler difficiles. Le principal risque est de se limiter à une écriture architecturale unique et à l'utilisation de quelques matériaux toujours identiques. Pourtant, il n'existe pas un matériau unique idéal. La réponse la plus optimale concernant la matière du bâtiment considéré va dépendre du projet, du site, des diverses contraintes, et des différents aspects et critères recherchés dans le matériau.

3.1 Les propriétés physiques et mécanique des matériaux

La connaissance des caractéristiques techniques des matériaux de construction est essentielle pour la compréhension du comportement de ces matériaux. Cela nous permettra de bien choisir nos matériaux est satisfaire le maximum des exigences par ex : connaître la résistance thermique et la conductivité thermique des matériaux nous guidera pour le choix d'un bon isolant thermique.

- **L'aspect physique des matériaux à l'épreuve du temps** : L'aspect des matériaux participe directement à l'esthétique des objets techniques. Il est essentiel de s'assurer que des objets conserveront leur aspect dans le temps. L'un des principaux facteurs de dégradation est la corrosion due à l'oxydation de certains matériaux, particulièrement les métaux.
- **Les propriétés mécaniques des matériaux** : Les propriétés mécaniques des matériaux sont la dureté et la résistance aux efforts (traction, compression, flexion). Soumis à des efforts de plus en plus grands, un matériau se déforme de manière temporaire (s'il reprend sa forme initiale lorsque l'effort cesse : déformation élastoplastique) ou permanente (s'il conserve cette déformation : déformation plastique). Au-delà d'un certain effort, les matériaux cassent.
- **La résistance électrique des matériaux** : Les métaux sont de très bons conducteurs d'électricité. Ils offrent peu de résistance au passage du courant électrique contrairement aux matériaux isolants électriques (matière plastique, céramique, bois...). Certains matériaux sont dits semi-conducteurs : ils sont très utilisés pour réaliser les composants électroniques, car ils laissent passer le courant électrique dans certaines conditions.
- **La résistance thermique des matériaux** : A l'inverse des métaux qui sont de bons conducteurs de la chaleur. La résistance thermique d'un matériau est d'autant plus élevée que son épaisseur est grande et que sa conductibilité thermique (capacité à conduire la chaleur) est faible.

3.2 L'aptitude au façonnage des matériaux

- **L'aptitude aux déformations plastiques** :Les déformations plastiques sont des déformations permanentes obtenues en exerçant des efforts sur les matériaux par différents procédés de pliage ou de formage. L'aptitude aux déformations plastiques dépend de la température de formage.
- **L'aptitude à la coupe** :Les procédés de façonnage utilisent un outil pour découper, tailler ou sculpter un matériau. Ils sont fondés sur la différence de dureté entre le matériau à façonner et celui formant l'outil : ce dernier doit être le plus dur.
- **L'aptitude au soudage** :Certains métaux ont la faculté de s'unir à l'état liquide par soudage. Cette propriété permet des assemblages solides, rigides et irréversibles. L'aptitude au soudage des métaux dépend de leur nature chimique.
- **L'aptitude au collage** :Le collage est une opération d'assemblage qui permet, grâce à une substance (colle), de maintenir par adhérence des matériaux en contact. La colle utilisée dépend de la nature des matériaux à assembler.

3.3 Les critères environnementaux

Le choix des matériaux de construction dépendra aussi de leur impact sur la santé humaine et sur l'environnement. Afin de parvenir une construction durable les matériaux devraient satisfaire quelques critères de santé et de l'environnement, parmi ces critères, on citera :

- Des matériaux pauvres en énergie grise :L'«énergie grise» est la quantité d'énergie nécessaire pour produire un matériau (ou un produit) de construction : une brique en terre cuite, un matériau isolant, etc.⁴⁹. En d'autres termes l'énergie grise est l'énergie consommée durant tout le cycle de vie d'un matériau.

⁴⁹JADOUL, Françoise. *La terre est notre maison*. Luc Pire et réseau écoconstruction. 2002, p44.

- Des matériaux non polluant : Durant tout le cycle de vie, ces matériaux ne doivent pas être à l'origine des émissions toxiques pour l'environnement : métaux lourds, substance appauvrissant la couche d'ozone...etc.
- Matériaux réutilisables ou recyclé : la réutilisation et le recyclage de certains matériaux permettent de rendre :
 - la consommation des matières premières : par exemple, la réutilisation de bois (portes, poutres...), la brique, les robinets ... ;
 - la masse des déchets de construction produits ;
 - l'énergie pour la fabrication des matériaux⁵⁰ ;

3.4 Des matériaux peu coûteux

Le choix des matériaux de construction dépendra aussi de leurs coûts économiques. Cet impact économique est relié au cycle de vie du matériau de l'extraction de la matière première jusqu'à sa fin de vie. Les matériaux trop chers, ils seront peu utilisés malgré leurs avantages pour l'Homme et pour l'environnement. On peut espérer que l'augmentation de la demande pour de tels matériaux en fera diminuer le prix dans un avenir proche.

Conclusion

Pierre Von Mies disait que ce serait une erreur de considérer les matériaux comme des corps plus ou moins neutres et inertes attendant notre imagination et notre travail. Les matériaux ont, eux aussi leur propre volonté, « leur âme ». Pour opérer des choix judicieux, l'architecte doit les considérer comme des interlocuteurs de sa sensibilité. Il interrogera d'abord les matériaux sur leurs désirs. Cela signifie ne pas leur demander trop, ni trop peu. Pour cela, il faut apprendre à connaître leurs caractéristiques intrinsèques. Un projet de construction, qu'il s'agisse de construire un bâtiment neuf ou d'intervenir sur un bâtiment existant, fait nécessairement appel à des matériaux de construction dont l'élément principal d'appréciation est la fonction constructive. Or les

⁵⁰ *Ibid.*

performances de chaque matériau doivent avoir une influence sur les performances de l'ouvrage en question, en ce qui concerne ses exigences fondamentales.

En résumé, les produits de construction peuvent être durable au sens le plus strict, renvoie tout d'abord à une bonne performance technique et fonctionnelle du produit tout au long de sa durée de vie. Donc, une bonne performance technique et fonctionnelle d'un produit de construction contribue également à sa durabilité, telle qu'elle peut être considérée dans le cadre du principe de développement durable.

**CHAPITRE 04 : Méthodes
et outils d'évaluation des
constructions**

Chapitre 04 : Méthodes et outils d'évaluation des constructions

Introduction :

Afin de faire face aux enjeux associés du développement durable et à l'environnement dans le domaine de la construction, des initiatives d'étude et d'évaluation ont été prises au niveau du cadre bâti pour qu'elles puissent contribuer de manière efficace à la réduction des impacts environnementaux et à leur développement durable.

On distingue deux types d'intervention ; la première qui se base sur une interprétation collective des quartiers, des bâtiments et leurs produits (la méthode d'évaluation des bâtiments) tels que HQE, BREEAM, LEED et SBTool, et la deuxième qui se consacre uniquement sur l'étude de leurs matériaux (outil d'évaluation des matériaux de construction) tels que l'ACV, Eco-indicateurs, Sac à dos écologique. Ces outils peuvent être utilisés dans les méthodes d'évaluation (HQE, BREEAM, ...) pour traiter le thème des matériaux.

Des méthodes d'évaluation de la qualité environnementale des bâtiments accompagnent maintenant les processus dès la conception et jusqu'à la démolition.

Cependant, les avantages les plus significatifs peuvent être obtenus si l'équipe de projet retient ce type d'approche le plus tôt possible.

En adoptant cette stratégie, la performance tant économique qu'environnementale peut être maximisée. La méthode d'évaluation fournit généralement un jeu de cibles, qui sont utilisées comme un guide pour améliorer la conception. Les équipes de conception les utilisent pour mesurer la performance des bâtiments. Vu l'importance de ces méthodes, la plupart des pays ont des approches adaptées à leur contexte local.

I. Les méthodes d'évaluation environnementales des bâtiments

I.1. Définition de la méthode d'évaluation des bâtiments

Les méthodes servent à évaluer les bâtiments et leurs produits au regard de principes environnementaux et du développement durable. Elles visent également à aligner leurs

interventions dans le cadre bâti avec les principes environnementaux et de développement durable de manière que ces interventions soient adaptées à l'échelle qu'elles évaluent.

L'évaluation intègre donc plusieurs aspects du bâtiment ; (choix du site, consommation d'énergie et d'eau, confort intérieur, etc.). Chacun de ces grands thèmes est représenté en indicateurs spécifiques. La vérification et l'implantation de ces indicateurs assurent au bâtiment une certification.

L'évaluation environnementale d'un bâtiment fait appel à un audit qualitatif et quantitatif, et relève de multiples critères : consommations énergétiques, émissions de gaz à effet de serre, effluents liquides, déchets solides, emprise géographique, dégradation des écosystèmes, pollutions des compartiments eau, sol, atmosphère, ensemble des êtres vivants, ainsi que confort et santé des occupants⁵¹.

1.2. Types de méthodes d'évaluation des bâtiments

L'évaluation du bâtiment est de plus en plus populaire et procure des avantages aux projets certifiés. La section qui suit approfondit l'analyse en quatre méthodes principales :

1.2.1. La méthode BREEAM

La méthode d'évaluation anglaise BREEAM est la première à avoir vu le jour, en 1990 ; son développement a donc été soustrait à toute influence d'autres méthodes d'évaluation. BREEAM est géré par la Building Research Establishment Global (BRE Global), filiale du plus grand organisme de bienfaisance anglais qui soit dédiée à la recherche et la sensibilisation dans le domaine du cadre bâti, soit le BRE Trust. BREEAM demeure aujourd'hui la méthode d'évaluation associée au plus grand nombre de certifications au niveau mondial⁴³.

Le BREEAM fournit une note sur 100, basée sur neuf cibles. Dès lors tous les actifs, au sein d'une typologie, peuvent obtenir une note qui permet de les classer et de distinguer de façon lisible les actifs dits performants des actifs plus ou moins obsolètes.

La note finale est classée en catégories :

⁵¹MANDALLENA, Céline. *Élaboration et application d'une méthode d'évaluation et d'amélioration de la qualité environnementale de bâtiments tertiaires en exploitation*, université Bordeaux 1, école doctorale des sciences physiques et de l'ingénieur, 19 juillet 2006, p51.

Inclassable inférieure à 30%

Passable \geq 30%

Bien \geq 45%

Très bien \geq , 55%

Excellent \geq 70%

Performant \geq 85%

BREEAM est organisée selon huit catégories environnementales ⁵²:

- Santé et bien-être(noté /15).

1-Eclairage naturel

-Niveau d'éclairement, facteur de lumière de jour (FLj supérieur à 2% bureau).

-Vue extérieure, profondeurs des locaux (inférieur à 7m bureau individuel).

2-Ebelouissement (protection solaire, positionnement des postes de travail dans les bureaux).

3-éclairage artificiel : Efficacité des luminaires, niveau d'éclairement poste de travail, contrôle de confort visuel, principe de dimensionnement (contrôle de l'éclairage par zones.

4-Ventilation naturel et mécanique.

5-Risques sanitaires

6-Matériaux d'aménagement intérieur sans composants organiques volatils (COV).

7-Confort thermique et acoustique.

- Énergie (noté / 19).

1-Emission de CO₂ : pourcentage de réduction de CO₂ total / Energie primaire.

2-Efficacité de l'éclairage extérieur

3-Low or zéro Carbon technologies :

-Pourcentage de réduction de CO₂ par la mise en œuvre des énergies renouvelables.

4-Appareils de levage (justification des choix).

⁵² DERGHAZARIAN, Alec. *Les méthodes d'évaluation du bâtiment et du cadre bâti durable*. Québec : université de Sherbrooke, 2011, p13 et 14.

5-Sous comptage : équipements techniques (chauffage, ventilation, climatisation, éclairage, humidificateurs).

- Transport (noté / 08).
 - 1-Accessibilité de site, proximité et service minimum.
 - 2-Mode de transport alternatif
 - 3-Protection piétons et cyclistes.
 - 4-Plans de mobilité

- Eau (noté /06).
 - 1-Evaluation et réduction des besoins / consommations
 - Consommation annuelle par personne (m^3 /pers. an).
 - Collecte et utilisation eau de pluie, eaux grises.
 - 2-Comptages et sous-comptages
 - Réseau de consommation d'eau
 - 3-Détection des fuites et coupure automatique
 - 4-Systemes d'irrigation

- Matériaux (noté / 12.5)
 - 1-Eco-bilan des matériaux de construction (murs extérieurs, fenêtres, toitures, dalles, murs intérieurs, finition planchers, matériaux d'aménagement extérieur, isolants).
 - 2-Réutilisation des matériaux
 - 3-Certification de la provenance des matériaux

- Aménagement du site et écologie (noté /10).
 - 1-Urbanisation antérieur du terrain
 - 2-Valeurs écologique du site et biodiversité à long
 - 3-Pollution du sol
 - 4-Protection des milieux sensibles durant les travaux

- Pollution (noté /10).
 - 1-Fluides réfrigérants.

2-Prévention des fuites-protection de la couche d'ozone.

3-Emission des gaz dans l'air.

4-Risque d'inondation/eux de ruissellement.

5-Pollution des eaux.

6-Autres nuisance (pollution lumineuse nocturne, nuisance sonores...).

- Déchets (noté /7.5).

1-Déchets de chantier

2-Déchets d'exploitation

3-Système de réduction des déchets volumineux

4-Filières de compostage

5-Revetement de sol

- Management (Gestion écologique) noté /12.

1-Commissioning : gestion des processus (appel d'offre, commande...), suivi et contrôle périodique, réception de l'ouvrage, enquête de satisfaction auprès des utilisateurs.

2-Manuel de l'utilisateur (documents non techniques, fonctionnement des stores, économie d'énergie...).

3-Étude de coût global :

-Étude des coûts de construction, exploitation, maintenance et fin de vie.

-Études pour le choix des éléments : enveloppes, structures, services, finitions...

-Étude des coûts de remplacements des installations, consommation énergétique, ...

4-Gestion de l'impact de chantier sur l'environnement

I.2.2. La méthode LEED

LEED est la deuxième méthode d'évaluation en importance sur la base du nombre de certifications. LEED, lancé en 1998, est chapeauté par l'US Green Building Council (USGBC), organisme à but non lucratif qui compte plus de 16,000 membres et qui organise la plus grande conférence en bâtiments durable au monde, soit Greenbuild.

Le système d'évaluation LEED® favorise l'aménagement de bâtiments viables tant sur le plan écologique que financier. Il s'appuie sur un cadre scientifique pour déterminer le rendement des bâtiments et leurs caractéristiques de conception durables par l'entremise de normes communes de mesure qui sont transférables et faciles à utiliser.

Le système évalue le rendement des immeubles dans six catégories, dont chacune comprend une série d'exigences préalables obligatoires et de crédits réalisables définis selon des points de référence. Les documents qui présentent des projets de conception et de construction respectant ou dépassant les critères énoncés permettent d'accumuler des points. Le nombre de points obtenus (maximum de 70) détermine la désignation LEED® accordée, selon la répartition suivante :

- immeuble certifié LEED® : de 26 à 32 points ;
- immeuble certifié LEED® – Argent : de 33 à 38 points ;
- immeuble certifié LEED® – Or : de 39 à 51 points ;
- immeuble certifié LEED® – Platine : de 52 à 70 points.

Les indicateurs de la démarche LEED sont groupés en cinq catégories principales⁴³ :

- Aménagement écologique du site.

Il s'agit de la première catégorie pour laquelle des points peuvent être attribués. Elle comporte une exigence préalable et peut donner droit jusqu'à 14 points. Tous les projets doivent comprendre un plan de lutte contre l'érosion et la sédimentation visant à réduire les effets négatifs du site sur la qualité de l'eau et de l'air. D'autres points peuvent récompenser les initiatives suivantes :

- La remise en état des friches industrielles ;
- Le choix d'un site qui n'est pas écosensible ;
- Le choix de sites favorisant une augmentation de la densité localisée dans des secteurs urbains (utilisation de l'infrastructure municipale existante) ;
- Le choix de sites conçus de façon à permettre une réduction du débit, de la quantité ou de la qualité des eaux pluviales acheminées au réseau d'égouts municipal en place ;
- La proximité des services de transport en commun, l'existence d'espaces de rangement pour les vélos, une capacité de stationnement réduite au minimum et la disponibilité de stations de ravitaillement en carburant de rechange, des mesures ayant pour objectif de limiter l'utilisation des véhicules;

-Des efforts pour restaurer la biodiversité grâce à la remise en état des aires naturelles et à la réduction de la superficie au sol des bâtiments ;

-La diminution de la pollution lumineuse par l'utilisation de stratégie visant à réduire au minimum la diffusion de la lumière au-delà des limites de la propriété ;

-La réduction des écarts thermiques entre les terrains aménagés et non aménagés (effet de l'îlot de chaleur).

- Gestion efficace de l'eau.

Cette catégorie vise à réduire la consommation d'eau d'un bâtiment, diminuant ainsi la demande de services de traitement de l'eau et d'égouts assurés par la Ville. Elle ne comporte aucune exigence préalable et il est possible d'obtenir cinq points qui reposent sur les trois critères suivants :

-La conception d'un plan d'implantation extérieur qui réduit ou élimine la consommation d'eau potable à des fins d'aménagement paysager ;

-Des appareils et dispositifs de plomberie conçus pour économiser les ressources en eau ;

-La réduction de la consommation de l'eau fournie par la Ville à des fins d'écoulement des eaux usées générées par le bâtiment.

- Energie et atmosphère.

Cette catégorie compte trois exigences préalables et six critères pouvant donner jusqu'à 17 points. Elle vise à réduire le taux d'épuisement des ressources énergétiques non renouvelables, à diminuer les répercussions environnementales qui y sont liées (émissions de gaz à effet de serre, etc.) et à encourager l'utilisation de sources d'énergie renouvelable. Des points sont accordés pour les initiatives suivantes :

-Une plus grande optimisation du rendement énergétique du système CVC du service d'eau chaude et de l'éclairage intérieur ;

-L'élimination des frigorigènes HCFC des systèmes installés dans les bâtiments afin de réduire davantage l'appauvrissement de la couche d'ozone ;

-L'utilisation de l'énergie produite par des sources de combustibles non fossiles ainsi que de l'énergie écologique générée par des technologies d'énergie renouvelable reliées au réseau électrique ;

-Des mises en service supplémentaires ;

-La mesure et la vérification des équipements techniques pour s'assurer qu'ils fonctionnent efficacement afin de réduire les coûts de fonctionnement.

- Matériaux et ressources.

Cette catégorie compte une exigence préalable et peut procurer jusqu'à 14 points. Elle vise à encourager l'adoption de stratégies de conception qui réduisent et réutilisent les ressources matérielles et les débris de construction, de même qu'à choisir des matériaux de construction qui ne produisent pas beaucoup d'émissions, contiennent des matières recyclées, sont fabriqués à partir de ressources renouvelables ou entraînent peu de répercussions sur l'environnement. Cette catégorie exige que le bâtiment soit conçu de façon à faciliter la réduction des déchets générés au site en réservant une zone facilement accessible à la séparation, à la collecte et à l'entreposage de matériaux, comme le papier, le carton ondulé, le verre, le plastique et les métaux. Des points sont accordés pour les initiatives suivantes :

-La réutilisation de structures existantes et de matériaux de construction ;

-Le réacheminement des déchets de construction, de rénovation et de démolition, provenant des sites d'enfouissement ;

-L'utilisation de matériaux fabriqués localement ;

-L'utilisation de matériaux fabriqués à l'aide des matières recyclées, de ressources renouvelables et de bois récolté grâce à des pratiques viables de gestion des forêts.

- La qualité des environnements intérieurs.

Cette catégorie compte deux exigences préalables et huit critères pour un total possible de 15 points. D'une part, le projet doit satisfaire aux exigences de la norme ASHRAE 62 – Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality (ventilation nécessaire à une qualité de l'air intérieur acceptable), afin de fournir une bonne

qualité de l'air intérieur pour la santé, le confort et le bien-être des occupants du bâtiment.

D'autre part, le projet doit comprendre des initiatives de lutte contre la fumée de tabac ambiante à l'intérieur du bâtiment. Selon cette exigence, les occupants doivent être protégés contre l'exposition à la fumée de cigarette par une interdiction de fumer dans le bâtiment et l'autorisation de fumer dans des zones précises situées à l'extérieur, loin des entrées et des

- La surveillance du dioxyde de carbone ;

L'utilisation de peintures, de tapis, de matériaux d'étanchéité et de produits composites (bois) et adhésifs à faibles émissions ;

- La mise en œuvre d'un plan de construction échelonné ;

-La conception d'espace d'entreposage réservé aux polluants chimiques afin de réduire la pollution de l'air intérieur ;

-Des améliorations supplémentaires apportées au système CVC pour accroître le taux de ventilation (à un niveau supérieur aux normes minimales), permettre aux occupants de régler le système et/ou améliorer le confort thermique ;

- Le recours à l'éclairage naturel et aux vues sur l'extérieur pendant le jour.

I.2.3. La méthode SBTool⁵³

La création de SBTool (autrefois Green Building Tool ou « GBTool ») fait suite aux premières rencontres mondiales sur le thème du bâtiment vert en 1996 et 1998, baptisées Green Building Challenge (GBC) et initiées par Ressources Naturelles Canada. En plus du Canada, qui a assumé le rôle prédominant de l'élaboration de cette méthode d'évaluation, treize pays y ont contribué leur expertise. SBTool, aussi bien que les rencontres mondiales, renommés Sustainable Building Challenge (SBC) et qui rassemblent des représentants de dizaines de pays, sont aujourd'hui gérées par le International Institute for a Sustainable BuiltEnvironment (iiSBE).

Recueil des données :

La méthode SBTool intègre deux types de références :

- celles que l'on peut exprimer en valeurs numériques
- celles que l'on peut plus facilement décrire sous forme de texte.

⁵³ INTERNATIONAL INITIATIVE FOR SUSTAINABLE BUILT ENVIRONMENT. *Analyse de la certification SBTool*, éd : enviroB.A.T-Méditerranée, Juillet 2007.

La quantité d'informations à collecter est énorme, certaines informations sont difficiles à obtenir même pour l'architecte ou le constructeur tellement le niveau de détail requis est important.

Évaluation :

L'évaluation peut être menée à différentes étapes du cycle de vie d'un projet. L'outil SBTool tient compte de quatre phases : la préconception, la conception, la construction et les opérations.

Une échelle allant de 0 à +5 permet de noter la construction : 0 correspond à une performance très inférieure à la norme, 2 correspond à la référence (normes industrielles), et 5 correspond à une performance extrêmement difficile à atteindre.

Les catégories de SBTool sont :

- Insertion dans le territoire
 - Sélection du site, organisation du projet et développement
 1. Sélection du site
 2. Planification du projet
 3. Architecture urbaine et aménagement du terrain

- Matériaux, ressources et nuisances de construction
 - Energie et consommation des ressources
 1. Energie non renouvelable sur l'ensemble du cycle de vie
 2. Consommation électrique maximale prévue pour les opérations de construction
 3. Energie renouvelable
 4. Mise en service des systèmes du bâtiment
 5. Matériaux
 6. Eau potable

- Aspects socio-économiques.
 1. Coût et aspect financier
 2. Aspects sociaux

- Aspects culturels et de perception.

- Energie, eau et déchets d'activités
 - Impacts environnementaux
 1. Émissions de gaz à effet de serre
 2. Autres émissions atmosphériques
 3. Déchets solides
 4. Eaux pluviales et eaux usagées
 5. Impacts sur le site
 6. Autres impacts locaux et régionaux

 - Confort et santé durable
 - Qualité environnementale intérieure
 1. Qualité de l'air intérieur
 2. Ventilation
 3. Température de l'air et l'humidité relative
 4. Éclairage naturel et artificiel
 5. Bruit et isolation acoustique

SBTool est modulaire, il peut être adapté à des échelles spatiales plus grandes, et permet d'évaluer de nouvelles constructions ainsi que des bâtiments existants.

I.2.4. la méthode HQE

La méthode d'évaluation française Haute Qualité Environnementale - bâtiment (HQE bâtiment ou HQE) est soutenue par l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME), organisme public d'envergure associé à trois ministères français et qui contribue à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable. L'ADEME contribue à définir le concept de la haute qualité environnementale (HQE) dès le début des années 1990 ; la définition servira à l'élaboration de la méthode HQE bâtiment, lancé en 2001. La méthode, qui compte 550 bâtiments certifiés, est gérée par l'Association HQE qui « rassemble les représentants de la quasi-intégralité des acteurs de la construction » en France. Son influence pourrait bientôt dépasser les frontières de la France et se faire sentir à l'échelle de l'Europe grâce à l'alliance entre ces organismes porteurs et ceux de

BREEAM, annoncée en 2009, et dont le but serait développé une méthode harmonisée à l'échelle de l'Europe⁵⁴.

La méthode d'évaluation HQE Bâtiment :⁵⁵

L'approche française pour s'inscrire le secteur du bâtiment dans une perspective de développement durable est la Haute Qualité Environnementale HQE®. Le CSTB et l'AFNOR, mandatés par l'association HQE, ont mis en place une certification pour les bâtiments tertiaires (bureaux, écoles). C'est une des méthodes françaises d'évaluation. Les 14 cibles de cette méthode offrent un langage commun, décrivant précisément les caractéristiques environnementales d'un bâtiment et permettant ainsi de s'accorder sur des objectifs partagés par tous les acteurs. Ces cibles concernent l'écoconstruction (relation harmonieuse des bâtiments avec leur environnement immédiat, le choix intégré des procédés et produits de construction, le chantier à faibles nuisances), l'éco-gestion (gestion de l'énergie, de l'eau, des déchets d'activités, entretien et maintenance), le confort (hygrothermique, acoustique, visuel, olfactif), la santé (conditions sanitaires, qualité de l'air et de l'eau) (CSTB 2005).

Bien que ce système de certification soit très récent, il est déjà possible de décrire quelques faiblesses et forces. Bien évidemment, le fait de donner un contenu concret aux 14 cibles est très positif et utile. Néanmoins, en ce qui concerne les mathématiques, un besoin de prendre les incertitudes en considération est aussi important. L'inexactitude ne peut pas être ignorée à long terme parce que tous les projets sont soumis à au moins un certain degré d'incertitude.

Les données de la certification sont divisées entre les cibles quantitatives et les cibles qualitatives. Les données quantitatives peuvent être présentées à une échelle numérique. Mais ce n'est pas le cas pour les données qualitatives. Les deux types de cibles sont face à l'imperfection : les avis personnels dans les préoccupations qualitatives sont souvent évalués subjectivement et les mesures dans les cibles quantitatives ne sont pas faites complètement sans erreur. La meilleure solution consiste de toute façon, quelle que soit la méthode d'évaluation, d'améliorer la qualité des données d'entrée. Mais

⁵⁴ LEROI, Pascale, al. *Construction de Haute Qualité Environnementale : L'implication des régions*. Paris : Institut d'Aménagement et d'Urbanisme de la Région Ile de France, septembre 2005, 66p.

⁵⁵ LEROI, Pascale. & Al., *Construction de haute qualité environnementale*, éd : Institut d'aménagement et d'urbanisme de la région ile de France, Bordeaux, septembre 2005.

malheureusement ce n'est pas toujours facile dans le domaine de la construction. En fait, l'imprécision devrait être prise en compte dès le début, en évitant l'utilisation de valeurs supposées précises lorsque les informations ne sont pas fiables.

Les 14 cibles de la Haute Qualité Environnementale du Bâtiment

Les 14 cibles définies par l'association HQE ont pour objet de permettre au maître d'ouvrage de structurer ses objectifs. La méthode s'appuie à la fois sur l'organisation (le management) et les objectifs à atteindre. L'objectif est d'associer tous les acteurs du bâtiment pour enrichir le contenu (exigences, évolution...) sur la base des retours d'expérience.

Le but n'est pas d'atteindre une exigence maximale dans toutes les cibles, mais de hiérarchiser ces cibles en fonction du contexte (terrain, destination du bâtiment) et des caractéristiques du projet. Le maître d'ouvrage classe les différentes cibles HQE, énoncées ci-dessous, selon trois catégories :

- **Cible très performante** : le concepteur du bâtiment étudie et propose différentes solutions techniques économiquement viables et au-delà de la pratique classique, pour appuyer la performance de cette cible.
- **Cible performante** : le concepteur s'attache à la qualité des solutions proposées afin d'atteindre une performance supérieure à la réglementation et/ou à la pratique classique.
- **Cible de base** : le concepteur veille à la conformité réglementaire et/ou à l'application des règles de bonnes pratiques.

Le maître d'ouvrage peut choisir 3 ou 4 cibles sur lesquelles sera concentré un maximum d'efforts (voir paragraphe certification.).

Maîtriser les impacts sur l'environnement extérieur :	Créer un environnement intérieur satisfaisant :
<p>Ecoconstruction :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 1. Relation harmonieuse des bâtiments avec leur environnement immédiat. • 2. Choix intégré des procédés et produit de construction. • 3. Chantier à faible nuisance. 	<p>Confort :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 8. Confort hygrothermique. • 9. Confort acoustique. • 10. Confort visuel. • 11. Confort olfactif.

<p>Eco-gestion :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 4. Gestion de l'énergie. • 5. Gestion de l'eau. • 6. Gestion des déchets. • 7. Gestion de l'entretien et de la maintenance. 	<p>Santé :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 12. Qualité sanitaire des espaces. • 13. Qualité sanitaire de l'air. • 14. Qualité sanitaire de l'eau.
--	--

Tableau 9: Les 14 cibles de qualité environnementales du bâtiment. Source association HQE

II. Les outils d'évaluation des matériaux de construction

II.1. Définition d'un outil d'évaluation des matériaux de construction

Les impacts environnementaux et économiques causés par le secteur de bâtiment, ont poussé différents responsables, chercheurs et scientifiques de pensée à créer des outils d'évaluations des matériaux dans le domaine de la construction correctes et qui précisent de ses impacts dans le but de minimiser la détérioration de l'environnement et une meilleure gestion économique, en prenant en évidence la compréhension du cycle de vie de chaque produit et matériaux.

II.2. Types d'outils d'évaluation des matériaux de construction

Plusieurs outils d'évaluation ont été développés dans ces dernières années, parmi ces outils :

II.2.1. L'analyse de cycle de vie (ACV)

II.2.1.1. Définitions

Analyse de cycle de vie (ACV), en anglais «Life Cycle Assessment, LCA», est le terme technique utilisé depuis 1993. Analyse du Cycle de Vie est une approche scientifique qui permet d'évaluer la consommation nécessaire d'énergie et l'impact environnemental d'un produit, d'un matériau ou d'une activité sur l'environnement, en prenant en compte la totalité de son cycle de vie du berceau à la tombe (extraction de la matière, fabrication, transport, utilisation, entretien et fin de vie). La possibilité de recyclage de matériaux après sa fin de vie permet d'avoir un cycle fermé depuis l'extraction de la matière jusqu'à sa réutilisation.

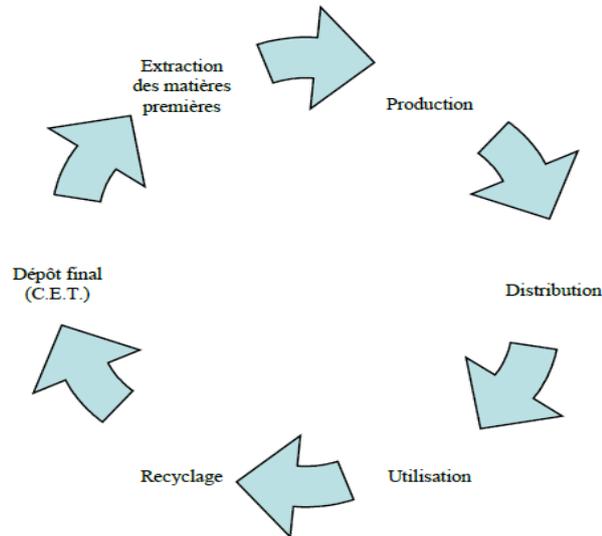


Figure 17: Principe de l'analyse du cycle de vie. Source COURARD, Luc. *Le cycle de vie de matières : les matériaux de construction et de démolitions*. Université de Liège, juin 2006, p36.

II.2.1.2. Les étapes de l'analyse de cycle de vie

Le code de pratique publié par la SETAC (1993, Society for Environmental Toxicology and Chemistry) définit pour l'analyse du cycle de vie en quatre étapes, structurées suivant la série de norme ISO140X à savoir :

La première étape (définition des objectifs ISO 14040) :

Cette norme spécifie le cadre et les principes généraux ainsi que les exigences générales pour la réalisation d'ACV. Elle permet de poser le problème, de définir les objectifs et la portée de l'étude.

L'objectif de l'étude doit être défini avant la réalisation d'une analyse de cycle de vie. Cette étape consiste à déterminer l'utilisation future des résultats, et le type d'analyses nécessaires et la manière dont les résultats doivent être présentés⁵⁶.

Par exemple, une ACV peut être réalisée dans le but de comparer deux produits qui rendent le même service, de communiquer sur la qualité d'un produit, de prendre des mesures politiques et d'établir des réglementations, de déterminer ou orienter les achats

⁵⁶GILLET, D. *Les ACV dans les industries graphiques*. CERIG, 2000.

de matières, et même de développer des stratégies de marché... etc.⁵⁷ C'est aussi dans cette étape que les scénarios de base et les alternatives à étudier sont définis en détail.

La deuxième étape (l'inventaire des émissions et des matières premières ISO 14041) :

Il s'agit d'une phase de l'analyse du cycle de vie impliquant la compilation et la quantification des entrants et des sortants pour un système de produit donné au cours de son cycle de vie (ISO 14041).

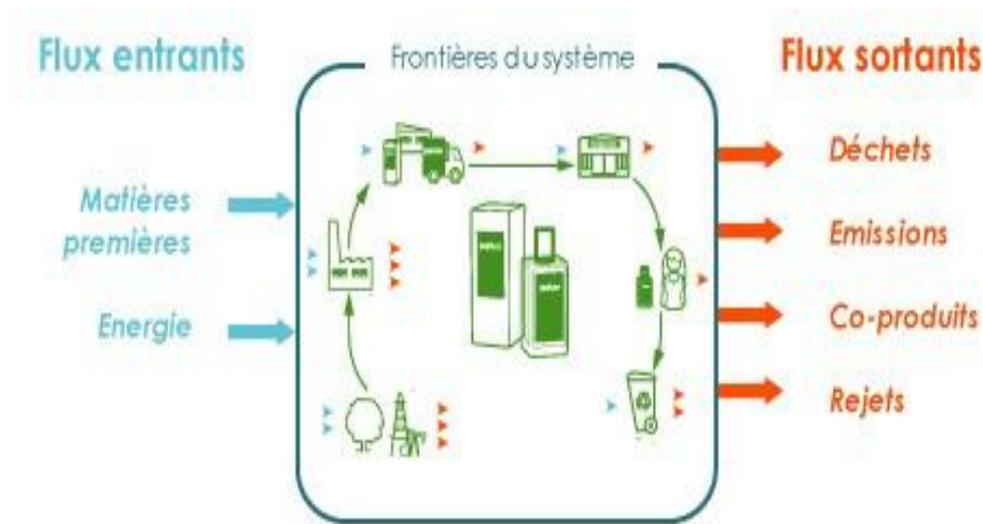


Figure 18: Représentation d'un inventaire du cycle de vie. Source Copyright O2 France.

La troisième étape (l'évaluation des impacts ISO 14042) :

Elle évalue l'impact sur l'environnement des émissions listées dans l'étape précédente. Elle se décompose en trois sous-étapes :

- **Classification :** Elle détermine quelles émissions contribuent à quels effets environnementaux (Épuisement de ressources naturel, effet de serre, toxicité humaine, écotoxicité, acidification, eutrophisation) ; elle permet de regrouper, les flux ou facteurs d'impacts, afin de faciliter leur caractérisation⁵⁸. les

⁵⁷ WEIDEMA, B. WENZEL, H. HAMSEN, C. *The product, functional unit and reference flows in LCA*. Danish Ministry of the Environment, environmental production agency environmental news n°70. 2004.

⁵⁸ PERSONNE, M. BRODHAG, C. *Évaluation des performances environnementales des PME*. Département ingénierie de l'environnement, centre SIMADE École des mines de Saint-Étienne.

émissions seront arrangées selon leurs caractéristiques à l'intérieur de chacune des classes d'effets.

Les différentes catégories d'impacts analysés dans les ACV :

Classe	Sous-classe	Échelle graphique de l'impact
Épuisement des réserves naturelles		Globale ou régionale
Effet de serre		Globale
Dégradation de la couche d'ozone		Globale
Toxicité et écotoxicité	Toxicité : hommes, faune, flore et écosystème	Locale
	Acidification	Régionale
	Eutrophisation	Locale
Nuisances	Bruit	Locale
	Odeur	Locale
	Visuel	Locale
Altération physique des écosystèmes		Locale ou régionale

Tableau 10: classification des impacts. Source : KEBBOUCHE, Zahia. *Approche amont, pour limiter les rejets induits par les produits. Eco- Conception de mobilier de bureau*. UNIVERSITÉ M'HAMED BOUGARA – BOUMERDES, 2005, p59.

- **Caractérisation des impacts :** La caractérisation consiste à multiplier une substance qui contribue à une catégorie d'impact par un facteur de caractérisation définie préalablement. Par exemple, le facteur de caractérisation du CO₂ dans l'impact du changement climatique, représenté par l'indicateur GWP (global warning potentiel), est égal à 1 ; par contre celui du méthane est égal à 21. C'est-à-dire, 1 kg de méthane cause le même effet climatique que 21 Kg de CO₂.

- **La normalisation** : les résultats de la caractérisation sont rapportés à une valeur de référence. Le but est d'harmoniser les unités et de montrer la contribution relative du produit par rapport à la référence⁵⁹. Plusieurs méthodes de calcul pour effectuer une caractérisation : (Méthode des volumes critiques, Méthode EPS (environment priority strategy)).

La quatrième étape (l'amélioration ou l'optimisation des procédés ISO 14043) :

Elle permet d'interpréter les résultats obtenus dans chacune des étapes ou sous-étapes précédentes. L'analyse de l'impact environnemental est complétée par la mesure sociale des dommages qui évaluent finalement l'importance relative des différents dommages et classes d'effets⁶⁰.

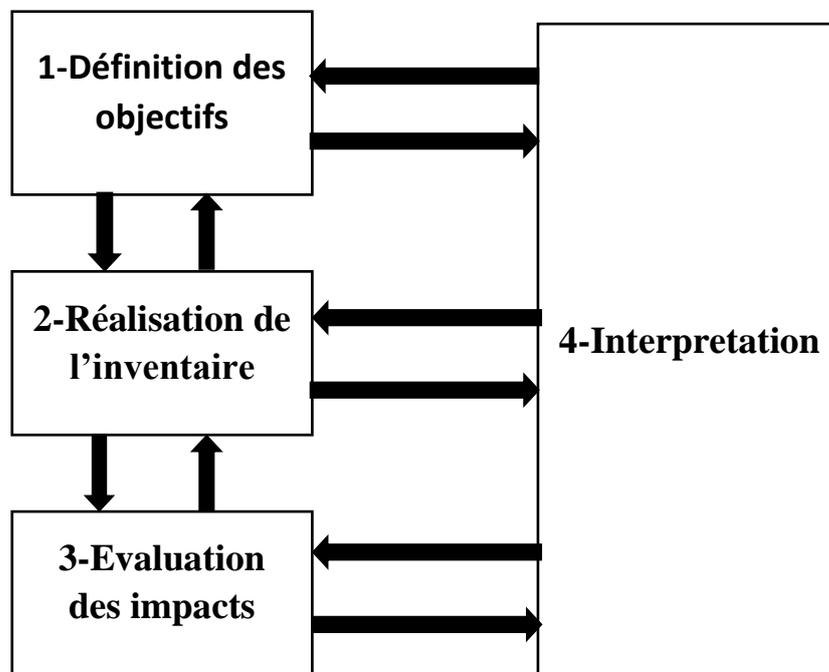


Tableau 11: Etape de l'analyse de l'ACV.

II.2.2. Analyse de cycle de vie des bâtiments

Analyse du cycle de vie d'un bâtiment se repose principalement sur les matériaux de construction d'où elle nécessite l'acquisition d'un grand nombre de données pour réussir à modéliser correctement une étude de cas. Ces dernières années plusieurs outils

⁵⁹REQUIER, C. *Analyse de cycle de vie des piles à combustibles alcalines*. Faculté des sciences appliquées, laboratoire de chimie industrielle-ingénieur chimiste, Université de Liège, 2001-2002.

⁶⁰KEBBOUCHE, Zahia. *Approche amont pour limiter les rejets induits par les produits*. Eco- Conception de mobilier de bureau. Boumerdes : Université M'Hamed Bougara, 2005, p20.

d'ACV ont été développés à travers le monde pour faciliter ces analyses. Parmi ces outils, on mentionne :

Logiciels disponibles pour l'ACV des bâtiments	Organisme responsable	Pays	Relié à la base de données ACV	Illustration / Site internet
BEES	National Institute for Standards and Technology	Etats-Unis	BEES Industry data	www.nist.gov/el/economics/BEESSoftware.cfm/
Eco-bat	HEIG-VD Laboratoire de physique du bâtiment	Suisse	Ecoinvent	www.eco-bat.ch
Eco-effet	KTH / University of Gävle	Suède		www.ecoeffect.se/
Eco-quantum	IVAM	Pays-bas	MRPI IVAM	www.ivam.uva.nl/index.php?id=91&L=1
Ecosoft	Institute für Baubiologie and Bauökologie	Autriche		www.ibo.at/en/ecosoft.htm
ENVEST	Building Research Establishment	Royaume-Uni	BRE Profile	http://invest.v2.bre.co.uk/
ELODIE	Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB)	France	INIES	www.elodie-cstb.fr
TEAM Bâtiment	WEKA GmbH	Allemagne	Ecoinvent Ökobau IBU	www.legep-software.de/
LEGEP	Ecobilan	France	INIES DEAM	www.teambatiment.com/fr

Tableau 12: Logiciels pour l'ACV des bâtiments. Source : LASVAUX, Sébastien. *Étude d'un modèle simplifié pour l'analyse de cycle de vie des bâtiments*. L'École Nationale supérieure des Mines de Paris, 14 décembre 2010, p24.

Les outils existants pour l'ACV des bâtiments s'appuient, à ce jour, sur différentes approches, reflétant parfois le contexte local d'un pays ou d'une région.

Les données d'entrée des outils sont généralement différentes. Chaque outil utilise sa propre base de données ACV. Par exemple, l'outil canadien Impact Estimator utilise la base de données ATHENA qui est représentative des procédés de fabrication nord-américain. De même, l'outil hollandais ECO-QUANTUM utilise la base de données MRPI qui fournit des données représentatives des produits vendus sur le marché hollandais.

Les indicateurs sont bien souvent différents pour une même catégorie d'impact (en dehors des indicateurs classiques tels que l'énergie ou le changement climatique). Par exemple, pour évaluer l'impact sur la santé humaine, l'outil ATHENA utilise un index de pollution de l'air, l'outil ELODIE utilise un indicateur de toxicité à l'aide de la méthode des volumes critiques, et l'outil EQUER qui utilise un indicateur de dommages sur la santé (DALY).

L'application de ces outils dans un contexte différent qui n'est pas le leur ne permet pas d'avoir des résultats fiables ce qui nécessite une adaptation des bases de données et des indicateurs choisis pour la réalisation de l'évaluation de cas d'étude.

II.2.3. Méthode des éco indicateurs

La méthode est basée sur le principe de l'ACV, on retrouve ainsi les mêmes étapes d'inventaire des flux, de classification et caractérisation selon plusieurs catégories d'impacts, et de normalisation.

Les éco- indicateurs sont des «notes» faciles à manipuler ; ils sont attribués après évaluation de tous les impacts environnementaux de chaque matériau pour chacune des phases du cycle de vie.

Elle fait partie des méthodes qui constituent la base de données du logiciel Simapro.

II.2.4. Le Sac A dos Ecologique Material Intensity per Service Unit (MIPS).

Le sac à dos écologique est un nouveau concept développé en 1994 (Allemagne) afin de connaître la «consommation d'environnement» totale d'un produit. Cette consommation correspond en fait à l'ensemble des transformations opérées à partir des ressources

naturelles sur le cycle de vie d'un produit d'un certain poids, transformations qui vont se traduire par un certain nombre de ponctions et de rejets représentant un «poids d'environnement»⁶¹.

Le «sac à dos écologique» permet de mesurer le poids de l'utilisation :

Ressources abiotiques (Ressources non renouvelables) :

- Matières premières minérales (minerai, sable, gravier, ...etc.) ;
- Ressources énergétiques fossiles (charbon, gaz naturel, ...etc.) ;
- Terre déplacée (creusement).

Ressources biotiques (ressources renouvelables) :

- Biomasse issue d'exploitation (agriculture, forêts) ;
- Biomasse non issue d'exploitation (chasse, cueillette).

Déplacement du sol dans l'agriculture et la foresterie :

- Exploitation mécanisée des sols (labourage) ;
- Érosion.

Eau (consommation de tout volume d'eau détournée du flux naturel) :

- Eau de surface ;
- Nappes phréatiques.

Air (consommation d'air dans le cas de modifications chimiques ou physiques).

Conclusion

D'après les données récoltées sur les outils et les méthodes d'évaluation des bâtiments mentionnés au-dessus. On constate que les méthodes BREEAM, LEED, HQE et SBTool évaluent la durabilité des constructions à travers plusieurs critères classés selon différentes catégories tout en essayant d'équilibrer entre ces catégories, il est à signaler que les matériaux de construction ne sont pas considérés comme un sujet d'intervention primordiale dans ces méthodes. Les outils d'évaluation des matériaux basés sur l'ACV, le sac à dos écologique, méthode des éco indicateurs sont relativement complexes, car

⁶¹SOMMET MONDIAL SUR LE DEVELOPPEMENT DURABLE. *Dématérialisation des ressources naturelles*, clarification des concepts : facteurs, 4, 10, empreinte écologique, espace environnementale ». Ministère des Affaires Etrangères, Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, République Française, 2003.

ils font appeler à des bases de données incomplètes et spécifiques à leur contexte géographique, réglementaire, et politique de leurs pays d'origine. Cependant, les outils PAPOOSE, EQUER, ESCALE, et TEAM, appliqués à une même opération, donnent des résultats encore assez divergents⁶². Des travaux plus récents⁶³ montrent des écarts de plus ou moins 10% sur les indicateurs environnementaux comme les émissions de gaz à effet de serre pour les cas étudiés.

En vue de répondre à tous ces constats cités, le chapitre suivant va se focaliser sur l'élaboration d'une méthode d'évaluation de la durabilité des bâtiments via les matériaux de construction.

⁶² NIBEL, S, RIALHE, A. *Quatre outils français d'analyse de la qualité environnementale des bâtiments : Mise en œuvre et comparaison*. PUCA, 1999. 111p.

⁶³ PEUपोर्टIER et AL. *Inter-comparison and benchmarking of LCA-Based environmental assessment and design tools*. PRESCO Project, Sb 2004.

CHAPITRE 05 : Elaboration d'une méthode d'évaluation

Chapitre 05 : Elaboration d'une méthode d'évaluation

Introduction

Pour parvenir à un outil d'évaluation qui traite la durabilité des bâtiments à travers leurs matériaux de construction, on peut imaginer de combiner entre les méthodes d'évaluation de la durabilité des constructions et les outils d'évaluation des matériaux. Par l'analyse faite sur les méthodes (HQE, BREEAM...) et les outils d'évaluations des matériaux (ACV) :

- Ressortir les thèmes principaux dans ces méthodes ex : confort et santé, matériaux de construction, durabilité de sites, etc.
- Adapter ces thèmes de sorte qu'ils répondent à la durabilité des constructions à travers les matériaux de construction.
- Étudier les matériaux par l'analyse de cycle de vie.

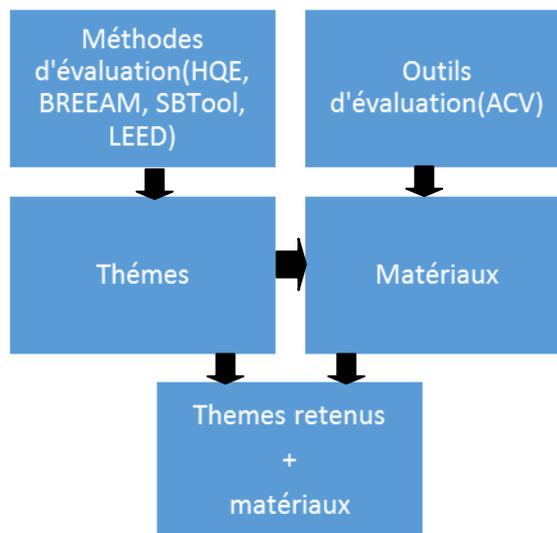


Figure 19: Schéma général de l'outil d'évaluation.

1.1. Définition du thème

Ensemble d'indicateurs groupés pour leur cohérence de signification et selon les objectifs de l'évaluation. L'évaluation globale d'un thème se fera par agrégation, comme expliqué ci-après. Les thèmes d'évaluation pourront également être agrégés en une note globale d'évaluation⁶⁴.

⁶⁴MANDALLENNA, Céline. *Élaboration et application d'une méthode d'évaluation et d'amélioration de la qualité environnementale de bâtiments tertiaires en exploitation*. Université de Bordeaux, 19 juillet 2006, p69.

1.2. Définition d'indicateur

Variable synthétique et significative, utilisée pour mesurer un résultat obtenu, l'état d'un phénomène ou le déroulement d'un processus, une utilisation de ressources, une émission de polluants, un confort, une satisfaction, un critère de qualité. Un indicateur correspond à une période dans le temps et à un espace physique précis⁶⁵. L'Organisation de coopération de Développement Economique (OCDE, 1993) définit un indicateur comme une mesure récapitulative fournissant des informations sur l'état ou l'évolution d'un système. Le plus souvent quantitatifs par exemple, les émissions nationales de CO2 constituent un indicateur de la contribution de notre pays à l'effet de serre. Les indicateurs peuvent aussi faire intervenir des données qualitatives ; par exemple, le degré de satisfaction de la population.

L'objet de l'indicateur est de rendre accessible et d'exprimer le sens que l'analyse des données apporte. Un indicateur est défini dans l'espace (surface du site, bâtiment, type de local par exemple), dans le temps (mois, années, ...), et correspond à une typologie d'utilisateurs ou de gestionnaires (occupants, entretien, administration, gestionnaires techniques).

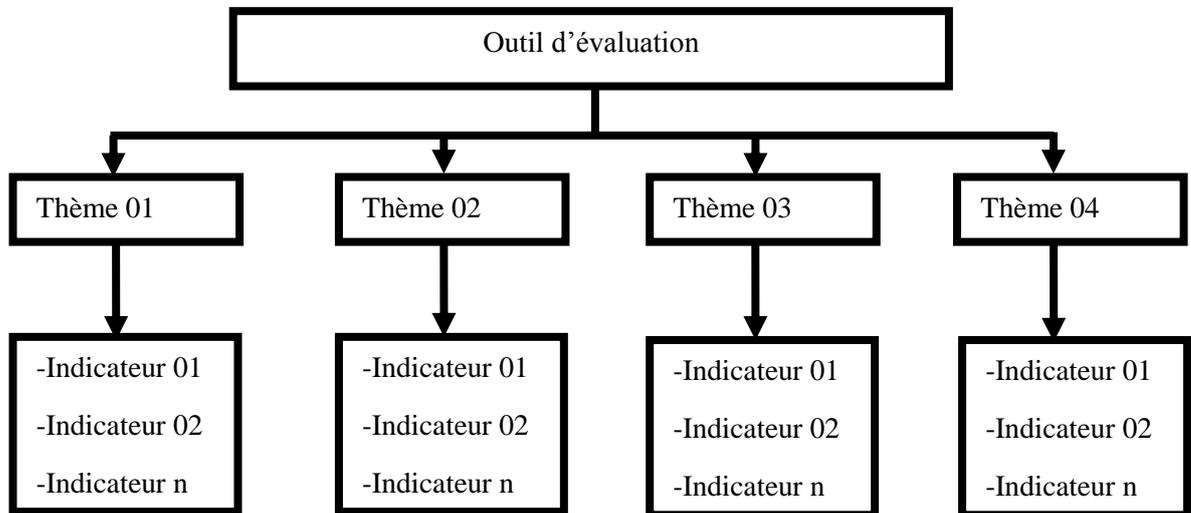


Figure 20: Structuration de l'outil d'évaluation.

⁶⁵MANDALLENA, Céline. *Élaboration et application d'une méthode d'évaluation et d'amélioration de la qualité environnementale de bâtiments tertiaires en exploitation*. Université de Bordeaux, 19 juillet 2006, p69.

2. Choix des thèmes retenus dans chaque méthode

Méthode	Thèmes	Thèmes retenus
BREEAM	<ul style="list-style-type: none"> • Santé et bien-être • Énergie • Transport • Eau • Matériaux • Aménagement du site et écologie • Pollution • Déchets • Management (Gestion écologique) 	<ul style="list-style-type: none"> • Aménagement du site et écologie • Matériaux • Santé et bien-être • Pollution • Déchets • Énergie • Management (Gestion écologique)
LEED	<ul style="list-style-type: none"> • Aménagement écologique du site. • Gestion efficace de l'eau. • Energie et atmosphère. • Matériaux et ressources. • La qualité des environnements intérieurs. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aménagement écologique du site. • Matériaux et ressources. • La qualité des environnements intérieurs.
SBTool	<ul style="list-style-type: none"> • Insertion dans le territoire • Matériaux, ressources et nuisances de construction • Aspects socio-économiques. • Aspects culturels et de perception. • Energie, eau et déchets d'activités • Confort et santé durable 	<ul style="list-style-type: none"> • Insertion dans le territoire • Matériaux, ressources et nuisances de construction • Confort et santé durable • Energie, eau et déchets d'activités
HQE	<ul style="list-style-type: none"> • Ecoconstruction • Confort • Eco-gestion • Santé 	<ul style="list-style-type: none"> • Ecoconstruction • Confort • Eco-gestion • Santé

Tableau 13: Thèmes retenus dans chaque méthode.

3. Classification des thèmes retenus

Après avoir ressorti les thèmes, on peut les classer dans quatre catégories de thèmes comme le montre le tableau ci-dessous :

Classification des thèmes retenus	Thèmes finaux
<ul style="list-style-type: none"> • Aménagement du site et écologie (BREEAM). • Aménagement écologique du site (LEED). • Insertion dans le territoire (SBTool). • Ecoconstruction. 	<p>1. Intégration du bâtiment dans son environnement.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Matériaux (BREEAM). • Matériaux et ressources (LEED). • Matériaux, ressources et nuisances de construction (SBTool). • Ecoconstruction 	<p>2. Matériaux.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Santé et bien-être (BREEAM). • La qualité des environnements intérieurs (LEED). • Confort et santé durable (SBTool). • Confort (HQE). • Santé (HQE). 	<p>3. Confort et santé.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Management (Gestion écologique) (BREEAM). • Énergie (BREEAM). • Pollution (BREEAM). • Déchets (BREEAM). • Energie, eau et déchets d'activités (SBTool). • Eco-gestion (HQE). 	<p>4. Gestion écologique.</p>

Tableau 14: Classification des thèmes retenus.

4. Définition des thèmes finaux

4.1. Intégration du bâtiment dans son environnement

Ce thème a pour but d'évaluer la qualité écologique du site et l'inscription du bâtiment dans son environnement à travers ces indicateurs qui suivent :

- Qualité du site.
- Intégration des matériaux du bâtiment à son site

4.1.1 Explication et but de chaque indicateur

Qualité du site :

Définition de l'indicateur : l'indicateur de qualité du site est basé sur l'appréciation des usagers sur le bâtiment et ses aménagements extérieurs, à travers les résultats d'enquête et analyse. Cet indicateur nous permettra de comprendre le rapport existant entre le bâtiment l'utilisateur et l'environnement. Différents aspects sont pris en compte :

- Implantation sur le site,
- Choix du site.
- Densité de l'aménagement (plan de masse).
- Conscience environnementale.

Évaluation :

1. Évaluation par analyse : à partir des résultats d'analyses établies par les professionnels, des conclusions seront déduites. (Mauvais, moyen, bon.)
2. Evaluation par enquête : par un questionnaire établi.

Le référentiel de satisfaction sur les différents aspects d'appréciation possible est construit en fonction des 3 repères suivants :

- 70%-100% performant,
- 40%-70% moyen un bâtiment ancien ou de qualité moyenne satisfait au moins 60 % des personnes,
- Si moins de 40 % des personnes sont satisfaites, le critère est très mauvais.

Intégration des matériaux du bâtiment à son site :

Définition de l'indicateur : cet indicateur nous permettra d'évaluer l'intégration des matériaux du bâtiment dans son environnement immédiat. Différents aspects sont pris en compte :

- Sensation visuelle des matériaux,
- Harmonie entre matériaux utilisés dans le bâtiment et les matériaux de l'environnement immédiat.
- Nuisances des matériaux utilisés dans le bâtiment sur son environnement.

Évaluation :

1. Évaluation par analyse : à partir des résultats d'analyses établies par les professionnels, des conclusions seront déduites. (Mauvais, moyen, bon.)
2. Evaluation par enquête : par un questionnaire établi (voir annexe)

Le référentiel de satisfaction sur les différents aspects d'appréciation possible est construit en fonction des 3 repères suivants :

- 70%-100% performant,
- 40%-70% moyen un bâtiment ancien ou de qualité moyenne satisfait au moins 60 % des personnes,
- Si moins de 40 % des personnes sont satisfaites le critère est très mauvais.

4.2. Matériaux

Ce thème a pour but l'évaluation des matériaux utilisés dans la construction à travers les indicateurs qui suivent :

- Utilisation de matériaux contenant des matières recyclées ou des matériaux recyclables.
- Matériaux locaux ou régionaux.
- Certification de la provenance des matériaux
- Cycle de vie des matériaux

4.2.1. Explication et but de chaque indicateur

Utilisation de matériaux recyclables : le but de cet indicateur est d'estimer le pourcentage des matériaux recyclables et non recyclables.

Évaluation :

Calcul des quantités des matériaux recyclables et non recyclables, si :

- la quantité des matériaux recyclables est supérieure à 70% (bon).
- la quantité des matériaux recyclables est supérieure à 40 % (moyen).
- la quantité des matériaux recyclables est inférieure à 40 % (Mauvais).

Matériaux locaux ou régionaux : le but de cet indicateur est d'estimer la quantité des matériaux locaux ou régionaux dans le bâtiment.

Évaluation :

Calcul des quantités des matériaux locaux ou régionaux, les matériaux du territoire national et les matériaux importés de l'étranger, si :

- la quantité des matériaux locaux ou régionaux est supérieure à 70% (bon).
- la quantité des matériaux locaux ou régionaux est supérieure à 40 % (moyen).
- la quantité des matériaux locaux ou régionaux est inférieure à 40 % (Mauvais).

Certification de la provenance des matériaux : le but de cet indicateur est de nous renseigner sur les matériaux certifiés.

Évaluation :

Calcul des quantités des matériaux certifiés et les matériaux non certifier, si :

- la quantité des matériaux certifiés est supérieure à 70% (bon).
- la quantité des matériaux certifiés est supérieure à 40 % (moyen).
- la quantité des matériaux certifiés est inférieure à 40 % (Mauvais).

Cycle de vie des matériaux : cet indicateur consiste à analyser le cycle de vie de chaque matériau utilisé dans le bâtiment.

1. L'extraction de la matière :

- Coûts : Coût total lié à l'étape d'extraction (coût de l'énergie, main-d'œuvre, coût en eau...)
- Impacts environnementaux liés à l'extraction : les sortants générés lors de l'extraction de la matière (pollution de l'eau, pollution de l'air et gaz à effet de serre).
- Consommation des énergies : Quantité de l'énergie consommée due à l'extraction de la matière (énergie d'origine renouvelable ou non).

2. La production :

- Coûts : Cout total lié à l'étape de production (coût de l'énergie, main-d'œuvre, coût en eau...)
- Impacts environnementaux liés à l'extraction : les sortants générés lors de la production de la matière (pollution de l'eau, pollution de l'aire et les gaz à effet de serre).
- Consommation des énergies : Quantité de l'énergie consommée due à la production des matériaux (énergie d'origine renouvelable ou non).

3. La distribution (le transport des matériaux depuis leurs sites de fabrication jusqu'au chantier) :

- Coûts : Cout total lié à l'étape de distribution, c'est-à-dire le transport des matériaux (coût de l'énergie, main-d'œuvre).
- Impacts environnementaux liés à la distribution : les sortants générés lors de la production de la matière (pollution de l'eau, pollution de l'aire et les gaz à effet de serre).
- Consommation des énergies : Quantité de l'énergie consommée due à la distribution des matériaux (énergie d'origine renouvelable ou non).

4. L'utilisation :

- Coûts : Cout total lié à l'étape à l'utilisation, c'est-à-dire l'utilisation des matériaux (cout de l'énergie, main-d'œuvre, cout en eau, cout de maintenance et d'entretien, cout de déchets).

- Impacts environnementaux liés à l'utilisation : les sortants générés dus à la mise en œuvre des matériaux et à l'exploitation du bâtiment (pollution de l'eau, pollution de l'aire et les gaz à effet de serre).
- Consommation des énergies : Quantité de l'énergie consommée due à l'utilisation des matériaux (énergie d'origine renouvelable ou non).

5. Fin de vie (démolition et/ou recyclage) :

- Coûts : Cout total lié à la démolition et/ou recyclage des matériaux (cout de l'énergie consommé, main-d'œuvre, cout en eau).
- Impacts environnementaux liés à la démolition et/ou recyclage : les sortants générés dus à la mise en œuvre des matériaux et à l'exploitation du bâtiment (pollution de l'eau, pollution de l'aire et gaz à effet de serre).
- Consommation des énergies : Quantité de l'énergie consommée due à la démolition et/ou recyclage des matériaux (énergie d'origine renouvelable ou non).

4.3. Confort et santé :

Ce thème a pour but l'évaluation le degré du confort et de la qualité sanitaire des bâtiments, en prenant en considération l'implication des matériaux. Cette évaluation s'effectuera selon les indicateurs suivants :

- Confort thermique
- Confort visuel
- Confort acoustique
- Qualité de l'air intérieur.

4.3.1. Explication et but de chaque indicateur

Confort thermique :

Le Grand Dictionnaire le définit comme la « convergence vers leur point optimum de tous les facteurs qui conditionnent l'échange thermique entre l'homme et l'entourage : température de l'air, des parois, convection, état hygrométrique ».

Définition de l'indicateur : Nous établissons notre évaluation du confort thermique en fonction de deux indicateurs : confort thermique d'été et confort thermique d'hiver par

la réalisation des bilans thermiques de bâtiments pour constater l'implication des matériaux.

Évaluation :

En se référant aux résultats du bilan thermique d'été et d'hiver établi par les professionnels (thermicien) et leurs jugements. Les résultats seront classés en trois catégories : bon, moyen, mauvais.

Confort visuel :

Le confort visuel peut se définir à partir des conditions d'éclairage, naturel et/ou artificiel, satisfaisant pour permettre l'activité de l'utilisateur. Cela implique un éclairage lumineux suffisant, une absence d'éblouissement, ainsi qu'un bon rendu des couleurs.

Évaluation :

- Éclairage naturel et vues, 75% des espaces éclairés par la lumière du jour.
- Éclairage naturel et vues, 90 % des espaces, ayant une vue.
- Enquête.

Les résultats seront classés en trois catégories : bon, moyen, mauvais.

Le confort acoustique :

Peut-être défini comme la sensation d'aise ou de gêne procurée par l'environnement sonore d'un individu ou d'un groupe d'individus, dont les éléments sont : l'intensité des sons, la propagation et les temps de réverbération, la durée, la nature et le contexte (notion d'acceptabilité sociale des bruits).

Le confort acoustique lié aux caractéristiques intrinsèques d'un local dépend donc : de la typologie -usage- du local, de son volume, des matériaux des parois. En utilisation viendront se rajouter le remplissage, via le mobilier et les usagers eux-mêmes.

Évaluation :

- Enquête
- En se référant aux résultats des calculs établis par les spécialistes du domaine et leurs jugements ainsi qu'aux résultats de l'enquête. Les résultats seront classés en trois catégories : bon, moyen, mauvais.

Qualité de l'air intérieur :

Définition de l'indicateur : Une bonne qualité de l'air intérieur correspond à un air intérieur du bâtiment qui soit suffisamment exempt de contaminants biologiques, physiques et chimiques pour assurer qu'il n'y a aucun danger pour la santé et la sécurité des occupants.

Évaluation :

- Enquête
- Mesures : l'évaluation de la qualité de l'aire intérieure sera basée principalement sur les impacts engendrés par les matériaux de construction

En se référant aux résultats des calculs établis par les spécialistes du domaine et leurs jugements ainsi qu'aux résultats de l'enquête. Les résultats seront classés en trois catégories : bon, moyen, mauvais.

4.4. Gestion écologique

Ce thème a pour but l'évaluation des consommations énergétiques, l'eau et les coûts économiques ainsi que les déchets dégagés par le bâtiment. Cette évaluation s'effectuera selon les indicateurs suivants

- Gestion des déchets
- Consommation de ressources
- Coûts

4.4.1. Explication et but de chaque indicateur

Gestion des déchets :

- Pollution de l'air (acidification et ozone photochimiques) :L'acidification et l'ozone photochimique sont la conséquence de l'émission à l'atmosphère de composés tels que le dioxyde de soufre, ou d'oxyde d'azote pour l'acidification ; l'ozone troposphérique (O₃), les particules, mais aussi les oxydes d'azote (NO_x). Les composés organiques volatils (COV), le dioxyde de soufre (SO₂) et le monoxyde de carbone (CO) pour le smog. La plupart de ces composés sont des précurseurs d'ozone photochimique. Ces deux manifestations sont les plus importantes de la pollution de l'air en milieu urbain.

Définition de l'indicateur : Nous évaluons la contribution d'un bâtiment au phénomène d'acidification et de formation d'ozone photochimique en nous basant sur :

- le type d'énergie utilisée,

- la performance des systèmes de combustion (rendements de combustion),
- l'existence et le fonctionnement du système de filtrage des fumées en sortie de chaufferie,
- les matériaux de construction.

Pollution des eaux :

L'un des effets majeurs de pollution des eaux est l'eutrophisation. C'est une forme à la base naturelle de pollution de certains milieux aquatiques, qui se produit lorsque le milieu reçoit trop de matières nutritives assimilables par les algues, que celles-ci prolifèrent et entraînent un appauvrissement en oxygène et la fin de la vie aérobie du milieu. Ce phénomène accéléré est aussi appelé dystrophisation. Les principaux nutriments à l'origine de ce phénomène sont le phosphore (contenu dans les phosphates des détergents en particulier) et l'azote (contenu dans l'ammonium, les nitrates, et les nitrites). Il est à noter que le phosphore est le facteur limitant, et donc le principal nutriment responsable de l'eutrophisation des eaux⁶⁶.

La réduction de l'eutrophisation doit porter en priorité sur les phosphates qui en sont la forme dissoute. Les lessives représentent 11% de l'apport de phosphates dans les eaux de surface européennes, 23 % provenant des rejets domestiques dans les eaux usées, 49 % de l'agriculture, 7 % de l'industrie et 10 % de l'érosion naturelle.

Définition de l'indicateur : cet indicateur sera évalué principalement par la présence des ... Phosphore (contenu dans les phosphates des détergents en particulier) et l'azote (contenu dans l'ammonium, les nitrates, et les nitrites) causé par les matériaux pendant leur cycle de vie.

Émission de gaz à effet de serre :

L'effet de serre est un phénomène naturel mais amplifié par les activités humaines. Les gaz à effet de serre sont multiples et ont des contributions différentes. Le CO₂ dégagé par les consommations de combustibles fossiles contribue à 55 % de l'effet de serre, les chloro fluoro carbonates à 25 % et le méthane à 15 %. Les 5 % restants incombent au protoxyde d'azote N₂ O, à l'ozone O₃ et à l'hexa fluorure de souffrent SF₆⁶⁷.

⁶⁶ CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE. « Découvrir l'eau », CNRS, 2015
www.cnrs.fr/cw/dossiers/doseau/decouv/ecosys/eutrophisat.html (page consultée 13 janvier 2015).

⁶⁷Peuportier, B. *Eco-Conception des bâtiments : bâtir en préservant l'environnement*. Ecole des

Définition de l'indicateur : Nous prenons en compte les gaz responsables de 70 % de l'effet de serre au niveau global. Le gaz retenu est le dioxyde de carbone. L'unité d'expression est le kg d'équivalent dioxyde de carbone : kg éq CO₂ (l'équivalent carbone s'emploie aussi).

Consommation d'énergie thermique :

Définition de l'indicateur : consommation de combustible à usage d'énergie thermique (gaz, fioul, électricité, chauffage urbain, ...) en kWh/ (m².an). Les énergies renouvelables n'entrent donc pas en compte dans le calcul de l'indicateur.

Note : l'expression la plus pertinente serait un ratio volumique, mais la donnée du volume est rarement disponible et cette expression nécessiterait une campagne de métrage ou un travail sur plans pour quasiment tous les bâtiments.

Consommation d'électricité spécifique :

Définition de l'indicateur : consommation d'électricité dédiée aux usages spécifiques (hors chauffage) en kWh/m².

Évaluation :

- Mise en place de systèmes d'éclairage non énergivores.
- Définition de l'indicateur : pourcentage des locaux du bâtiment équipés en éclairages basse consommation et en détecteurs de présence.
- Factures.
- Utilisation des éclairages.
- Questionnaire : pourcentage de temps d'utilisation inutile de l'éclairage artificiel : absence, niveau d'éclairage naturel suffisant. On considère :
 - une excellente performance pour 10 % d'utilisation inutile
 - une mauvaise performance plus de 80 % d'utilisation inutile.

Consommation d'eau :

Définition de l'indicateur : consommation annuelle d'eau d'un site, par personne, et par m². Cet indicateur illustre à la fois les usages des occupants, et la performance des systèmes de distribution.

Évaluation :

- Factures
- Questionnaire

Les coûts :

Les coûts d'exploitation :

Définition de l'indicateur : Le coût d'exploitation correspond habituellement au coût annuel des consommations de gaz, d'électricité, d'eau, abonnements aux fournisseurs (inclus en partie dans le prix des unités délivrées), des prestations d'entretien (produits) et de la maintenance du bâtiment.

Coût de l'énergie (énergie combustible et électricité) :

Définition de l'indicateur : cet indicateur rassemble le coût de la consommation des quantités de KWh par m² chauffé des énergies utilisées sur le site : énergie fossile (gaz, bois charbon, fioul), et électricité.

Évaluation :

- Factures.

Coût de l'eau :

Définition de l'indicateur : coût de l'eau, par personne ou par m² et par an.

Évaluation :

- Factures.
- Coûts.

Coût d'entretien et maintenance :

Définition de l'indicateur : Coût des achats de produits d'entretien et hygiéniques, interventions techniques sur les bâtiments, hors rénovations importantes (augmentation de surface, abattement de murs, changement de toutes les menuiseries, etc.).

Les coûts sont rapportés au m², ainsi qu'en fonction des effectifs.

Les coûts d'entretien et de maintenance sont importants à prendre en compte, car ils sont souvent au moins aussi conséquents, en terme économique, par rapport au coût des fluides.

5. Indicateurs formulés pour chaque thème

Thème	Indicateurs	Types d'évaluation
1. Intégration du bâtiment dans son environnement.	Qualité du site : <ul style="list-style-type: none"> • Choix du site. • Densité de l'aménagement (plan de masse). • Conscience environnementale. 	<ul style="list-style-type: none"> • Analyse • Enquête
	Intégration des matériaux du bâtiment à son site : <ul style="list-style-type: none"> • Sensation visuelle des matériaux, • Harmonie entre matériaux utilisés dans le bâtiment et les matériaux de l'environnement immédiat. • Nuisances des matériaux utilisés dans le bâtiment sur son environnement. 	<ul style="list-style-type: none"> • Analyse (calculs)
2. Matériaux.	Utilisation de matériaux contenant des matières recyclées.	<ul style="list-style-type: none"> • Analyse (calculs)
	Matériaux locaux ou régionaux.	<ul style="list-style-type: none"> • Analyse (calculs)
	Certification de la provenance des matériaux	<ul style="list-style-type: none"> • Analyse (calculs)
	ACV des matériaux : extraction, production, distribution, utilisation et fin de vie. <ul style="list-style-type: none"> • Coûts. • Impact sur l'environnement. • Consommation des énergies. 	<ul style="list-style-type: none"> • Analyse (calculs)
3. Confort et santé.	Confort thermique : <ul style="list-style-type: none"> • Température intérieure et régularisation des équipements. 	<ul style="list-style-type: none"> • Enquête (questionnaire)

	Confort visuel : <ul style="list-style-type: none"> • Éclairage naturel et vu. 	<ul style="list-style-type: none"> • Enquête (questionnaire)
	Confort acoustique.	<ul style="list-style-type: none"> • Enquête (questionnaire)
	Qualité de l'air intérieur : <ul style="list-style-type: none"> • Niveau de ventilation. 	<ul style="list-style-type: none"> • Enquête (questionnaire) • Analyse (mesures)
	Confort olfactif.	<ul style="list-style-type: none"> • Enquête (questionnaire)
4. Gestion écologique.	Emission de gaz à effet de serre.	
	Gestion des déchets : <ul style="list-style-type: none"> • Déchet d'activité. • Pollution de l'air. • Pollution de l'eau. 	
	Consommation de ressources : <ul style="list-style-type: none"> • Consommation de l'eau. • Consommation de l'énergie. 	<ul style="list-style-type: none"> • Enquête (questionnaire, factures)
	Coûts : <ul style="list-style-type: none"> • Coût de l'eau. • Cout de l'exploitation. • Coût de l'énergie. • Coût de l'entretien et de la maintenance. 	<ul style="list-style-type: none"> • Enquête (factures)

Tableau 15: Indicateur formulé pour chaque thème.

Conclusion

Le manque de méthodes spécifique à l'évaluation de la durabilité des bâtiments à travers les matériaux de construction nous a poussés à l'élaboration d'une méthode propre à ce contexte.

Cette méthode est simplifiée dans un objectif de lisibilité et l'utilisation opérationnelle par les acteurs de la conception et la gestion des projets architecturaux. Elle est structurée en quatre thèmes principaux, qui sont développés de sorte que cette méthode

répond aux exigences les plus importantes en rapport avec le confort et la sante de l'utilisateur, la bonne gestion de son bâtiment, à ses matériaux de construction, et à son environnement. Quinze des indicateurs les plus susceptibles de répondre aux exigences citées sont disposés dans ces thèmes.

Conclusion générale

Le XXI^e siècle est l'ère de remise en cause des anciennes pratiques architecturales liées directement au domaine de la construction, désormais chaque architecte devrait être convaincu de la nécessité d'adopter une démarche du développement durable. La politique de ce dernier en matière de construction a mis de multiples mutations envers ses bâtiments afin d'aboutir à satisfaire l'homme dans sa société et son environnement. Cela grâce à une nouvelle pratique favorisant la construction écologique.

La voie d'un développement plus durable ne peut se faire sans explorer les possibilités qu'offre le bâtiment durable qui est de limiter notre impact environnemental, d'investir de façon plus judicieuse en répondant de façon pertinente à nos besoins.

Le bâtiment durable n'est pas en mesure d'être conçu sans une collecte de données, de connaissance, et de savoir, liés aux matériaux de construction qui font partie intégrante de l'architecture, qui sont le lien, l'intermédiaire entre l'homme, le bâtiment et l'environnement.

Pour atteindre une réelle pratique de développement durable dans le domaine de la construction, différents outils et méthodes d'évaluation ont été élaborés. Les méthodes les plus utilisées évaluent la durabilité des constructions à travers plusieurs critères classés selon différentes catégories tout en essayant d'équilibrer entre ces catégories, elles ont pour la plupart les mêmes thèmes et sujets d'intervention dans le bâtiment, il est à noter que le matériau de construction n'est pas considéré comme un point capital dans cette évaluation. Les outils d'évaluation se basant sur l'analyse de cycle permettent de quantifier les impacts d'un produit sur l'ensemble de sa durée de vie.

Cette évaluation vise à aligner ses interventions dans le cadre bâti avec les principes environnementaux et de développement durable.

L'évaluation de la durabilité des constructions via leurs matériaux implique (demande, nécessité) une association entre une méthode d'évaluation de la durabilité et un outil

d'évaluation se basant sur l'ACV. Afin de répondre à cet objectif l'élaboration d'une méthode d'évaluation est indispensable.

Dans cette vision ce travail a proposé une méthode d'évaluation de la durabilité des bâtiments à travers les matériaux de construction, quatre thèmes principaux ont été développés ou sont distribués quinze indicateurs. Malgré une multitude d'indicateurs que l'on peut développer sur un bâtiment, on a opté pour ceux ayant une influence sur l'intégration du bâtiment dans son environnement, les matériaux de construction, le confort et la santé, la gestion du bâtiment. La simplification de quelques indicateurs a été opérée dans un objectif de lisibilité et d'utilisation opérationnelle de la méthode par les acteurs de gestion et d'utilisation des bâtiments. Chaque critère est évalué par une note, indicateur Performant, moyen ou mauvais.

Évaluer la durabilité des bâtiments à travers les matériaux de construction est une tâche ardue, en raison de la complexité des phénomènes responsables des impacts environnementaux, de la variabilité introduite sur le bâtiment par le comportement des hommes, et les données sont actuellement difficiles à obtenir pour certains indicateurs.

Pour une application dans les meilleures conditions de la méthode d'évaluation de la durabilité des bâtiments via leurs matériaux, il est nécessaire de créer une base de données relative aux matériaux et une participation pluridisciplinaire (architecte, thermicien et tous ceux qui ont une relation avec le bâtiment).

En définitive, ce modeste travail ouvre la voie à d'autres recherches innovantes, en vue de créer d'autres outils plus fiable, et plus métrisable. Ces outils d'aide à la décision permettent de mieux identifier la relation des matériaux de construction et le bâtiment en termes du confort, d'efficacité énergétique et d'impacts environnementaux.

Bibliographie

BARAKAT, A. *Matériaux de carrière et de construction*. Béni Mellal, Maroc : Université Sultan Moulay Slimane.

Béguin, Jean-Marc. *Les matériaux composites Dynamisme et innovation*, Les 4pages des statiques industriels, n°158-février 2002, 4p.

CHERQUI, Frédéric. *Méthodologie d'évaluation d'un projet d'aménagement durable d'un quartier*. Méthode ADEQUA, 2005, 180p.

COUASNET, YVES. *Propriétés et caractéristique des matériaux de construction*. Paris : 2005,271p.

4DE HAUT, PAUL. *Chauffage, isolation et ventilation écologiques*. Paris : Eyrolles, 179p.

DU MERLE, Philippe. *Les nouveaux matériaux dans l'architecture contemporaine*. 2007-2008.

DERGHAZARIAN, Alec. *Les méthodes d'évaluation du bâtiment et du cadre bâti durable*. Québec : université de Sherbrooke, 2011, 103p.

ESCADEILLAS, G. « Les Eco matériaux dans la construction : enjeux et perspectives », les journées scientifiques du regroupement francophone pour la recherche et la formation sur le béton (RF) 2 B, éditions n°7.2006.

EVRARD, Arnaud. *Bétons de chanvre, synthèse des propriétés physiques*, Association Construire en Chanvre, 2003, 100p.

GAUZIN-MULLER, D. *l'architecture écologique*, Paris : Le moniteur, 2001, 290p.

GELMINI, Gianluca. Alvaro, Alto. Arles: Actes sud, 2008, 119p.

GILLET, D. *Les ACV dans les industries graphiques*. CERIG, 2000.

GLAS TRÖSCH, AG. *Le verre et ses applications*. Glas Trösch Holding AG, Bützberg. 04.2013.

GRUBER, Astrid et GRUBER, Herbert, 2003, *Construire en paille aujourd'hui*. Mens : Terre vivante, 2003, 128p.

GUILLAUD, Hubert. *Evolution de la culture constructive et architecturale du pisé*, Les construction en terre massive, pisé et bauge : échanges transdisciplinaires sur les constructions en terre crue. Montpellier : l'Espérou, 2007.

HOUBEN, Hugo. GUILLAUD, Hubert. *Traité de construction en Terre*, 3^{ème} édition, Paris : Parenthèses, 2006, 355p.

Institut Bruxellois Pour la Gestion de l'Environnement. *Construire un bâtiment compact*, guide pratique pour la construction et la rénovation durable de petits bâtiments, février 2007, 4 p.

IZARD. *Archi bio*, parenthèses, 1979, 131p.

JADOUL, Françoise. *La terre est notre maison*. Luc Pire et réseau écoconstruction. 2002, 204p.

KEBBOUCHE, Zahia. *Approche amont pour limiter les rejets induits par les produits*. Eco- Conception de mobilier de bureau. Boumerdes : Université M'Hamed Bougara, 2005, 137p

KREBS, Jan. *Concevoir l'habitat*. Bâle : Birkhäuser_éditions d'architecture, 2007, 76p.
CONSEIL DES ARCHITECTES D'EUROPE, 29 avril 2013, 4p.

KULA. TERNAUX, Elodie. HIRSINGER, Quentin. *Matériology. L'essentiel sur les matériaux et les technologies à l'usage des créateurs*. Bâle : Birkhäuser Frame, 2009, 336p.

.
LA COMMISSION MONDIALE SUR L'ENVIRONNEMENT ET LE DEVELOPPEMENT dite Rapport de Brundtland. *Notre avenir à tous*, 1987

LEGRAND, Pascal. J.M.TCHOUANI NANA. *Cours de béton arme-Suivant les Règles BAEL 91 Et modifications 99*. Institut international d'ingénierie de l'eau et de l'environnement (2ie), 2009.

LE JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 43. Loi n° 03-10 TITRE 1, *DISPOSITIONS GENERALES Art. 4*, 2011.

LIEBARD, A. *Traité d'architecture et d'urbanisme climatique*, le moniteur, 2004, 778p.

MANDALLENA, Céline. *Elaboration et application d'une méthode d'évaluation et d'amélioration de la qualité environnementale de bâtiments tertiaires en exploitation*. Université de Bordeaux, 19 juillet 2006, 260p.

MEKHERMECHE, Abdessalam. *Contribution à l'étude des propriétés mécaniques et thermiques des briques en terre en vue de leur utilisation dans la restauration des Ksours sahariennes*, Université kasdi Merbah Ouargla, 2012, 104p.

MINISTERE DE L'AMENAGEMENT DE TERRITOIRE ET DE L'ENVIRONNEMENT. *Plan National d'Action pour l'Environnement et le Développement Durable*, janvier 2002, 148p.

- NIBEL, S, RIALHE, A. *Quatre outils français d'analyse de la qualité environnementale des bâtiments* : Mise en œuvre et comparaison. PUCA, 1999. 111p.
- PERSONNE, M. BRODHAG, C. *Évaluation des performances environnementales des PME*. Département ingénierie de l'environnement, centre SIMADE École des mines de Saint-Étienne.
- PEUPOORTIER et AL. *Inter-comparaison and benchmarking of LCA-Based environmental assessment and design tools*. PRESCO Project, Sb 2004,9p.
- RANCK, Louise. *Maisons écologiques*, Paris : Eyrolles, 2008, 134p.
- REQUIER, C. *Analyse de cycle de vie des piles à combustibles alcalines*. Faculté des sciences appliquées, laboratoire de chimie industrielle-ingénieur chimiste, Université de Liège. 2001-2002.
- R. Prescott. Allen. *The wellbeing of nations: à country-by-country index of quality of life and the environment*, IDRC/Island Press, 2001, 342p.
- SOMMET MONDIAL SUR LE DEVELOPPEMENT DURABLE. *Dématérialisation des ressources naturelles*, clarification des concepts : facteurs, 4, 10, empreinte écologique, espace environnementale ». Ministère des Affaires Etrangères, Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, République Française. 2003.
- VEISSEIRE, Maud et al. *Ma maison douce*, Aménager une maison économique et écologique. Paris : Vuibert, 2009,142p.
- Vittone, René. *Manuel de la construction, Bâtir*. Lausanne : Presse polytechnique et universitaire Romandes, 950p.
- WEIDEMA, B. WENZEL, H. HAMSEN, C. *The product, functional unit and reference flows in LCA*. Danish Ministry of the Environment, environmental production agency environmental news n°70. 2004.
- CSTB. *Le bâtiment de demain et après-demain*. 1998.
- CSTB. *Panorama des techniques du bâtiment*, 1947-1997.

Représentation du cours sur le développement durable, donné par J.-F. Roger France, destiné aux stagiaires de l'ordre des architectes belges. Source: <http://ordevanarchitecten.be/fr/from_stagiaires/déscriptif.html>.

« Béton, ciment et environnement », Encyclo-Ecolo, <<http://www.encyclo-ecolo.com/B%C3%A9ton,cimentetenvironnement>>.

LABORATOIRE D'ETUDES, ESSAIS ET CONTROLES DES CIMENTS. « Études bétons », Sigma béton, 2014 <<http://www.sigma-beton.fr/etudesbétons>>.

Abstract

Today the design and management of structures and buildings have become major issues in our societies to which the sustainability of buildings and their building materials are strongly linked. Currently we have at our disposal numerous materials of different characteristics involved in the construction, the image, the atmosphere and the building comfort. To achieve sustainability of the building, tools and assessment methods are essential for the architectural projects actors. The building material is not considered a major issue in these assessments, hence the need for an assessment method that allows to combine construction materials data in the sustainable development principles and concepts.

Keywords: assessment methods, building materials, sustainability.